

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ РАДІОЕЛЕКТРОНІКИ

Кваліфікаційна наукова праця
на правах рукопису

ЧАЛА ОКСАНА ВІКТОРІВНА

УДК 004.9:519.816

ДИСЕРТАЦІЯ

«МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕМПОРАЛЬНИМИ БАЗАМИ
ЗНАНЬ ДЛЯ ПІДТРИМКИ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ»

05.13.06 – інформаційні технології
технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

О. В. Чала

Науковий консультант:

Левикін Віктор Макарович, доктор технічних наук, професор

Харків-2021

АНОТАЦІЯ

Чала О.В. Моделі, методи та інформаційні технології автоматизованого управління темпоральними базами знань для підтримки управлінських рішень. – Кваліфікаційна наукова робота на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології» – Харківський національний університет радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України, Харків 2021.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна проблема розробки концептуальних основ, моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності вибору управлінських рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач.

Метою дисертаційної роботи є розробка моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності підтримки прийняття управлінських рішень в умовах неповноти інформації щодо стану об'єкту управління.

Для досягнення мети дисертаційної роботи необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз проблем та підходів до автоматизованого управління базами знань для підтримки управлінських рішень.
2. Розробити модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях.
3. Розробити модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень.
4. Розробити моделі темпоральних правил.
5. Розробити модель темпоральної бази знань.
6. Розробити методи побудови темпоральних правил.

7. Розробити метод визначення ваг темпоральних правил на основі знань щодо виконаних послідовностей дій управлінського рішення.

8. Розробити інформаційну технологію побудови темпоральної бази знань.

9. Розробити метод виявлення аномального стану об'єкту управління на основі використання темпоральних правил.

10. Розробити метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних правилах для формування багатоваріантного управлінського рішення.

11. Розробити інформаційну технологію автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань.

12. Виконати експериментальну перевірку розроблених методів та реалізувати інформаційні технології автоматизованого управління темпоральною базою знань для підтримки управлінських рішень.

Об'єктом дослідження є процес підтримки й прийняття управлінських рішень у організаційних системах.

Предметом дослідження є моделі, методи та інформаційні технології автоматизованої побудови й використання баз знань для підтримки управлінських рішень.

Результати дисертаційної роботи ґрунтуються на використанні: теорії множин – при розробці моделі багатоваріантного управлінського рішення та моделей представлення темпоральних знань; методів інтелектуального аналізу даних – при дослідженні й розробці методів виявлення аномального стану об'єкту управління, темпоральної логіки – при розробці моделей представлення темпоральних знань та методів побудови темпоральних правил; теорії ймовірності та математичної статистики – при моделюванні ймовірнісного аспекту представлення темпоральних знань, а також розробці методу визначення ваг темпоральних правил та методу зворотного ймовірнісного виводу в темпоральній базі знань, теорії баз знань – при розробці моделі темпоральної бази знань.

В дисертаційній роботі отримано такі нові наукові результати:

1. Вперше запропоновано модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях та містить альтернативні реалізації цього рішення у складі послідовностей станів об'єкту управління, які відповідають послідовностям управляючих дій, набори темпоральних залежностей для кожної з цих послідовностей, а також оцінки темпоральних залежностей, що дає можливість побудувати та оцінити альтернативи при вирішенні задачі формування управлінського рішення.

2. Вперше запропоновано модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень, яка містить множину фактів, що відображають знання щодо виникнення станів об'єкту управління, темпоральні відношення, що визначають послідовність фактів у часі, та множинні операції, які задають поєднання, перетин та різницю фактів, що дає змогу у темпоральному й об'єктному аспектах відобразити багатоваріантність управлінського рішення із заданим ступенем деталізації темпоральних знань згідно організаційної ієрархії об'єкту управління.

3. Вперше запропоновано модель темпоральної бази знань, що містить логіко-ймовірнісне представлення знань, знання щодо поточних процесів управління та станів об'єкту управління, а також засоби побудови, уточнення й використання темпоральних знань, що дає можливість автоматизувати управління знаннями шляхом побудови темпоральних правил та подальшого використання цих правил для підтримки управлінських рішень.

4. Вперше запропоновано метод виявлення аномального стану об'єкту управління з використанням темпоральних правил, який передбачає формування множини зважених темпоральних залежностей, що охоплюють знання про поточну та відомі альтернативні реалізації управлінського рішення, а також оцінку поточного стану з урахуванням темпоральних обмежень й ваг темпоральних правил, що дає можливість автоматизувати вирішення задачі виявлення проблемної ситуації у процесі підтримки управлінського рішення.

5. Вперше запропоновано метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних правилах; метод формує упорядковану за ймовірністю реалізації множину впорядкованих у часі послідовностей фактів, які відображають знання щодо альтернативних послідовностей станів при реалізації управлінського рішення, що дає можливість підвищити ефективність підтримки таких рішень за рахунок зменшення кількості альтернатив, які пропонуються ОПР.

6. Удосконалено методи побудови продукційних знань в аспекті темпоральних правил, які, на відміну від існуючих, формують класи еквівалентності фактів і правил та виділяють правила-обмеження і правила-ймовірні умови виконання управляючих дій, що дає можливість з використанням інформації щодо відомих імплементацій управлінського рішення у автоматичному режимі побудувати темпоральні знання для підтримки управлінських рішень.

7. Удосконалено метод визначення ваг темпоральних правил на основі значень ймовірностей послідовностей фактів, який, на відміну від існуючих, використовує темпоральні знання щодо виконаних послідовностей дій для альтернативних варіантів управлінського рішення за виключенням темпоральних обмежень, що дає можливість упорядкувати альтернативи при формуванні управлінського рішення з використанням уточнених при зміні стану об'єкту управління ваг темпоральних правил.

8. Набуло подальшого розвитку продукційне представлення знань у формі ансамблю моделей темпоральних правил, які, на відміну від існуючих, містять знання щодо порядку у часі фактів виникнення станів об'єкту управління, а також змін у станах окремих типових об'єктів у складі об'єкту управління, що дає можливість використати темпоральні знання для формування таких нових послідовностей управляючих дій, які забезпечують досягнення цільового стану об'єкту управління у процесі підтримки управлінського рішення.

Дисертаційна робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках таких держбюджетних НДР: «Розробка технології дистанційної реєстрації загроз біобезпеці питного та інших видів водокористування у екстремальних ситуаціях» (№ ДР 0117U002527); «Розумний Кібер Університет – Cloud-Mobile сервіси управління науково-освітніми процесами» (№ ДР 0117U002524); господарсько-договірних НДР: «Проектування, створення, попереднє випробування та дослідна експлуатація комплексної системи захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі «Кузнечна» КП «МІЦ» (№ ДР 0119U000212); «Проектування, створення, попереднє випробування та дослідна експлуатація комплексної системи захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі «Науки» КП «МІЦ» (№ ДР 0119U000213).

Практичне значення отриманих теоретичних результатів дисертаційної роботи полягає у розробці інформаційних технологій побудови темпоральної бази знань та автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань. Результати дисертаційної роботи були апробовані і впроваджені: у ТОВ "Діджітал клоуд технолоджіз глобал" (акт впровадження від 10.09.2020 р.); в ПП "Софтвеа експерт" (акт впровадження від 03.02.2021 р.); у ДП «Захист і автоматизація об'єктів НДІРВ» (акт впровадження від 18.11.2020 р.); в Національному науковому центрі «Інститут метрології» (акт впровадження від 09.12.2020 р.); в освітній процес Харківського національного університету радіоелектроніки (акт впровадження від 25.02.2021 р.).

Впровадження розроблених в дисертаційній роботі методів, моделей та інформаційних технологій дає можливість підвищити ефективність прийняття рішень ОПР на основі автоматизованого формування упорядкованої за ймовірнісною оцінкою множини альтернатив управлінського рішення та відповідного зменшення кількості альтернатив, які розглядаються ОПР.

За результатами досліджень опубліковано 65 наукових праць, з них 24 праці написані без співавторів: 44 статті (39 у фахових періодичних виданнях України з технічних наук, в тому числі 1 стаття в журналі категорії «А», що індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus та віднесена до третього квартиля (Q3), 1 стаття у журналі категорії «А», що індексується у міжнародній наукометричній базі Web of Science Core Collection), 5 статей у періодичних закордонних англійськомовних виданнях з технічних наук Європейського Союзу (Естонія, Польща), в тому числі 1 стаття у виданні, що індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus; 21 теза доповідей у матеріалах наукових конференцій.

Ключові слова: послідовність управлінських дій, підтримка управлінських рішень, представлення знань, темпоральне правило, темпоральна база знань, аномальний стан, зворотній ймовірнісний вивід.

Список публікацій, в яких опубліковані основні наукові результати.

1. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модель иерархического представления времени в темпоральных знаниях. *Біоніка інтелекту*. 2015. № 2 (85). С. 31-34.

2. Левыкин В. М., Чала О.В. Оцінювання часових характеристик подій дискретних процесів у відповідності до концепції GUM. *Метрологія та прилади*. 2015. № 6 (56). С.19-23.

3. Чалая О.В. Контекстно-ориентированный подход к моделированию бизнес-процессов. *Біоніка інтелекту*. 2016. № 1(86). С. 68-71.

4. Левыкин В. М., Чалая О.В. Выделение элементов контекста знание-емких бизнес-процессов на основе анализа логов. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2016. № 5/2(31). С. 65-71. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.80989.

5. Левыкин В. М., Чалая О.В. Разработка модели многовариантного знание-емкого бизнес-процесса. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2016. № 4(59). С. 195-202.

6. Левыкин В. М., Чалая О. В. Модель знание-емкого бизнес-процесса для задач интеллектуального анализа процессов. *Управляючі системи та машини*. 2016. № 6. С. 59-66. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2016.06.059>.

7. Левикін В. М., Чала О.В. Оцінювання характеристик інформаційних об'єктів на прикладі елементів знання-ємних бізнес-процесів. *Метрологія та прилади*. 2016. № 6(62). С. 48-53.

8. Левыкин В. М. Чалая О.В. Модели шаблонов поведения объектов контекста знание-емкого бизнес-процесса. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2016. Вип. 5 (100). С. 26-31.

9. Чалая О.В. Метод обобщения представления знание-емкого бизнес-процесса. *Біоніка інтелекту*. 2016. № 2(87). С.101-105.

10. Чалая О.В. Модель неявных реляционных зависимостей в знание-емких бизнес-процессах. *Проблеми інформаційних технологій*. 2016. № 2(020). С. 111-118.

11. Чала О.В. Формалізація неявних процедурних залежностей в знання-ємних бізнес-процесах. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2016. № 4. С. 43-47.

12. Левыкин В. М., Чалая О.В. Выделение контекстно-процедурных зависимостей знание-емкого бизнес-процесса на основе анализа логов. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2016. № 6/1(32). С. 43-49. DOI: [10.15587/2312-8372.2016.86220](https://doi.org/10.15587/2312-8372.2016.86220).

13. Левикін В. М., Чала О.В. Виділення реляційних залежностей бізнес-процесу на основі аналізу його логу. *Наукоємні технології*. 2016. № 4(32). С. 405-409.

14. Чала О.В. Еволюційний підхід до управління життєвим циклом знання-ємних бізнес-процесів. *Наукоємні технології*. 2017. № 1(33). С. 53-59.

15. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модель жизненного цикла знание-емкого бизнес-процесса. *Управляючі системи та машини*. 2017. № 1. С. 68–76, 85. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2017.01.068>.

16. Чала О.В. Принцип та метод еволюційної побудови бази знань на основі аналізу логів ІС процесного управління. *Біоніка інтелекту*. 2017. № 1(88). С. 80-84.

17. Левикін В. М., Чала О. Концепція автоматизованої побудови бази знань у системі процесного управління. *Біоніка інтелекту*. 2017. № 2(89). С. 77-83.

18. Chala O. Logical-probabilistic representation of casual dependencies between events in business-process management. *Advanced information systems*. 2018. Vol. 2. №. 2. P. 40-44. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.07>.

19. Levykin V., Chala O. Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2018. Vol. 4. P. 29-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00676>.

20. Levykin V., Chala O. Development of a method of probabilistic inference of sequences of business process activities to support business process management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5/3(95). P. 16-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.142664 (входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

21. Levykin V., Chala O. Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control system. *EUREKA. Physics and Engineering*. 2018. Vol. 5. P. 3-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00713>.

22. Chala O. Method for detecting anomalous states of a control object in information systems based on the analysis of temporal data and knowledge. *EUREKA. Physics and Engineering*. 2018. Vol. 6. P. 28-35. DOI: 10.21303/2461-4262.2018.00787.

23. Chala O. Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base. *Econtechmod. An International Quarterly Journal*. 2018. Vol. 7, No. 3. P. 53 - 58.

24. Чала О. В. Побудова темпоральних правил для представлення знань в інформаційно-управляючих системах. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Том 2, № 3. С. 54-59. DOI: 10.20998/2522-9052.2018.3.09.

25. Левикін В. М., Чала О. В. Підтримка прийняття рішень в інформаційно-управляючих системах з використанням темпоральної бази знань. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Том 2, № 4. С. 101-107. DOI: 10.20998/2522-9052.2018.4.17.

26. Левикін В. М., Чала О. В. Підтримка управління складеним об'єктом в ІУС з використанням темпоральних залежностей. *Біоніка інтелекту*. 2018. № 1(90). С. 110-115.

27. Левикін В. М., Чала О. В. Метод підтримки управлінських рішень в умовах невизначеності на основі темпоральних знань. *Біоніка інтелекту*. 2018. № 2(91). С. 54-59.

28. Chala O. Development of information technology to support management decisions using the probabilistic inference in a temporal knowledge base. *Problems of information technologies*. 2018. № 2(024). P. 35-44. DOI: <https://doi.org/10.35546/2313-0687.2018.24.35-44>.

29. Chala O. Development of information technology for the automated construction and expansion of the temporal knowledge base in the tasks of supporting management decisions. *Technology audit and production reserves*. 2019. № 1/2(45). P. 9-14. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.160205.

30. Chala O, Novikova L., Chernyshova L., Kalnitskaya A. Method for detecting shilling attacks based on implicit feedback in recommender systems. *EUREKA. Physics and Engineering*. 2020. Vol. 5. P. 21-30. DOI: 10.21303/2461-4262.2020.001394 (входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

31. Петров К. Э., Дейнеко А. А., Чалая О. В., Панферова И. Ю. Метод ранжирования альтернатив при проведении процедуры коллективного экспертного оценивания. *Радиоэлектроника, информатика, управления*. № 2(53). 2020. С. 84-94. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-2-9 (входить до міжнародної наукометричної бази Web of Science).

32. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модель многоуровневого представления темпоральных знаний в задачах интеллектуального анализа процессов. *Вісник Академії митної служби України. Технічні науки*. 2015. №1 (51). С.5-12.

33. Левыкин В. М., Чалая О.В. Компонентная модель представления знаний о бизнес-процессе. *Системи обробки інформації*. 2016. № 9(146). С. 182-186.

34. Левыкин В. М., Чалая О.В. Иерархическая модель контекста знание-емкого бизнес-процесса. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2016. № 37(1209). С. 43-47.

35. Левыкин В. М., Чалая О.В. Метод актуализации знание-емких бизнес-процессов. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2016. № 45(1217). С. 65-69.

36. Левыкин В. М., Чалая О.В. Метод экстернализации знание-емких бизнес-процессов. *Системи та технології*. 2016. № 1(55). С. 35-43.

37. Левикін В. М., Чала О.В. Модель бази знань інформаційної системи процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2017. № 28(1250). С. 74-78.

38. Левикін В. М., Чала О.В. Підхід до виявлення аномальної поведінки процесів в системах процесного управління на основі аналізу логів. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2017. № 55(1276). С. 77-81.

39. Левикін В. М., Чала О. В. Розробка представлення причинно-наслідкових залежностей для бази знань системи процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2018. № 21(1297). С. 48-53.

40. Чала О. В. Метод ієрархічного виведення в базі знань інформаційно-управляючої системи в парадигмі «Enterprise 2.0». *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 4(50). С. 86-90. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.4.086.

41. Чала О. В. Метод побудови контекстно-орієнтованих правил в темпоральній базі знань. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 5(51). С. 115-120. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.5.115.

42. Чала О. В. Принципи автоматизованої побудови та використання темпоральної бази знань. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 6 (52). С. 122-125. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.6.122.

43. Чала О. В. Розробка представлення знань на основі марківських логічних мереж в системі процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2018. № 22(1298). С. 22-26.

44. Чала О. В. Модель узагальненого представлення темпоральних знань для задач підтримки управлінських рішень. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2020. № 1(3). С. 14-18. DOI: 10.20998/2079-0023.2020.01.03.

45. Чалая О.В. Моделирование процесса трансформации неформализованных знаний. *XX Міжнародний конгрес двигунобудівників*. (Харків, 2015). Харків: Нац. Аерокосмічний ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2015. С. 96.

46. Чала О.В. Объектно-ориентированный подход к моделированию бизнес-процессов. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології (PMW-2016)*: Тези допов. I Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 16-20 травня 2016). Харків: ХНУРЕ, 2016. С. 75-76.

47. Левыкин В. М., Чалая О.В. Использование контекста при выделении неявного процедурного знания. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*: Тези допов. VI Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 21-22 квіт. 2016). Харків: ДП «Харківський НДІ технології машинобудування», 2016. С. 35.

48. Левыкин В. М., Чалая О.В. Построение моделей адаптируемых бизнес-процессов на основе анализа логов событий. *Інформаційні системи та технології (ICT-2016)*: Тези доп. V Міжнар. наук.-техн. конф. (Коблево-Харків, 12-17 верес. 2016). Харків: ХНУРЕ, 2016. С. 47-48.

49. Левыкин В. М., Чалая О.В. Структуризация неявной составляющей контекста бизнес-процесса. *Інформаційні управляючі системи та технології (IUST-Одеса-2016)*: Тези допов. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 20-22 верес. 2016). Одеса: ОНПУ, 2016. С. 185-186.

50. Чала О.В. Оцінювання темпорального аспекту дискретного процесу згідно концепції GUM. *Метрологія та вимірвальна техніка (MVT-2016)*: Тези допов. X Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 5-7 жовт. 2016). Харків: ХНУРЕ, 2016. С. 26.

51. Левыкин В. М., Чалая О.В. Застосування методів інтелектуального аналізу процесів для виявлення патернів поведінки динамічних об'єктів. *Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM*: Тези доп. наук.-техн. конф. (Київ, 21-23 листоп. 2016). Київ: НАУ, 2016. С. 67.

52. Левыкин В. М., Чалая О.В. Информационная технология актуализации модели знание-емкого бизнес-процесса. *Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку*: Тези допов. Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 15-16 бер. 2017). Харків: НАЦГУ, 2017. С. 142-143.

53. Чала О.В. Інформаційна технологія управління життєвим циклом знання-ємних бізнес-процесів. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: Тези допов. Всеукр. наук.-практ. конф. (Черкаси, 13-19 бер. 2017). Черкаси: ЧНУ, 2017. С. 107-108.

54. Чалая О.В. Пополнение базы знаний ИУС с использованием методов анализа логов. *Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в*

суспільстві і природокористуванні '2017: Тези допов. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 22-23 черв. 2017). Київ: НУБіП України, 2017. С. 126-127.

55. Levykin V.M., Chala O.V. Automated knowledge base construction using process logs. *Scientific progress news: Proceeding in XIII International scient.-pract. confer.* (Sofia, Bulgaria, August 15-22, 2017). Sofia, 2017. P. 26-28.

56. Левикін В.М., Чала О.В. Автоматизована побудова баз знань для вирішення метрологічних задач. *Метрологія, інформаційно-вимірвальні технології та системи (МІВТС-2017)*: Тези допов. VI Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24-25 жовт. 2017). Харків: ХНУРЕ, 2017. С. 87-88.

57. Чала О.В. Побудова подієвої складової бази знань в рамках системи управління підприємством. *Інформаційні технології – 2018 (ІТ-2018)*: Тези допов. V Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 17 трав. 2018). Київ: УГ. С. 143-145.

58. Левикін В.М., Чала О.В. Контекстні обмеження в базі знань інформаційної системи процесного управління. *Комп'ютерні та інформаційні системи і технології*: Тези допов. II Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 18-19 квіт. 2018). Харків, ХНУРЕ, 2018. С. 108.

59. Чала О.В. Визначення інтегральної оцінки відхилень траєкторій у журналі подій в інформаційних системах процесного управління. *ProfIT Conference*: Тези допов. I Міжнар. наук.-практ. конф. ІТ-професіоналів та аналітиків комп'ютерних систем (Харків, 24 – 26 квіт. 2018). Харків, НАУ ім. Жуковського, ХАІ, 2018. С. 34-35.

60. Левикін В.М., Чала О.В. Використання темпоральних правил в задачах захисту інформації в комп'ютерних системах. *Інформаційні системи та технології (ІСТ-2018)*: Тези допов. VII Міжнар. наук.-техн. конф. (10-15 верес. 2018). Харків: ХНУРЕ, 2018. С. 35-38.

61. Левикін В.М., Чала О.В. Моделювання причинно-наслідкових зв'язків між подіями логу бізнес-процесу в задачах автоматизованої побудови баз знань. *Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ 2021)*: Тези допов. VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 17-18 вер. 2018). Одеса: ОНПУ, 2018. С.141-142.

62. Левикін В.М., Чала О.В. Автоматизована побудова бази темпоральних правил при управлінні якістю медичних послуг. *Інформаційні системи та технології в медицині (ISM-2018)*: Тези допов. I Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 28-30 листоп. 2018). Харків: ХНУРЕ, 2018. С. 106-107.

63. Левикін В. М., Чала О.В. Знання-орієнтована структуризація управлінського рішення в системах підтримки прийняття рішень. *Комп'ютерні та інформаційні системи і технології*: Тези допов. III Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 23-24 квіт. 2019). Харків: ХНУРЕ, 2019. С. 111.

64. Levykin V., Chala O. Algebraic approach to the description of temporal knowledge in decision support tasks. *Computer and information systems and technologies: Proceeding in IV International. scient.- techn. confer.* (Kharkiv, April 22-23, 2020). Kharkiv: KNURE, 2020. P.74-75.

65. Левикін В.М., Чала О.В. Виявлення проблемних ситуацій при підтримці управлінського рішення з використання бінарного та ймовірнісного критеріїв. *Інформаційні управляючі системи та технології (IUCT-2020)*: Тези допов. IX Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 24-26 вересн. 2020). Одеса: ОНПУ, С.130-131.

ANNOTATION

Chala O.V. Models, methods and information technologies for automated management of temporal knowledge bases to support management decisions. – Qualifying scientific work as a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Technical Sciences, specialty 05.13.06 "Information Technologies" – Kharkiv National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

In the dissertation, the current scientific and applied problem of the development of conceptual bases, models, methods, and information technologies of the automated temporal knowledge bases' management to increase the efficiency of a choice of administrative decisions, solving partially structured and unstructured problems is solved.

The aim of the work is to develop models, methods and information technologies of automated management of temporal knowledge bases to increase the efficiency of the choice of management decisions in conditions of incomplete information about the state of the object of management or the management process.

In order to meet the goal of the dissertation, it is necessary to solve the following tasks:

1. Make an analysis of problems and approaches to automated management of knowledge bases to support management decision.
2. Develop a model of multivariate management decision based on temporal knowledge.
3. Develop a model for representing temporal dependencies for the tasks of supporting management decisions.
4. Develop models of temporal rules.
5. Develop a model of the temporal knowledge base.
6. Develop methods for constructing temporal rules.
7. Develop a method for determining the weights of temporal rules based on knowledge of the sequence of actions of management decisions.

8. To develop information technology for building a temporal knowledge base.

9. Develop a method for detecting the abnormal state of the control object based on the use of temporal rules.

10. Develop a method of inverse probabilistic inference on temporal rules for the formation of a multivariate management solution.

11. Develop information technology for automated support of management decisions using a temporal knowledge base.

12. Perform experimental verification of the developed methods and implement information technologies of automated management of the temporal knowledge base to support management decisions.

The object of research is the process of support and decision-making in organizational systems.

The subject of research is models, methods and information technologies of automated construction and use of knowledge bases to support management decisions.

The results of the dissertation are based on the use of the following: set theory – in the development of a model of a multivariate management solution and models of temporal knowledge representation; data mining methods – in the study and methods development for detecting the anomalous state of the control object, temporal logic – in the models development for the presentation of temporal knowledge and methods of constructing temporal rules; probability theory and mathematical statistics – in modelling of the probabilistic aspect of temporal knowledge representation, as well as developing a method for determining the weights of temporal rules and the method of inverse probability inference in the temporal knowledge base, knowledge base theory – in developing a model of temporal knowledge base.

In the dissertation:

1. For the first time, a model of a multivariate management solution based on temporal knowledge and contains alternative implementations of this solution, consisting of sequences of the control object states, corresponding to sequences of control actions, sets of temporal dependences for each of these sequences, and estimation of temporal dependences, that allows building and evaluating alternatives in solving the problem of forming a management decision.

2. For the first time, a model of representation of temporal dependences for problems of support of managerial decisions is offered, which contains a set of facts reflecting knowledge about the origin of a control object states, temporal relations determining a sequence of facts in time, and multiple operations defining combination, intersection and difference of facts. It allows in the temporal and object aspects to reflect the multivariate management decision with a given degree of detail of the temporal knowledge according to the organizational hierarchy of the control object.

3. For the first time, a model of temporal knowledge base was proposed, which contains logical-probabilistic representation of knowledge, knowledge of current management processes and states of control object, as well as means of construction, refinement and use of temporal knowledge, which allows automating knowledge management use these rules to support management decisions.

4. For the first time a method of detecting an anomalous state of a control object using temporal rules is proposed, which involves the formation of a set of weighted temporal dependencies, including knowledge of current and known alternative implementations of management decisions, as well as assessment of current state taking into account temporal constraints and temporal rules, which makes it possible to automate the solution of the task of identifying a problem situation in the process of supporting management decisions.

5. For the first time, the method of inverse probabilistic inference on temporal rules is proposed; the method forms a set of time-ordered sequences of facts, which reflect the knowledge of alternative sequences of states in the implementation of management decisions, which makes it possible to increase the effectiveness of

support for such decisions by reducing the number of alternatives offered to decision maker.

6. Improved methods for constructing production knowledge in terms of temporal rules, which, in contrast to existing ones, form classes of equivalence of facts and rules and distinguish rules-restrictions and rules-probable conditions of control actions, which allows using information on known implementations of management decisions in automatic mode to build temporal knowledge to support management decisions.

7. Improved the method of determining the weights of temporal rules based on the values of probabilities of sequences of facts, which, in contrast to existing, uses temporal knowledge of the sequence of actions for alternative management decisions except temporal constraints, which allows to organize alternatives in making management decisions changes in the state of the object of control of scales of temporal rules.

8. Productive representation of knowledge in the form of an ensemble of models of temporal rules which, unlike existing, contain knowledge concerning an order in time of the facts of states occurrence of a management object, and also changes in states of separate standard objects as a part of object of management has got further development, which makes it possible to use temporal knowledge to form such new sequences of control actions that ensure the achievement of the target state of the object of management in the process of supporting management decisions.

The dissertation is performed in accordance with the plan of research work of Kharkiv National University of Radio Electronics within the framework of such state budget research works: «Development of the technology of remote registration of threats to the biosafety of drinking and other types of water use in extreme situations» (№ SR 0117U002527); «Smart Cyber University – Cloud-Mobile management services of scientific and educational processes» (№ SR 0117U002524); economic and contractual research work: «Design, creation, preliminary testing and experimental operation of a comprehensive information security system in the information and telecommunications system «Kuznechna»

ME «CIC» (№ SR 0119U000212); «Design, creation, preliminary testing and experimental operation of a comprehensive information security system in the information and telecommunications system «Nauky» ME «CIC» (№ SR 0119U000213).

The practical significance of the obtained theoretical results of the dissertation is the development of information technologies for building a temporal knowledge base and automated support for management decisions using a temporal knowledge base. The results of the dissertation were tested and implemented: in LLC «Digital Cloud Technologies Global» (act of implementation from 10.09.2020); in PE «Softway Expert» (act of implementation from 03.02.2021); in Subsidiary «Protection and Automation of Facilities SRIRM» (act of implementation from 18.11.2020); at the National Scientific Center «Institute of Metrology» (act of implementation from 09.12.2020); in the educational process of Kharkiv National University of Radio Electronics (act of implementation from 25.02.2021).

The introduction of methods, models and information technologies developed in the dissertation makes it possible to increase the efficiency of decision-making by the decision-maker on the basis of automated formation of a set of probabilistic assessment of management decision alternatives and a corresponding reduction in the number of alternatives considered by the decision-maker.

According to research published 65 scientific works, of them 24 works are written without co-authors: 44 articles (39 in professional periodicals of Ukraine on technical sciences, including 1 article in the category “A” journal, indexed in the international scientometric database Scopus and referred to the third quartile (Q3), 1 article in the journal of category “A”, indexed in the international scientometric database Web of Science Core Collection), 5 articles in foreign English-language periodicals on technical sciences of the European Union (Estonia, Poland), including 1 article in the publication indexed in international scientometric database Scopus; 21 abstracts of reports in the materials of scientific conferences.

List of publications that include the main scientific results:

1. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модель иерархического представления времени в темпоральных знаниях. *Біоніка інтелекту*. 2015. № 2 (85). С. 31 -34.
2. Левикін В. М., Чала О.В. Оцінювання часових характеристик подій дискретних процесів у відповідності до концепції GUM. *Метрологія та прилади*. 2015. № 6 (56). С.19-23. Чалая О.В. Контекстно-ориентированный подход к моделированию бизнес-процессов. *Біоніка інтелекту*. 2016. № 1(86). С. 68-71.
3. Чалая О.В. Контекстно-ориентированный подход к моделированию бизнес-процессов. *Біоніка інтелекту*. 2016. № 1(86). С. 68-71.
4. Левыкин В. М., Чалая О.В. Выделение элементов контекста знание-емких бизнес-процессов на основе анализа логов. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2016. № 5/2(31). С. 65-71. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.80989.
5. Левыкин В. М., Чалая О.В. Разработка модели многовариантного знание-емкого бизнес-процесса. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2016. № 4(59). С. 195-202.
6. Левыкин В. М., Чалая О. В. Модель знание-емкого бизнес-процесса для задач интеллектуального анализа процессов. *Управляючі системи та машини*. 2016. № 6. С. 59-66. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2016.06.059>.
7. Левикін В. М., Чала О.В. Оцінювання характеристик інформаційних об'єктів на прикладі елементів знання-ємних бізнес-процесів. *Метрологія та прилади*. 2016. № 6(62). С. 48-53.
8. Левыкин В. М. Чалая О.В. Модели шаблонов поведения объектов контекста знание-емкого бизнес-процесса. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2016. Вип. 5 (100). С. 26-31.
9. Чалая О.В. Метод обобщения представления знание-емкого бизнес-процесса. *Біоніка інтелекту*. 2016. № 2(87). С. 101-105.

10. Чалая О.В. Модель неявных реляционных зависимостей в знание-емких бизнес-процессах. *Проблеми інформаційних технологій*. 2016. № 2(020). С. 111-118.

11. Чала О.В. Формалізація неявних процедурних залежностей в знання-емних бізнес-процесах. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2016. № 4. С. 43-47.

12. Левыкин В. М., Чалая О.В. Выделение контекстно-процедурных зависимостей знание-емкого бизнес-процесса на основе анализа логов. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2016. № 6/1(32). С. 43-49. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.86220.

13. Левикін В. М., Чала О.В. Виділення реляційних залежностей бізнес-процесу на основі аналізу його логу. *Наукоємні технології*. 2016. № 4(32). С. 405-409.

14. Чала О.В. Еволюційний підхід до управління життєвим циклом знання-емних бізнес-процесів. *Наукоємні технології*. 2017. № 1(33). С. 53-59.

15. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модель жизненного цикла знание-емкого бизнес-процесса. *Управляючі системи та машини*. 2017. № 1. С. 68–76, 85. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2017.01.068>.

16. Чала О.В. Принцип та метод еволюційної побудови бази знань на основі аналізу логів ІС процесного управління. *Біоніка інтелекту*. 2017. № 1(88). С. 80-84.

17. Левикін В. М., Чала О. Концепція автоматизованої побудови бази знань у системі процесного управління. *Біоніка інтелекту*. 2017. № 2(89). С. 77-83.

18. Chala O. Logical-probabilistic representation of casual dependencies between events in business-process management. *Advanced information systems*. 2018. Vol. 2. №. 2. P. 40-44. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.07>.

19. Levykin V., Chala O. Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system. *EUREKA: Physics*

and Engineering. 2018. Vol. 4. P. 29-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00676>.

20. Levykin V., Chala O. Development of a method of probabilistic inference of sequences of business process activities to support business process management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5/3(95). P. 16-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.142664 (входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

21. Levykin V., Chala O. Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control system. *EUREKA. Physics and Engineering*. 2018. Vol. 5. P. 3-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00713>.

22. Chala O. Method for detecting anomalous states of a control object in information systems based on the analysis of temporal data and knowledge. *EUREKA. Physics and Engineering*. 2018. Vol. 6. P. 28-35. DOI: [10.21303/2461-4262.2018.00787](http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00787).

23. Chala O. Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base. *Econtechmod. An International Quarterly Journal*. 2018. Vol. 7, No. 3. P. 53 – 58.

24. Чала О. В. Побудова темпоральних правил для представлення знань в інформаційно-управляючих системах. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Том 2, № 3. С. 54-59. DOI: [10.20998/2522-9052.2018.3.09](http://dx.doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.09).

25. Левикін В. М., Чала О. В. Підтримка прийняття рішень в інформаційно-управляючих системах з використанням темпоральної бази знань. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Том 2, № 4. С. 101-107. DOI: [10.20998/2522-9052.2018.4.17](http://dx.doi.org/10.20998/2522-9052.2018.4.17).

26. Левикін В. М., Чала О. В. Підтримка управління складеним об'єктом в ІУС з використанням темпоральних залежностей. *Біоніка інтелекту*. 2018. № 1(90). С. 110-115.

27. Левикін В. М., Чала О.В. Метод підтримки управлінських рішень в умовах невизначеності на основі темпоральних знань. *Біоніка інтелекту*. 2018. № 2(91). С. 54-59.
28. Chala O. Development of information technology to support management decisions using the probabilistic inference in a temporal knowledge base. *Problems of information technologies*. 2018. № 2(024). P. 35-44. DOI: <https://doi.org/10.35546/2313-0687.2018.24.35-44>.
29. Chala O. Development of information technology for the automated construction and expansion of the temporal knowledge base in the tasks of supporting management decisions. *Technology audit and production reserves*. 2019. № 1/2(45). P. 9-14. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.160205.
30. Chala O, Novikova L., Chernyshova L., Kalnitskaya A. Method for detecting shilling attacks based on implicit feedback in recommender systems. *EUREKA. Physics and Engineering*. 2020. Vol. 5. P. 21-30. DOI: 10.21303/2461-4262.2020.001394 (входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).
31. Петров К. Э., Дейнеко А. А., Чалая О. В., Панферова И. Ю. Метод ранжирования альтернатив при проведении процедуры коллективного экспертного оценивания. *Радиоэлектроника, информатика, управління*. № 2(53). 2020. С. 84-94. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-2-9 (входить до міжнародної наукометричної бази Web of Science).
32. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модель многоуровневого представления темпоральных знаний в задачах интеллектуального анализа процессов. *Вісник Академії митної служби України. Технічні науки*. 2015. №1 (51). С.5-12.
33. Левыкин В. М., Чалая О.В. Компонентная модель представления знаний о бизнес-процессе. *Системи обробки інформації*. 2016. № 9(146). С. 182-186.
34. Левыкин В. М., Чалая О.В. Иерархическая модель контекста знание-емкого бизнес-процесса. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2016. № 37(1209). С. 43-47.

35. Левыкин В. М., Чалая О.В. Метод актуализации знание-емких бизнес-процессов. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». *Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2016. № 45(1217). С. 65-69.

36. Левыкин В. М., Чалая О.В. Метод екстерналізації знань-емких бизнес-процесов. *Системи та технології*. 2016. № 1(55). С. 35-43.

37. Левикін В. М., Чала О.В. Модель бази знань інформаційної системи процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2017. № 28(1250). С. 74-78.

38. Левикін В. М., Чала О.В. Підхід до виявлення аномальної поведінки процесів в системах процесного управління на основі аналізу логів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2017. № 55(1276). С. 77-81.

39. Левикін В. М., Чала О. В. Розробка представлення причинно-наслідкових залежностей для бази знань системи процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2018. № 21(1297). С. 48-53.

40. Чала О. В. Метод ієрархічного виведення в базі знань інформаційно-управляючої системи в парадигмі «Enterprise 2.0». *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 4(50). С. 86-90. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.4.086.

41. Чала О. В. Метод побудови контекстно-орієнтованих правил в темпоральній базі знань. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 5(51). С. 115-120. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.5.115.

42. Чала О. В. Принципи автоматизованої побудови та використання темпоральної бази знань. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 6 (52). С. 122-125. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.6.122.

43. Чала О. В. Розробка представлення знань на основі марківських логічних мереж в системі процесного управління. *Вісник Національного*

технічного університету «ХПІ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології. 2018. № 22(1298). С. 22-26.

44. Чала О. В. Модель узагальненого представлення темпоральних знань для задач підтримки управлінських рішень. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології.* 2020. № 1(3). С. 14-18. DOI: 10.20998/2079-0023.2020.01.03.

45. Чалая О.В. Моделирование процесса трансформации неформализованных знаний. *XX Міжнародний конгрес двигунобудівників.* (Харків, 2015). Харків: Нац. Аерокосмічний ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2015. С. 96.

46. Чала О.В. Объектно-ориентированный подход к моделированию бизнес-процессов. *Поліграфічні, мультимедійні та web-технології (PMW-2016):* Тези допов. I Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 16-20 травня 2016). Харків: ХНУРЕ, 2016. С. 75-76.

47. Левыкин В. М., Чалая О.В. Использование контекста при выделении неявного процедурного знания. *Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління:* Тези допов. VI Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 21-22 квіт. 2016). Харків: ДП «Харківський НДІ технології машинобудування», 2016. С. 35.

48. Левыкин В. М., Чалая О.В. Построение моделей адаптируемых бизнес-процессов на основе анализа логов событий. *Інформаційні системи та технології (ICT-2016):* Тези доп. V Міжнар. наук.-техн. конф. (Коблево-Харків, 12-17 верес. 2016). Харків: ХНУРЕ, 2016. С. 47-48.

49. Левыкин В. М., Чалая О.В. Структуризация неявной составляющей контекста бизнес-процесса. *Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-Одеса-2016):* Тези допов. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 20-22 верес. 2016). Одеса: ОНПУ, 2016. С. 185-186.

50. Чала О.В. Оцінювання темпорального аспекту дискретного процесу згідно концепції GUM. *Метрологія та вимірвальна техніка (MVT-2016):*

Тези допов. X Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 5-7 жовт. 2016). Харків: ХНУРЕ, 2016. С. 26.

51. Левыкин В. М., Чалая О.В. Застосування методів інтелектуального аналізу процесів для виявлення патернів поведінки динамічних об'єктів. *Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM*: Тези доп. наук.-техн. конф. (Київ, 21-23 листоп. 2016). Київ: НАУ, 2016. С. 67.

52. Левыкин В. М., Чалая О.В. Информационная технология актуализации модели знание-емкого бизнес-процесса. *Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку*: Тези допов. Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 15-16 бер. 2017). Харків: НАЦГУ, 2017. С 142-143.

53. Чала О.В. Інформаційна технологія управління життєвим циклом знання-ємних бізнес-процесів. *Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*: Тези допов. Всеукр. наук.-практ. конф. (Черкаси, 13-19 бер. 2017). Черкаси: ЧНУ, 2017. С. 107-108.

54. Чалая О.В. Пополнение базы знаний ИУС с использованием методов анализа логов. *Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні '2017*: Тези допов. V Міжнар. наук.-практ. конф. (Київ, 22-23 черв. 2017). Київ: НУБіП України, 2017. С. 126-127.

55. Levykin V.M., Chala O.V. Automated knowledge base construction using process logs. *Scientific progress news: Proceeding in XIII International scient.-pract. confer.* (Sofia, Bulgaria, August 15-22, 2017). Sofia, 2017. P. 26-28.

56. Левикін В.М., Чала О.В. Автоматизована побудова баз знань для вирішення метрологічних задач. *Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи (МІВТС-2017)*: Тези допов. VI Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 24-25 жовт. 2017). Харків: ХНУРЕ, 2017. С. 87-88.

57. Чала О.В. Побудова подієвої складової бази знань в рамках системи управління підприємством. *Інформаційні технології – 2018 (ІТ-2018)*: Тези допов. V Всеукр. наук.-практ. конф. (Київ, 17 трав. 2018). Київ: УГ. С. 143-145.

58. Левикін В.М., Чала О.В. Контекстні обмеження в базі знань інформаційної системи процесного управління. *Комп'ютерні та інформаційні системи і технології*: Тези допов. II Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 18-19 квіт. 2018). Харків, ХНУРЕ, 2018. С. 108.

59. Чала О.В. Визначення інтегральної оцінки відхилень траєкторій у журналі подій в інформаційних системах процесного управління. *ProfIT Conference*: Тези допов. I Міжнар. наук.-практ. конф. ІТ-професіоналів та аналітиків комп'ютерних систем (Харків, 24 – 26 квіт. 2018). Харків, НАУ ім. Жуковського, ХАІ, 2018. С. 34-35.

60. Левикін В.М., Чала О.В. Використання темпоральних правил в задачах захисту інформації в комп'ютерних системах. *Інформаційні системи та технології (ІСТ-2018)*: Тези допов. VII Міжнар. наук.-техн. конф. (10-15 верес. 2018). Харків: ХНУРЕ, 2018. С. 35-38.

61. Левикін В.М., Чала О.В. Моделювання причинно-наслідкових зв'язків між подіями логу бізнес-процесу в задачах автоматизованої побудови баз знань. *Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ 2021)*: Тези допов. VII Міжнар. наук.-практ. конф. (Одеса, 17-18 вер. 2018). Одеса: ОНПУ, 2018. С.141-142.

62. Левикін В.М., Чала О.В. Автоматизована побудова бази темпоральних правил при управлінні якістю медичних послуг. *Інформаційні системи та технології в медицині (ISM-2018)*: Тези допов. I Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 28-30 листоп. 2018). Харків: ХНУРЕ, 2018. С. 106-107.

63. Левикін В. М., Чала О.В. Знання-орієнтована структуризація управлінського рішення в системах підтримки прийняття рішень. *Комп'ютерні та інформаційні системи і технології*: Тези допов. III Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 23-24 квіт. 2019). Харків: ХНУРЕ, 2019. С. 111.

64. Levykin V., Chala O. Algebraic approach to the description of temporal knowledge in decision support tasks. *Computer and information systems and technologies: Proceeding in IV International. scient.- techn. confer.* (Kharkiv, April 22-23, 2020). Kharkiv: KNURE, 2020. P.74-75.

65. Левикін В.М., Чала О.В. Виявлення проблемних ситуацій при підтримці управлінського рішення з використання бінарного та ймовірнісного критеріїв. *Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-2020): Тези допов. ІХ Міжнар. наук.-практ. конф.* (Одеса, 24-26 вересн. 2020). Одеса: ОНПУ, С.130-131.

ЗМІСТ

АНОТАЦІЯ	2
ANNOTATION	16
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ	34
ВСТУП	35
1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ Й ВИКОРИСТАННЯ БАЗ ЗНАНЬ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ	46
1.1 Аналіз моделей процесу прийняття управлінських рішень	46
1.2 Аналіз сучасних інформаційних систем підтримки прийняття та виконання рішень.....	61
1.3 Аналіз моделей та методів автоматизованого управління базами знань	73
1.4 Висновки та постановка завдань дослідження	88
2 РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ОСНОВ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕМПОРАЛЬНИМИ БАЗАМИ ЗНАНЬ ДЛЯ ПІДТРИМКИ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ	92
2.1 Постановка задачі автоматизованого управління темпоральними базами знань для підтримки управлінських рішень.....	93
2.2 Розробка моделі багатоваріантного управлінського рішення з використанням темпоральних знань	112
2.3 Розробка концептуального підходу до автоматизованого управління темпоральною базою знань для підтримки прийняття управлінських рішень.....	124

	31
Висновки до розділу 2	138
3 РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТЕМПОРАЛЬНИХ ЗНАНЬ ДЛЯ ЗАДАЧ ПІДТРИМКИ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ.....	141
3.1 Розробка моделі представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень	142
3.2 Розробка моделей темпоральних правил.....	164
3.3 Розробка моделі темпоральної бази знань	179
Висновки до розділу 3	194
4 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ ТЕМПОРАЛЬНИХ БАЗ ЗНАНЬ	196
4.1 Розробка методів побудови бази темпоральних знань для підтримки прийняття управлінських рішень	197
4.1.1 Метод побудови бази темпоральних знань для підтримки прийняття управлінських рішень	199
4.1.2 Методи побудови темпоральних правил типів «NeXt» та «Future»	201
4.1.3 Метод побудови темпоральних правил типу «Until».....	209
4.2 Розробка удосконаленого методу визначення ваг темпоральних правил.....	215
4.3 Розробка інформаційної технології побудови темпоральної бази знань	219
Висновки до розділу 4	224
5 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕМПОРАЛЬНИХ ЗНАНЬ	226
5.1 Розробка методу виявлення аномальних станів об'єкту управління з використанням темпоральних правил	227

5.2 Розробка темпоральних методів виявлення аномальних станів об'єкту управління внаслідок шилінг-атак в системах електронної комерції	244
5.2.1 Метод виявлення шилінг-атак на основі порівняння темпоральних правил.....	247
5.2.2 Метод виявлення шилінг-атак на основі порівняння темпорального опису процесів зміни уподобань користувачів	257
5.3 Розробка методу зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних правилах для підготовки комплексного управлінського рішення.....	262
5.4 Розробка інформаційної технології автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань	275
Висновки до розділу 5	280
6 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МЕТОДІВ ТА АПРОБАЦІЯ РОЗРОБЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ.....	282
6.1 Експериментальна перевірка методів побудови та використання темпоральної бази знань.....	283
6.1.1 Експериментальна перевірка методу визначення ваг темпоральних правил.....	283
6.1.2 Експериментальна перевірка методу виявлення аномальних станів об'єкту управління в результаті шилінг-атак на основі порівняння темпоральних правил	287
6.1.3 Експериментальна перевірка методу зворотного ймовірнісного виводу.....	292
6.2 Розробка платформи темпоральної бази знань.....	298
6.3 Апробація інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підтримки управлінських рішень	303

6.3.1 Апробація інформаційних технологій при вирішенні задачі побудови рекомендацій.....	303
6.3.2 Апробація інформаційних технологій при вирішенні задачі підтримки конфігурування серверів у хмарі на кластері Nomad.....	309
Висновки до розділу 6.	316
ВИСНОВКИ.....	318
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	322
ДОДАТОК А Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації	353
ДОДАТОК Б Акти про реалізацію і впровадження результатів дисертаційної роботи	362

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

БД – база даних;

БЗ – база знань;

ОПР – особа, що приймає рішення;

ОУ – об’єкт управління;

ПР – прийняття рішення;

СЕК – системи електронної комерції;

СУБД – система управління базами даних;

УР – управлінське рішення;

DSS – інформаційні системи підтримки прийняття рішень (англ. Decision Support Systems);

GDSS – система підтримки рішень групи співробітників (англ. Group Decision Support Systems);

EIS – система підтримки керівника (англ. Executive Information Systems);

ESS – система виконавчої підтримки (англ. Executive Support Systems);

KBDSS – система підтримки прийняття рішень на основі знань (англ. Knowledge Based Decision Support Systems);

MIS – інформаційно-управляюча система (англ. Management Information Systems);

OLAP – аналітична обробка у реальному часі (англ. Online Analytical Processing);

SPARQL – мова запитів до даних, які представлені в RDF моделі (англ. Protocol and RDF Query Language);

TPS – система обробки транзакцій (англ. Transactions Processing Systems).

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний стан організаційного управління характеризується широким використанням знання-орієнтованих інформаційних технологій підтримки управлінських рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач на тактичному та стратегічному рівнях організаційної ієрархії підприємства.

Підтримка прийняття управлінських рішень реалізується в умовах неповноти інформації щодо поточного стану об'єкта організаційного управління з використанням баз знань і призначена для вирішення трудомістких задач виявлення проблемної ситуації, представленої аномальним станом об'єкту управління, а також формування для особи, що приймає рішення (ОПР), множини альтернативних варіантів виконання управлінського рішення, упорядкованих за заданим критерієм ефективності. Кожен із таких варіантів має темпоральні характеристики і представляється у вигляді послідовності управляючих дій у часі. Вирішення задачі побудови упорядкованої множини варіантів виконання управлінського рішення дозволяє ОПР зробити обґрунтований вибір послідовностей управляючих дій при виникненні аномального стану об'єкту управління, що дає можливість підвищити ефективність прийняття управлінських рішень.

Використання баз знань для підтримки управлінських рішень потребує створення та своєчасного доповнення знань, а також реалізації виводу на знаннях щодо процесу організаційного управління. Тому важливе місце при підтримці управлінських рішень займає вирішення задач управління базою знань. Автоматизоване управління базою знань при вирішенні задач підтримки управлінських рішень є актуальним для класу сучасних високотехнологічних підприємств, характерною ознакою яких є діяльність з використання, розробки, адаптації, поставки та конфігурування інформаційних сервісів та технологій.

Значний внесок у розробку моделей представлення знань та методів побудови й використання баз знань для підтримки прийняття рішень з використанням інтерактивних підходів та обчислювального інтелекту, а також з урахуванням темпорального аспекту знань внесли роботи вітчизняних та зарубіжних авторів: М.Ф. Бондаренка, Е.Г. Петрова, Д.О. Поспєлова, І.Б. Сіроджі, Ю.П. Шабанова-Кушнарєнка, Н.В. Шаронової, W.W. Cohen, P. Domingos, O. Etzioni, J. Hoffart, J. Leskovec, A. McCallum, T.M. Mitchell, I. Nonaka, C. Re, M. Richardson, S. Staab, F. M. Suchanek, H. Takeuchi, G. Weikum та ін.

Проведений аналіз стану проблеми управління базами знань дає можливість зробити висновок про недостатню ефективність існуючих моделей та методів для вирішення задач підтримки управлінських рішень. При побудові баз знань використовуються знання експертів, також знання, що вбудовані у організаційні процедури, документи й процеси. В системах підтримки прийняття рішень традиційно використовуються комунікативні методи вилучення знань у експертів. Реалізація цих методів потребує значних витрат часу, а також проведення перевірки на несуперечливість, що не дає можливості оперативно поповнювати базу знань і, на цій основі, формувати множину альтернативних варіантів управлінського рішення, актуальну у заданий момент часу. Вбудовані знання використовуються при реалізації методів автоматизованого управління базами знань в інформаційно-пошукових, інформаційно-довідкових та інформаційно-аналітичних системах. Існуючі методи автоматизованого управління знаннями не враховують темпоральну упорядкованість, що не дає можливість сформувати послідовності управляючих дій у часі при реалізації задач підтримки управлінських рішень. Отже, існує протиріччя між практичними потребами знання-орієнтованої підтримки управлінських рішень в умовах неповноти інформації щодо стану об'єкту управління на тактичному та стратегічному рівнях управління з урахуванням темпорального аспекту управляючих дій та можливостями існуючих методів автоматизованого управління базами знань.

Таким чином, розробка концептуальних основ, моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності вибору управлінських рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач є актуальною науково-прикладною проблемою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконана відповідно до плану науково-дослідних робіт Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках таких держбюджетних НДР: «Розробка технології дистанційної реєстрації загроз біобезпеці питного та інших видів водокористування у екстремальних ситуаціях» (№ ДР 0117U002527); «Розумний Кібер Університет – Cloud-Mobile сервіси управління науково-освітніми процесами» (№ ДР 0117U002524); господарсько-договірних НДР: «Проектування, створення, попереднє випробування та дослідна експлуатація комплексної системи захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі «Кузнечна» КП «МІЦ» (№ ДР 0119U000212); «Проектування, створення, попереднє випробування та дослідна експлуатація комплексної системи захисту інформації в інформаційно-телекомунікаційній системі «Науки» КП «МІЦ» (№ ДР 0119U000213).

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності підтримки прийняття управлінських рішень в умовах неповноти інформації щодо стану об'єкту управління.

Для досягнення мети дисертаційної роботи необхідно вирішити такі завдання:

1. Провести аналіз проблем та підходів до автоматизованого управління базами знань для підтримки управлінських рішень.
2. Розробити модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях.

3. Розробити модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень.
4. Розробити моделі темпоральних правил.
5. Розробити модель темпоральної бази знань.
6. Розробити методи побудови темпоральних правил.
7. Розробити метод визначення ваг темпоральних правил на основі знань щодо виконаних послідовностей дій управлінського рішення.
8. Розробити інформаційну технологію побудови темпоральної бази знань.
9. Розробити метод виявлення аномального стану об'єкту управління на основі використання темпоральних правил.
10. Розробити метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних правилах для формування багатоваріантного управлінського рішення.
11. Розробити інформаційну технологію автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань.
12. Виконати експериментальну перевірку розроблених методів та реалізувати інформаційні технології автоматизованого управління темпоральною базою знань для підтримки управлінських рішень.

Об'єктом дослідження є процес підтримки й прийняття управлінських рішень у організаційних системах.

Предметом дослідження є моделі, методи та інформаційні технології автоматизованої побудови й використання баз знань для підтримки управлінських рішень.

Методи дослідження: результати дисертаційної роботи ґрунтуються на використанні: теорії множин – при розробці моделі багатоваріантного управлінського рішення та моделей представлення темпоральних знань; методів інтелектуального аналізу даних – при дослідженні й розробці методів виявлення аномального стану об'єкту управління, темпоральної логіки – при розробці моделей представлення темпоральних знань та методів побудови темпоральних правил; теорії ймовірності та математичної статистики – при

моделюванні ймовірнісного аспекту представлення темпоральних знань, а також розробці методу визначення ваг темпоральних правил та методу зворотного ймовірнісного виводу в темпоральній базі знань, теорії баз знань – при розробці моделі темпоральної бази знань.

Наукова новизна отриманих результатів.

На основі виконаних теоретичних та експериментальних досліджень вирішено важливу науково-прикладну проблему розробки концептуальних основ, моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності вибору управлінських рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач. Отримано такі нові наукові результати.

1. Вперше запропоновано модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях та містить альтернативні реалізації цього рішення у складі послідовностей станів об'єкту управління, які відповідають послідовностям управляючих дій, набори темпоральних залежностей для кожної з цих послідовностей, а також оцінки темпоральних залежностей, що дає можливість побудувати та оцінити альтернативи при вирішенні задачі формування управлінського рішення.

2. Вперше запропоновано модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень, яка містить множину фактів, що відображають знання щодо виникнення станів об'єкту управління, темпоральні відношення, що визначають послідовність фактів у часі, та множинні операції, які задають поєднання, перетин та різницю фактів, що дає змогу у темпоральному й об'єктному аспектах відобразити багатоваріантність управлінського рішення із заданим ступенем деталізації темпоральних знань згідно організаційної ієрархії об'єкту управління.

3. Вперше запропоновано модель темпоральної бази знань, що містить логіко-ймовірнісне представлення знань, знання щодо поточних процесів управління та станів об'єкту управління, а також засоби побудови, уточнення й використання темпоральних знань, що дає можливість автоматизувати

управління знаннями шляхом побудови темпоральних правил та подальшого використання цих правил для підтримки управлінських рішень.

4. Вперше запропоновано метод виявлення аномального стану об'єкту управління з використанням темпоральних правил, який передбачає формування множини зважених темпоральних залежностей, що охоплюють знання про поточну та відомі альтернативні реалізації управлінського рішення, а також оцінку поточного стану з урахуванням темпоральних обмежень й ваг темпоральних правил, що дає можливість автоматизувати вирішення задачі виявлення проблемної ситуації у процесі підтримки управлінського рішення.

5. Вперше запропоновано метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних правилах; метод формує упорядковану за ймовірністю реалізації множину впорядкованих у часі послідовностей фактів, які відображають знання щодо альтернативних послідовностей станів при реалізації управлінського рішення, що дає можливість підвищити ефективність підтримки таких рішень за рахунок зменшення кількості альтернатив, які пропонуються ОПР.

6. Удосконалено методи побудови продукційних знань в аспекті темпоральних правил, які, на відміну від існуючих, формують класи еквівалентності фактів і правил та виділяють правила-обмеження і правила-ймовірні умови виконання управляючих дій, що дає можливість з використанням інформації щодо відомих імплементацій управлінського рішення у автоматичному режимі побудувати темпоральні знання для підтримки управлінських рішень.

7. Удосконалено метод визначення ваг темпоральних правил на основі значень ймовірностей послідовностей фактів, який, на відміну від існуючих, використовує темпоральні знання щодо виконаних послідовностей дій для альтернативних варіантів управлінського рішення за виключенням темпоральних обмежень, що дає можливість упорядкувати альтернативи при

формуванні управлінського рішення з використанням уточнених при зміні стану об'єкту управління ваг темпоральних правил.

8. Набуло подальшого розвитку продукційне представлення знань у формі ансамблю моделей темпоральних правил, які, на відміну від існуючих, містять знання щодо порядку у часі фактів виникнення станів об'єкту управління, а також змін у станах окремих типових об'єктів у складі об'єкту управління, що дає можливість використати темпоральні знання для формування таких нових послідовностей управляючих дій, які забезпечують досягнення цільового стану об'єкту управління у процесі підтримки управлінського рішення.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення отриманих теоретичних результатів дисертаційної роботи полягає у розробці інформаційних технологій побудови темпоральної бази знань та автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань. Результати дисертаційної роботи були апробовані і впроваджені: у ТОВ "Діджитал клоуд технолоджіз глобал" (акт впровадження від 10.09.2020 р.); в ПП "Софтвеа експерт" (акт впровадження від 03.02.2021 р.); у ДП «Захист і автоматизація об'єктів НДІРВ» (акт впровадження від 18.11.2020 р.); в Національному науковому центрі «Інститут метрології» (акт впровадження від 09.12.2020 р.); в освітній процес Харківського національного університету радіоелектроніки (акт впровадження від 25.02.2021 р.).

Впровадження розроблених в дисертаційній роботі методів, моделей та інформаційних технологій дає можливість підвищити ефективність прийняття рішень ОПР на основі автоматизованого формування упорядкованої за ймовірнісною оцінкою множини альтернатив управлінського рішення та відповідного зменшення кількості альтернатив, які розглядаються ОПР.

Особистий внесок здобувача.

Всі наукові результати дисертаційної роботи, які виносяться на захист, отримані автором самостійно. Наукові праці: [3], [9] - [11], [14], [16], [18], [22]

- [24], [28], [29], [40] - [44] опубліковано без співавторів. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать такі результати:

[1] – запропоновано модель ієрархічного представлення часу для формування темпоральних знань із заданим ступенем деталізації опису об'єкту управління;

[2] – запропоновано метод оцінювання часу виникнення подій у дискретних процесах для порівняння послідовностей станів таких процесів;

[4] – запропоновано метод виділення елементів контексту виконання знання-ємних процесів для побудови опису кожного з станів процесу на основі множини значень атрибутів; [5] – запропоновано модель багатоваріантного процесу, яка містить множину можливих альтернативних послідовностей дій, визначає умови виконання дій через значення властивостей типових об'єктів-артефактів, а також містить продукційні знання, що визначають послідовність виконання цих дій; [6] – запропоновано модель знання-ємного процесу, що містить набір станів процесу і знання щодо переходів між станами у вигляді множини правил, що визначаються з використанням темпоральної логіки;

[7] – запропоновано метод оцінювання станів об'єктів управління для знання-ємного процесу на основі визначення класів еквівалентності цих об'єктів, а також відношень темпорального порядку та узагальнення/деталізації;

[8] – запропоновано моделі шаблонів поведінки типових об'єктів - артефактів, що містять атрибутивний опис таких об'єктів та темпоральні залежності між їх станами; [12] – запропоновано метод виділення прототипів темпоральних правил на основі визначення контекстних залежностей для послідовності дій;

[13] – запропоновано метод виділення залежностей між типовими об'єктами-артефактами з урахуванням значень їх атрибутів; [15] – запропоновано модель підтримки життєвого циклу знання-ємного процесу на основі актуалізації знань щодо типових об'єктів-артефактів, а також обмежень та правил виконання дій; [17] – запропоновано концепцію автоматизованої побудови, доповнення та використання бази знань для підтримки управлінських рішень;

[19] – запропоновано метод автоматизованої побудови та оновлення бази знань, що містить етапи визначення фактів, побудови правил та обчислення

розподілу ймовірностей для правил; [20] – запропоновано метод зворотного ймовірнісного виводу в темпоральній базі знань на основі темпоральних правил; [21] – запропоновано метод розрахунку ваг темпоральних правил в темпоральній базі знань; [25] – удосконалено модель темпоральної бази знань шляхом її доповнення алгоритмами побудови та використання темпоральних знань; [26] – запропоновано метод підтримки управлінських рішень з використанням темпоральних знань для комплексного об'єкту управління, що складається з елементарних об'єктів-артефактів; [27] – запропоновано модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях, та удосконалено метод підтримки управлінських рішень на основі темпоральних знань; [30] – запропоновано метод виявлення аномального стану об'єкту управління, що виникає в результаті атаки на рейтинги товарів та послуг в інформаційних рекомендаційних системах; [31] – запропоновано модель експертного оцінювання альтернатив для порівняння альтернативних варіантів управлінського рішення; [32] – запропоновано модель представлення темпоральних знань, що враховує абсолютну та відносну шкали представлення часу; [33] – запропоновано модель представлення знань про послідовність управляючих дій, що містить декларативні знання щодо станів типових об'єктів-артефактів, процедурні знання щодо дій, а також темпоральні обмеження; [34] – запропоновано модель об'єкту управління у вигляді ієрархії артефактів, стани яких змінюються з часом; [35] – запропоновано метод уточнення знань щодо послідовностей управляючих дій з урахуванням обмежень та умов виконання таких дій; [36] – запропоновано метод виявлення продукційних правил на основі аналізу послідовностей подій, що відображають послідовності реалізованих управляючих дій у часі, а також відповідні послідовності станів об'єкту управління; [37] – запропоновано модель темпоральної бази знань; [38] – запропоновано підхід до виявлення аномальних станів об'єкту управління на основі відхилень у характеристиках та у темпоральному порядку його станів; [39] – запропоновано представлення

знань у вигляді фактів та зважених правил для послідовностей станів об'єкту управління.

Апробація матеріалів дисертації. Основні результати дисертаційного дослідження доповідались на 21 міжнародній науково-технічній та науково-практичній конференціях: XX Міжнародному конгресі двигунобудівників (м. Харків, 2015 р.) [45]; I Міжнародній науково-технічній конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології (PMW-2016)» (м. Харків, 2016 р.) [46]; VI Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» (м. Харків, 2016 р.) [47]; V, VII Міжнародних науково-технічних конференціях «Інформаційні системи та технології» (Коблево-Харків, 2016, 2018 рр.) [48], [60]; V, VII та IX Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ)» (м. Одеса, 2016, 2018, 2020 рр.) [49], [61], [65]; X Міжнародній науково-технічній конференції «Метрологія та вимірювальна техніка 2016» (м. Харків, 2016) [50]; науково-технічній конференції «Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM» (м. Київ, 2016 р.) [51]; Міжнародній науково-практичній конференції «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку» (м. Харків, 2017 р.) [52]; Всеукраїнській науково-практичній конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку» (м. Черкаси, 2017 р.) [53]; V Міжнародній науково-практичній конференції «Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні 2017» (м. Київ, 2017 р.) [54]; XIII International scientific-practical conference «Scientific progress news» (Sofia, Bulgaria, 2017) [55]; VI Міжнародній науково-технічній конференції «Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи (MIBTC-2017)» (м. Харків, 2017 р.) [56]; V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології – 2018 (IT-2018)» (м. Київ, 2018 р.) [57];

II, III та IV Міжнародних науково-технічних конференціях «Комп'ютерні та інформаційні системи і технології» (м. Харків, 2018, 2019, 2020 рр.) [58], [63], [64]; I Міжнародній науково-практичній конференції «ІТ- професіоналів та аналітиків комп'ютерних систем» (Харків, 2018 р.) [59]; I Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології в медицині» (м. Харків, 2018 р.) [62].

Публікації. За результатами досліджень опубліковано 65 наукових праць, з них 24 праці написані без співавторів: 44 статті (39 у фахових періодичних виданнях України з технічних наук, в тому числі 1 стаття в журналі категорії «А», що індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus та віднесена до третього квартиля (Q3), 1 стаття у журналі категорії «А», що індексується у міжнародній наукометричній базі Web of Science Core Collection), 5 статей у періодичних закордонних англомовних виданнях з технічних наук Європейського Союзу (Естонія, Польща), в тому числі 1 стаття у виданні, що індексується у міжнародній наукометричній базі Scopus; 21 теза доповідей у матеріалах наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел, що містить 291 найменування на 31 сторінці, та 2 додатки на 18 сторінках. Робота містить 35 ілюстрацій, з них 8 на 8 окремих сторінках, та 17 таблиць, з них 1 на 1 окремій сторінці. Загальний обсяг дисертації складає 371 сторінку, у тому числі 284 сторінки основного тексту.

1 АНАЛІЗ СТАНУ ПРОБЛЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ ПОБУДОВИ Й ВИКОРИСТАННЯ БАЗ ЗНАНЬ ДЛЯ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАНЬ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз моделей процесу прийняття управлінських рішень

Управлінське рішення (УР) є способом розв'язання проблеми управління, представленим множиною взаємопов'язаних послідовностей дій [1], [2]. Прийняття управлінських рішень полягає у виборі ОПР однієї із альтернативних послідовностей управляючих дій з метою вирішення відповідної проблеми управління [3].

З позицій забезпечення автоматизованої підтримки рішень виділяють аналітичні (раціональні), а також адаптаційні рішення [3], [4]. Раціональне рішення направлено на максимізацію визначеного критерію досягнення цілі з урахуванням наявних обмежень в предметній області. Дане рішення характеризується такими властивостями: логічно або формально визначені поточна проблема, мета та послідовність дій із досягнення мети; відомі всі альтернативні варіанти рішень; для кожного рішення можуть бути визначені та обчислені критерії оцінки результату його виконання.

Адаптаційне рішення (в літературі також визначається як рішення з обмеженою раціональністю) є спрощеним, зазвичай не є оптимальним, але забезпечує досягнення поставленої цілі. Дане рішення характеризується відсутністю повної інформації про стан предметної області, повного набору альтернатив та критеріїв їх оцінки, а також обмеженнями на час прийняття самого рішення. Інтуїтивне рішення зазвичай доповнює раціональне або обмежено раціональне і базується на використанні ОПР своїх персональних знань та досвіду, а також обмежень, пов'язаних із корпоративною культурою.

Узагальнюючи, можна констатувати, що раціональні рішення використовують детерміновані моделі та придатні для підтримки структурованих задач. Адаптаційні рішення додатково використовують евристичні залежності та придатні для вирішення частково структурованих задач. Інтуїтивні рішення базуються на неявних, неформалізованих залежностях і використовуються як в частково структурованих, так і неструктурованих задачах.

Управлінські рішення призначені для реалізації управління підприємством як організаційною системою [5], а також технологічними, економічними, інформаційними процесами [6], [7] на цьому підприємстві в умовах невизначеності щодо стану його внутрішнього та зовнішнього середовища [8], [9].

Зовнішнє середовище підприємства є сукупністю організацій, явищ або процесів, що впливають на його діяльність [10]–[12]. Воно складається із множини організацій, з якими безпосередньо взаємодіє підприємство (конкуренти, клієнти, партнери, банки, тощо), а також процесів та явищ, які встановлюють правила взаємодії між організаціями (особливості економічної діяльності в даній галузі, податкова система, культурні зв'язки та правила, тощо). Стан зовнішнього середовища характеризується такими елементами: кількість параметрів; швидкість змін значень параметрів; невизначеність значень параметрів, яка залежить від їх доступності для вимірювання або оцінки; якість взаємовідносин між підприємством та середовищем (наприклад, взаємодія або протидія).

Внутрішнє середовище підприємства визначає технічні й організаційні умови його роботи [13], що забезпечують виробництво продукції, збут, тощо. Зміни стану внутрішнього середовища є результатом прийняття управлінських рішень.

Управлінські рішення формуються та реалізуються на стратегічному, тактичному та оперативному рівнях управління при виникненні проблемних

ситуацій, що свідчать про невідповідність очікуваного та фактичного стану підприємства [14], [15].

На стратегічному рівні управлінські рішення реалізуються для організаційної системи в цілому, що передбачає виділення зв'язків між метою її діяльності, а також складовими організацій, які реалізують виробництво, маркетинг, управління фінансами, інформацією, персоналом, а також збут продукції [16].

На тактичному рівні управлінські рішення впливають на технологічні та економічні процеси на підприємстві й охоплюють: виробництво продукції та послуг з використанням матеріальних, трудових та інших ресурсів; розподіл ресурсів для забезпечення діяльності підприємства; обмін інформацією та знаннями для забезпечення ефективного функціонування підприємства; використання ресурсів та виробничої інфраструктури підприємства для виготовлення продукції [13].

Задача прийняття управлінських рішень з позицій системного підходу полягає у знаходженні оптимального або раціонального способу досягнення цільового стану із поточного стану організаційної системи з урахуванням наявних ресурсів та впливу зовнішнього середовища.

Постановка задачі прийняття управлінських рішень згідно робіт [6], [17] має наступний вигляд.

Дано:

– поточний стан S організаційної системи характеризується значеннями I параметрів s_i : $S = \{s_i\}, i = \overline{1, I}$;

– цільовий стан S^* організаційної системи характеризується значеннями I параметрів s_i^* : $S^* = \{s_i^*\}, i = \overline{1, I}$;

– стан зовнішнього середовища Ψ задається множиною значень факторів ψ_j : $\Psi = \{\psi_j\}, j = \overline{1, J}$;

– час розробки управлінського рішення T .

Знайти:

– спосіб використання ресурсів організаційної системи з урахуванням впливу поточних факторів зовнішнього середовища для досягнення її цільового стану S^* .

При прийнятті управлінських рішень використовується комбінація контрольованих, частково контрольованих та повністю неконтрольованих параметрів [18]–[20]. Контрольовані або детерміновані параметри використовуються при побудові детермінованих моделей об'єктів та процесів управління, що дає можливість повністю визначити стан підприємства після прийняття управлінських рішень. Неконтрольованими є параметри, значення яких є недоступним або не повністю зрозумілим для ОПР. Елементи з такими параметрами можуть змінити очікуваний результат управління. Тому при прийнятті управлінських рішень ОПР необхідно враховувати їх вплив. Частково контрольованими є параметри, які поєднують властивості детермінованих та неконтрольованих параметрів. Наприклад, такі параметри можуть бути недоступними лише протягом окремих інтервалів часу.

Внаслідок використання неконтрольованих та частково контрольованих параметрів прийняття рішень виконується в умовах невизначеності та пов'язане із ризиком [17], [21].

Невизначеність при прийнятті рішень характеризується відсутністю повної, точної та несуперечливої інформації про стан організаційної системи [22], [23] та повних і несуперечливих знань про управління цією системою.

З позицій управління невизначеність підрозділяється на суб'єктивну та об'єктивну [22]. Суб'єктивна невизначеність є наслідком неповноти знань керівників та безпосередніх виконавців. Відмінності між ними наведено в табл. 1.1.

Таким чином, при реалізації підтримки управлінських рішень необхідно враховувати, що об'єктивна невизначеність ускладнює виявлення та аналіз поточної проблемної ситуації, а суб'єктивна – реалізацію процесу прийняття управлінських рішень.

Таблиця 1.1 – Порівняльний аналіз характеристик суб’єктивної та об’єктивної невизначеності при прийнятті управлінських рішень

Невизначеність Характеристики	Суб’єктивна	Об’єктивна
Вплив на прийняття рішень	Впливає на процес діяльності ОПР, що може привести до прийняття необґрунтованих рішень	Впливає (як зовнішнє явище) на вхідні дані, які використовує ОПР у процесі прийняття рішень
Причина	Неповнота знань керівництва, експертів, виконавців	Неповнота інформації про значення параметрів, що характеризують внутрішнє та зовнішнє середовище підприємства
Можливість усунення наслідків	Може бути усунена з використанням методів вилучення вбудованих знань із процедур та процесів, що реалізуються в організації	Може бути усунена на основі застосування знань експертів

Ризик характеризує можливість отримати бажаний результат при реалізації управлінського рішення [21]. Виділяють два базових види ризиків [17]:

– ризик реалізації управлінського рішення, який визначає ймовірність його невиконання;

– ризик досягнення цільового стану організаційної системи, який визначає ймовірність недосягнення стану S^* в результаті виконання управлінського рішення.

Також для оцінки управлінського рішення використовується сумарний ризик успішної реалізації управлінського рішення, що призводить до досягнення цільового стану.

Невизначеність та ризики при прийнятті управлінських рішень зазвичай вимірюються в процентах, що відповідає ймовірнісній оцінці. Наприклад,

ризик досягнення цільового стану 10% відповідає ймовірності 0,1 того, що реалізоване управлінське рішення не дозволить досягти цільового стану. Ризик також визначають як ймовірність додаткових втрат в результаті реалізації управлінського рішення [17], [22]. При такому визначенні ризик задається парою (сума втрат, ймовірність втрат).

Прийняття рішень в умовах визначеності виконується у ситуації, в якій керівництву відомі результати кожного альтернативного рішення.

В якості вхідних даних в умовах визначеності виступають ймовірність досягнення цільового стану P_u , а також числові оцінки виграшу O_u у випадку успішної реалізації управлінського рішення та досягнення цільового стану S^* , та програшу O_n при неможливості досягнення цього стану. Тоді вибір одного із альтернативних рішень виконується за критерієм Π [17]: $\Pi = P_u * O_u - (1 - P_u) * O_n$. Даний критерій дає можливість порівняти матеріальні результати управлінського рішення.

Прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності має такі особливості. По-перше, кожному альтернативному рішенням відповідає декілька кінцевих результатів із різною ймовірністю їх досягнення. По-друге, ризик у даному випадку може бути виражений як через ймовірність недосягнення цільового стану, так і через пару (сума можливих втрат; ймовірність можливих втрат) [18].

Процес прийняття управлінських рішень є знання-ємним [11], [24], в якому використовуються явні та неявні знання ОПР для вибору однієї із можливих послідовностей дій, яка дозволяє досягти поставлених цілей [25].

Проведений аналіз моделей даного процесу показав, що їх доцільно розділити на дві групи: процедурні та контекстні моделі. Процедурні моделі задають детерміновану послідовність фаз процесу прийняття рішень. Вони відрізняються цілями прийняття рішень, кількістю фаз та їх деталізацією. Остання значною мірою залежить від рівня управління. В процедурних

моделях лише частково враховується знання ОПР. Однак ці знання впливають на вибір фінального рішення.

Контекстні моделі описують контекстно-залежний процес прийняття рішень. Контекст містить взаємопов'язані інформацію та знання, що впливають на прийняття рішень. Тобто контекстні моделі використовують сукупність інформації про поточний стан предметної області, контекстних та фундаментальних знань для формування, оцінки й вибору управлінського рішення.

Розглянемо більш детально процедурні моделі процесу прийняття рішень. В цілому вони є модифікаціями запропонованої Н. Simon [25] моделі раціонального вибору з адаптацією до особливостей організаційної структури підприємства та характеристик зовнішнього середовища [26], [27]:

- раціональна модель, яка передбачає оптимальний вибір із всіх можливих альтернатив за заданим критерієм [25];
- нормативна модель, яка орієнтована на отримання задовільного рішення в умовах обмеженої інформації про стан проблемної ситуації [28];
- інкрементна модель, що реалізує еволюційну стратегію покрокового уточнення управлінського рішення [26];
- програмна модель, яка використовує стандартні процедури для підрозділів, що будуть виконувати прийняте рішення [27];
- персоніфікована модель, що призначена для досягнення цілей в конкурентному середовищі [29];
- модель сміттєвого ящика, яка відображає процедуру прийняття рішень при функціональному управлінні на основі взаємодії декількох паралельних послідовностей дій в організації [30].

Модель раціонального вибору була запропонована в роботі [18]. Процес прийняття рішень цієї моделі складається із чотирьох фаз: *intelligence* – знаходження проблемної ситуації, яка потребує управлінського рішення; *design* – знаходження можливих способів вирішення проблеми; *choice* – вибір найкращого варіанта вирішення проблеми; *implementation* – реалізація

вибраного варіанту. Ключова особливість даної моделі полягає в тому, що для кожного альтернативного рішення задається числова оцінка його корисності. Раціональний вибір полягає у виборі рішення із максимальною оцінкою корисності.

В роботі [31] наведено особливості застосування ОПР раціонального вибору. Їх узагальнення дає можливість виділити такі обмеження даної моделі:

- на другій фазі формується повний набір всіх способів вирішення проблеми та результатів їх виконання, що не завжди може бути реалізовано на практиці;

- на фазі вибору використовується інтегральна оцінка результатів кожного способу вирішення проблеми, отримана за допомогою єдиного набору параметрів, однак не враховуються обмеження на формування множини таких оцінок.

Нормативна, або обмежено-раціональна модель була запропонована в роботі [25] та є варіантом раціональної моделі, що враховує обмеження та умови, що виникають на практиці при реалізації рішень [28]. Процес прийняття рішень у даному випадку має такі особливості:

- на фазах виявлення проблеми та побудови альтернативних варіантів рішень використовуються обмеження щодо вхідної інформації, що обробляється;

- на другій фазі застосовуються спрощені підходи до побудови інтегральної оцінки управлінських рішень;

- на третій фазі вибираються не оптимальні варіанти рішень, а ті які є достатніми за умов обмежень по наявним ресурсам та доступній інформації.

В роботі [28] показано, що модель даного типу дозволяє отримати придатні для практичного втілення рішення з кількісною оцінкою в умовах невизначеності та ризику.

Інкрементна модель задає цикли уточнення рішень на основі базової послідовності дій [26]. ОПР має можливість повертатись на попередні фази для уточнення вибору, доповнення переліку рішень, проведення доповненого

аналізу проблемної ситуації. Дана модель передбачає усунення проблемної ситуації через послідовне вирішення поточних локальних задач.

Програмна або адміністративна модель враховує організаційну структуру підприємства та дає можливість кодифікувати персональний досвід виконавців у вигляді типових процедур при побудові можливих варіантів усунення проблемної ситуації [32]. Такий підхід забезпечує реалізацію прийнятого рішення у прогнозовані строки. Дана модель застосовується у організаціях, що мають корпоративні стандарти та правила. В результаті прийняття рішень передається на нижній рівень організаційної ієрархії. Недолік програмного прийняття рішень полягає в тому, що отримані рішення направлені на вибір такої альтернативи, яка дозволяє отримати мінімально прийнятний результат, що задовольняє існуючим обмеженням. Другий недолік використання цієї моделі полягає в тому, що використовуються лише існуючі, а не розробляються нові рішення [26]. В результаті знижується ефективність функціонування організації в умовах невизначеності, що виникає в результаті непередбачуваних зовнішніх збурень.

Персоніфікована або політична модель є моделлю децентралізованого прийняття рішень та дозволяє реалізувати циклічний процес в парадигмі «виграш-програш ОПР». Модель на кожному циклі вибору передбачає також формування компромісних рішень на основі врахування пропозицій від всіх учасників групи, що приймає рішення.

В моделі сміттевого ящика зроблено спробу побудувати процес групового прийняття рішень у випадку неспівпадіння цілей організаційних підрозділів підприємства. Модель відображає хаотичний характер формування альтернативних варіантів рішень на підприємстві з функціональним підходом до управління.

Також в ряді досліджень виконано уточнення та деталізація окремих фаз процедурних моделей.

В роботі [33] уточнено склад чотирьох базових фаз процесу прийняття управлінських рішень. На фазі аналізу виконуються кроки розпізнавання й

діагностування [34]. Розпізнавання полягає у виявленні факту виникнення проблемної ситуації, а розпізнавання – у класифікації цієї ситуації. На фазі розробки формується множина альтернативних послідовностей дій з усунення виявленої проблемної ситуації. На даній фазі можуть бути використані або модифіковані існуючі рішення, а також розроблені нові рішення [34]. На третій фазі виконується вибір одного із альтернативних рішень з використанням інтегральної (наприклад, адитивної) оцінки, евристичних правил або інтуїції [35]. Інтегральна оцінка та евристичні правила використовують у випадку протиріч між критеріями оцінки рішення. Інтуїтивний підхід використовується в умовах невизначеності та ризику [34], тобто у ситуації, коли ОПР не має можливість оцінити ймовірність вхідних даних та ступінь ризику прийнятого рішення. На четвертій фазі виконується реалізація та оцінка результатів прийнятого рішення. На даній фазі виконуються кроки затвердження рішення перед вищим керівництвом, реалізація рішення із включенням нижчих рівнів управління [36], контролю виконання рішення, оцінки результатів управлінського рішення [37].

В декількох роботах було зроблено спроби адаптувати окремі фази процесу прийняття рішень для стратегічного рівня управління. Так, в роботі [27] на першій фазі виділені кроки аналізу зовнішнього середовища і тенденцій змін цього середовища, а також стану організації в цілому, проблем, місії, мети, критеріїв і правила вибору рішень. На другій фазі формується колекція альтернативних рішень та генеруються нові альтернативи. На третій фазі виконується фільтрація альтернатив та подальший вибір оптимального рішення. На останній, четвертій фазі виконується деталізація рішення та розробка системи показників ефективності, а також впровадження моделі змін і системи контролю прийнятих рішень згідно розробленої системи показників. В роботах [38], [39] при структуризації процесу прийняття управлінських рішень враховано обмеження на прийняття рішень у часі, а також враховуються позитивні та негативні результати можливих рішень. Додатково на першій фазі задаються відповідальні за виконання робіт із досягнення

потрібного результату та строки виконання робіт. На другій фазі використовується комбінація евристичних та формальних критеріїв оцінки рішення. На третій фазі виконується затвердження рішення з урахуванням ієрархічної структури організації

Група контекстних моделей направлена на використання контекстно-залежних знань та досвіду при прийнятті рішень [40] та містить у собі:

- поведінкову модель, що відображає процес прийняття рішень з використанням персональних знань та досвіду [41];

- прецедентну модель, яка базується на використанні прецедентів прийняття рішень [42];

- комбіновану модель, яка доповнює процедурну модель шляхом врахування технічних, економічних, організаційних, індивідуальних, та інші аспектів управлінського рішення [43];

- ситуаційну модель, яка дозволяє використовувати прецеденти та враховувати існуючі обмеження на основі структуризації контексту по рівням організаційної ієрархії [44].

Поведінкова модель описує персональний процес прийняття рішень, тобто враховує патерни вибору рішень, характерні для конкретних виконавців [41]. В роботах [44], [45] на прикладі сфери медичного обслуговування показано відмінність патернів прийняття рішень для співробітників з різним рівнем досвіду – від новачка до експерта.

Виконане узагальнення цих даних дало можливість встановити зв'язок між патернами, що використовуються для прийняття рішень, та результуючими рішеннями. Результати узагальнення впливу використаних патернів на управлінські рішення представлено в табл. 1.2.

Дана таблиця показує зміну патернів вибору рішень в залежності від кваліфікації виконавця – від першого рівня (новачок) до рівня 5 (експерт).

З табл. 1.2 видно, що прийняття типових рішень виконується на основі формальних правил та патернів. В той же час для формування ефективних

рішень в умовах невизначеності необхідно додатково формалізувати знання кваліфікованих експертів в даній предметній області.

Таблиця 1.2 – Вплив патернів прийняття рішень на їх результати

Патерни прийняття рішень	Результуючі рішення
1. Формальні правила виконання дій	Типові рішення без врахування поточного стану предметної області
2. Формальні правила виконання дій, базовий критерій ефективності дій	Спрощені рішення з метою скорочення часу їх виконання
3. Базова модель процесу/задачі	Рішення про послідовність дій, що відповідають прогнозованому стану предметної області
4. Розширена неформальними даними модель процесу/задачі	Прийняття рішення після уточнення або використання додаткових вхідних даних
5. Персональні знання щодо моделі процесу/задачі	Прийняття нових ефективних рішень, що не передбачені базовими правилами та моделями

Прецедентна (інша назва – природна) модель використовує прецеденти у вигляді формалізованого опису минулого досвіду при вирішенні аналогічних задач [42].

Комбінована модель базується на багатоаспектному представленні діяльності підприємства, для якого приймаються управлінські рішення. Значення параметрів, що характеризують організаційний, технологічний, процесний та інші аспекти, використовуються в якості обмежень при відборі допустимих управлінських рішень [43].

Ситуаційна модель поєднує можливості поведінкової, прецедентної та комбінованої моделі. Контекст в моделі відображає стан зовнішнього (економічні відносини, існуючі обмеження в діяльності) та внутрішнього середовища підприємства (організаційна структура, корпоративна культура, технології та бізнес-процеси, що використовуються на підприємстві) [46]. Фактично контекст визначає прийнятні на підприємстві патерни прийняття та виконання рішень [47].

Контекст в цій моделі розглядається на макро-, мезо- та макрорівнях, що відповідають стратегічному, тактичному та оперативному рівням управління. На макрорівні контекст враховує існуючу організаційну структуру та традиційні процеси на підприємстві. На мезорівні контекст визначається матрицею взаємозв'язків між сутностями предметної області, що, наприклад визначає взаємодією виконавців при вирішенні спільної задачі чи реалізації спільного процесу [48]. Додатково також можуть враховуватись різнопланові обмеження, що впливають на процес прийняття рішень: фізичні, темпоральні, фінансові та інші. На мікрорівні контекст визначає зв'язки між виконавцями та способом реалізації дій, які виконують ці виконавці. На даному рівні виконавці в залежності від своїх персональних знань, досвіду та критеріїв оцінки рішень (наприклад, етичних, моральних, тощо) можуть реалізувати детерміновану послідовність дій або вибрати ці послідовності на основі оцінки поточної ситуації в цілому.

Процес прийняття рішень у ситуативній моделі містить такі фази: формування набору вхідних даних для оцінки ситуації; класифікація поточної ситуації; розробка управлінського рішення у вигляді послідовності дій, що дозволяють ефективно досягти мети; оцінка ефективності отриманого рішення; виявлення факторів, які привели до проблемної ситуації.

Отриманий в результаті реалізації першої фази набір вхідних змінних повинен забезпечити розпізнавання характерних для ситуації патернів даних. Тобто такі патерни дозволяють найбільш точно класифікувати ситуацію. На другій фазі проблемна ситуація класифікується як на основі формальних правил, так і на основі контекстно-залежного досвіду та знань ОПР. На третій фазі виконується оцінка потреби у прийнятті рішення. У випадку необхідності такого рішення формується множина можливих послідовностей дій. Потім – рішення, що відповідає поточному контексту. На четвертій фазі виконується оцінка ефективності отриманого рішення. Фази 3 та 4 виконуються в рамках інкрементної стратегії. Вони можуть бути повторені до досягнення потрібного значення показника ефективності. На 5 фазі аналізується сам процес, при

виконанні якого виникла проблемна ситуація. Мета даної фази – забезпечити умови для його подальшого удосконалення.

Проведений аналіз моделей дозволив узагальнити процес прийняття управлінських рішень та представити його у вигляді послідовного вирішення двох задач: підготовки та реалізації рішення. Схема узагальненого процесу представлена на рис. 1.1.

При вирішенні задачі підготовки рішення виконується розпізнавання проблемної ситуації та формування множини можливих управлінських рішень. Підзадача розпізнавання проблемної ситуації виконується шляхом збору даних про стан організаційної системи з тим, щоб отримати контекстно-залежні патерни даних, які дозволяють виявити проблемну ситуацію. Після виявлення такої ситуації виконується класифікація існуючої проблеми. Підзадача формування управлінських рішень передбачає формування критеріїв оцінки цих рішень, побудову множини альтернативних рішень у вигляді упорядкованих наборів дій, а також оцінку кожного із цих рішень за визначеним критерієм.

Задача реалізації рішення передбачає вибір та імплементацію рішення. Вибір раціонального або обмежено-раціонального рішення виконується ОПР згідно визначеного критерію оцінки та існуючих обмежень.

Імплементація рішення полягає у його впровадженні (узгодженні та виконанні), проведенні оцінки результатів, а також виконанні аналізу причини виникнення проблемної ситуації.

Для вирішення розглянутих задач використовуються:

- дані, які характеризують стан організаційної системи;
- формалізовані явні знання про об'єкти та процеси управління у вигляді, наприклад, їх моделей;
- неформальні знання про контекстно-залежні закономірності функціонування об'єкту управління; такі знання відображають досвід персоналу та залежать від рівня ієрархії в організаційній структурі підприємства.

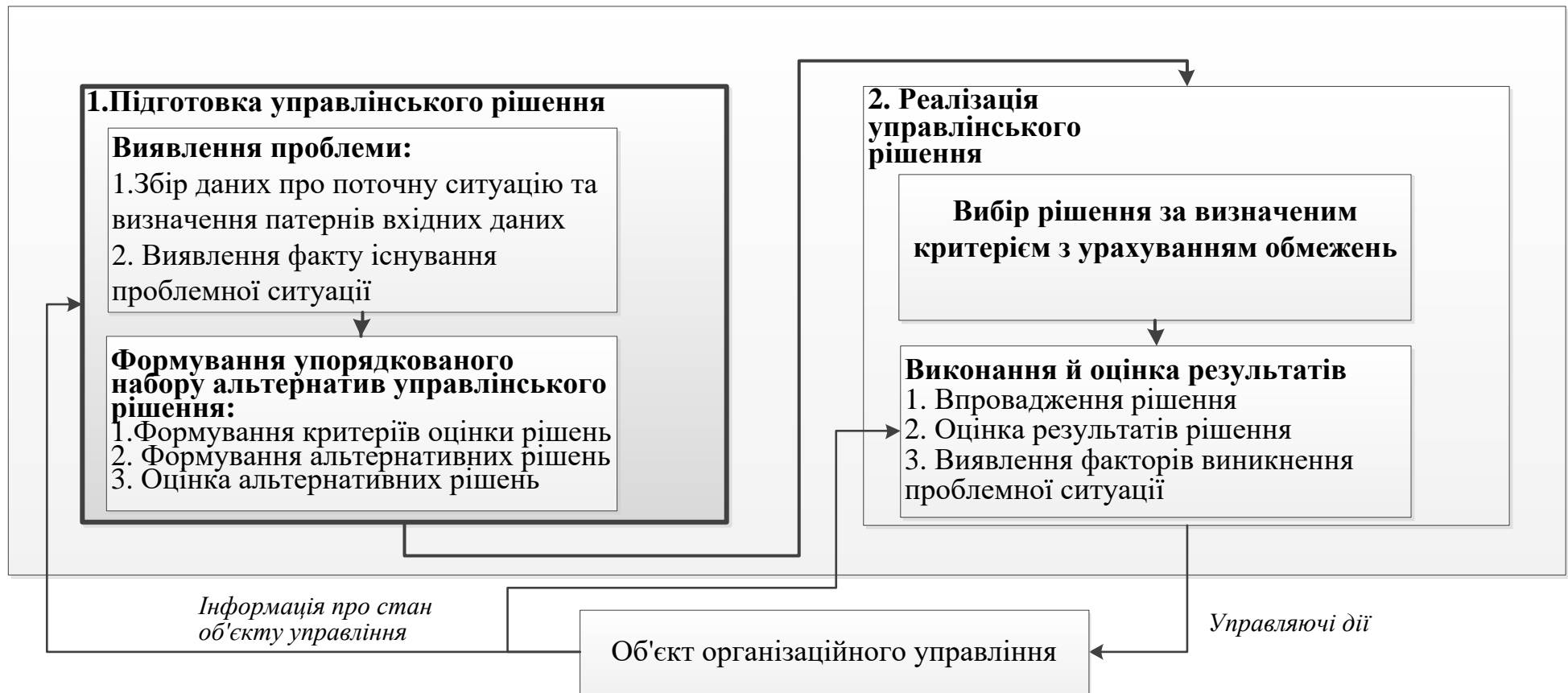


Рисунок 1.1 – Узагальнена схема процесу прийняття управлінських рішень

Проведений аналіз процесу прийняття управлінських рішень дає можливість зробити такі висновки.

По-перше, для ефективного прийняття управлінських рішень ОПР необхідно мати набір попередньо підготовлених та оцінених за визначеними критеріями УР. По друге, підготовка спектру всіх можливих УР для проблемної ситуації, а також виявлення патернів даних і цієї ситуації виконується в умовах невизначеності і тому потребує значних витрат ресурсів. Таким чином, розпізнавання проблемної ситуації та формування набору можливих в цій ситуації УР є «вузьким місцем» процесу прийняття управлінських рішень, що і визначає актуальність їх автоматизованої підтримки. В даному випадку слід враховувати невизначеність не лише щодо значень параметрів організаційної системи як об'єкту управління, а й щодо процесу управління.

Друга складова невизначеності пов'язана із використанням ОПР та виконавцями неформалізованих персональних знань при виборі та реалізації УР на тактичному та стратегічному рівнях управління. Це свідчить про важливість використання знання-орієнтованої підтримки рішень з можливістю оперативного поповнення бази знань персональним знанням виконавців. Тому подальшого розгляду потребують характеристики та можливості сучасних систем підтримки прийняття рішень.

1.2 Аналіз сучасних інформаційних систем підтримки прийняття та виконання рішень

Інформаційна система реалізує набір формальних процесів з розробки, збору, збереження та поширення інформації, які підтримують діяльність з управління та навчання, що є необхідною для виконання організаційних бізнес-функцій [49], [50].

В залежності від рівня бізнес-функцій та рівня задач, що вирішуються, інформаційні системи підрозділяються на ряд категорій, як показано у табл.1.3.

Системи обробки транзакцій (TPS - Transactions Processing Systems) застосовуються для виконання щоденних бізнес-операцій на оперативному рівні управління підприємством. Такі системи забезпечують реалізацію структурованих задач з обробки даних, тобто задач, що можуть бути повністю представлені у формальному вигляді. Вони можуть бути реалізовані у вигляді підсистем або служб операційної системи та виконуватись за запитом, як наприклад у IBM CICS [51]. Також TPS можуть бути реалізовані у вигляді розподілених сервісів на основі клієнт – серверної архітектури, як Oracle Tuxedo [52].

За допомогою TPS автоматизується рутинна діяльність виконавців на підприємстві, наприклад із обробки запитів на відрядження або підготовки платіжних доручень. Така діяльність має наступні характеристики [53]:

- є типовою для багатьох підприємств;
- виконується регулярно;
- реалізується одним способом (або схожими способами) на різних підприємствах;
- може бути представлена у вигляді чітко виділеної послідовності операцій, що мають характеристики транзакцій, з незначною кількістю виключень.

На вході такі системи отримують поточні дані для виконання окремих транзакцій, а на виході видають структуровану інформацію про результати виконання типових задач. Така інформація призначена для використання на тактичному та стратегічному рівнях управління.

TPS обробляють та зберігають в базі даних інформацію із вхідних документів, пов'язаних із продажами, платежами, покупками, прийомом заказів. Прикладами таких документів є рахунки, акти, платіжні доручення, тощо.

Таблиця 1.3 – Ієрархія інформаційних систем підприємства

Рівень управління	Задачі	Невизначеність	Рівень організаційної структури	Інформаційні системи	Вхідні дані	Вихідні дані
Стратегічний	Неструктуровані	Вирішення задач в умовах невизначеності щодо стану об'єкту управління та зовнішніх впливів (з-за меж організації)	Вище керівництво	ESS, DSS	Агрегована інформація щодо діяльності підприємства з тактичного рівня, а також із зовнішнього середовища	Аналітика для забезпечення рішень щодо стратегічних напрямків діяльності підприємства
Тактичний	Частково структуровані	Вирішення задач в умовах невизначеності щодо стану об'єкту управління (стан відображає зовнішні впливи в межах організації)	Середній рівень	MIS	Інформація (структуровані дані) оперативного та стратегічного рівнів	Структурована інформація, що забезпечує підтримку типових режимів робот
				DSS		Рішення щодо управління, оцінка рішень
Оперативний	Структуровані	–	Безпосередні виконавці	TPS	Дані про транзакції та події	Звіти для забезпечення роботи тактичного рівня управління

Системи обробки транзакцій формують результуючі відомості, звіти для підтримки управління виробничими процесами, процесами сервісного обслуговування, транспортного забезпечення, тощо на тактичному рівні управління. В цілому системи обробки транзакцій формують структуровані дані, які використовуються в інформаційно-управляючих системах (Management Information Systems – MIS).

Інформаційно-управляючі системи призначені для того, щоб забезпечити керівний персонал на тактичному рівні управління інформацією, що необхідна для прийняття управлінських рішень.

Сучасні MIS використовують типові конфігураційні патерни для типових задач, пов'язаних із контролем постачальників, податків, бюджету, активів, оплат (WINHMS Central MIS, EAMbrace Asset Management), формують розклад та послідовність управлінських дій (Buyer Ease), контролюють ефективність виконання робіт згідно визначених бізнес-процесів (XLDashBoard), забезпечують планування ресурсів підприємства (SAP ERP) та взаємодію з клієнтами (SAP C/4HANA).

Вони мають такі загальні характеристики. Вхідні дані для MIS формуються TPS та зберігаються в корпоративній базі даних. Такі системи призначені для підтримки управлінських рішень в типових режимах роботи організаційної системи, тобто в режимах, для яких існує детермінована модель об'єкту управління. Відповідно, вхідна інформація в таких режимах повністю відома, результуючі звіти формуються MIS протягом визначених інтервалів часу. Прикладами звітів є: звіти з продажу, звіти з виробництва по позиціям, звіти по клієнтам, оплаті, тощо [53]. За допомогою таких систем традиційно виконується підтримка типових рішень з управління виробництвом продукції, фінансами, маркетингом, людськими ресурсами, тощо. Управління зазвичай реалізується за відхиленням. Тобто отримані в звітах результати порівнюються з прогнозами. На основі відхилення між результатом та прогнозом приймається управлінське рішення. Вказані звіти формуються для стратегічного, тактичного та оперативного рівнів управління. На

стратегічному рівні отримана від MIS інформація використовується для планування цілей та стратегії їх досягнення. На тактичному рівні результати роботи MIS використовуються для координації роботи систем обробки транзакцій оперативного рівня. На оперативному рівні результуюча інформація від MIS використовується для регулярної оцінки роботи TPS.

Однак такі системи не призначені для підтримки управлінських рішень в нетипових режимах роботи, які виникають внаслідок непередбачуваних зовнішніх впливів. Непередбачуваність цих впливів полягає в тому, що вони не враховані в існуючих моделях об'єкту управління. В такій ситуації на тактичному рівні управління використовуються системи підтримки прийняття рішень.

Інформаційні системи підтримки прийняття рішень (Decision Support Systems – DSS) є інтерактивними комп'ютерними системами, що використовують данні та моделі об'єкту управління для забезпечення вирішення неструктурованих задач [54], [55].

Сучасні DSS формують перелік альтернативних рішень на основі інтерактивного формування зважених критеріїв (Evaluator), використання правил (DecisionBuilder), організації роботи ОПР для побудови зваженого набору альтернативних рішень з урахуванням відомих обмежень (1000Minds Decision Making, Tribium Software)[56].

Проведений аналіз показав, що системи підтримки прийняття рішень мають такі ключові характеристики [57]–[63]:

- забезпечують автоматизовану підтримку рішень в умовах швидкої зміни потреб ОПР при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач [54];

- використовують дані щодо стану об'єкту управління та моделі об'єкту управління для того, щоб підвищити ефективність управлінського рішення (а не ефективність вироблення рішення);

- забезпечують гнучку взаємодію з ОПР з можливістю уточнення вибору управлінського рішення [64].

DSS класифікують за способом підтримки рішень на такі види [64]:

- на основі пошуку документів, що містять можливі варіанти управлінських рішень;
- шляхом підтримки взаємодії групи ОПР з використанням мережних технологій;
- на базі аналізу даних, в тому числі часових рядів;
- на основі моделей об'єкту управління, шляхом вирішення задачі виду «що буде, якщо зробити ...»;
- на основі знань у відповідній предметній області.

DSS першого виду реалізовані на базі інформаційно-пошукових систем, що виконують пошук та відбір необхідних неструктурованих документів та даних як в базах даних, так і в мережі Інтернет [65].

Системи підтримки рішень групи співробітників (Group Decision Support Systems – GDSS) призначені для підвищення ефективності колективної роботи згідно парадигми Enterprise 2.0, тобто шляхом обміну знаннями та досвідом [66]. Вони забезпечують взаємодію онлайн з використанням розподілених документів, відеоконференцій, тощо. GDSS забезпечують підтримку прийняття рішень для груп співробітників із близьким статусом в організації.

Підтримка рішень на базі аналізу даних виконується на рівні стратегічного управління із застосуванням запитів до баз та сховищ даних, аналітики з використання OLAP – кубів, тощо. Даний спосіб використовується переважно в системах підтримки рішень на стратегічному рівні управління. На даному рівні використовують системи виконавчої підтримки (Executive Support Systems – ESS), або ж системи підтримки керівника (Executive Information Systems – EIS) [67].

Узагальнюючи огляд перших трьох способів підтримки рішень, можна зробити висновок, що вони створюють умови для підвищення ефективності виконання ОПР або групами ОПР задачі пошуку управлінських рішень на тактичному та стратегічному рівнях. Але вони не реалізують окремі фази цієї

задачі, тобто пошук проблемних ситуацій та формування спектру можливих рішень. Системи підтримки прийняття рішень на основі моделей використовують базу моделей об'єкту управління та аналітичні інструменти, що дозволяють вибрати оптимальне або раціональне рішення [68].

Перевага таких систем полягає в тому, що вони забезпечують формування множини можливих управлінських рішень в залежності від заданого набору вхідних параметрів моделі та зовнішніх впливів.

Але такі DSS мають ряд недоліків [69]:

- формування можливих рішень в умовах невизначеності щодо об'єкту управління пов'язано із труднощами внаслідок того, що відомі не всі значення параметрів моделі ОУ, а також зовнішніх впливів;

- отримані на основі моделі управлінські рішення можуть не відповідати персональним знанням ОПР, що потребує засобів усунення таких протиріч;

- моделі ОУ, які використовуються для побудови набору управлінських рішень, залежать від предметної області, що значно ускладнює побудову узагальненого критерію оцінки цих рішень.

Системи підтримки прийняття рішень на основі знань (Knowledge Based Decision Support Systems, KBDSS) були запропоновані у 1990-х роках, з метою підвищення ефективності розв'язання частково структурованих та неструктурованих задач [70]–[72]. На відміну від традиційної DSS, така система містить у собі базу знань та механізм виведення [73].

Перевага таких систем полягає в тому, що вони можуть формувати новий процес управління на основі знань про відому поведінку ОУ.

При побудові баз знань в таких системах використовуються комунікативні методи вилучення знань. Властивості цих методів значною мірою впливають на ефективність використання KBDSS. Тому розглянемо їх детальніше. Комунікативні методи вилучення знань підрозділяються на активні індивідуальні та групові, а також пасивні.

Активні індивідуальні комунікативні методи застосовуються для виявлення персональних знань співробітників, які можуть бути використані

для аналізу проблемної ситуації на підприємстві. Для вилучення знань в даному випадку використовується анкетування, інтерв'ювання згідно заздалегідь підготовленого переліку питань [74]–[76], вільний діалог у вигляді бесіди без наперед заданого плану. Дані методи дають можливість встановити залежності, що характеризують проблемну ситуацію. Але їх використання потребує значних витрат часу кваліфікованого спеціаліста.

Активні групові комунікативні методи використовуються для того, щоб усунути протиріччя в знаннях про частково структуровані або неструктуровані задачі шляхом взаємодії із групою експертів та передбачає обговорення проблемної ситуації за круглим столом та проведення «мозкового штурму» для виявлення принципово нових знань. Недолік даних методів при аналізі проблемної ситуації полягає в тому, що вони потребують значних організаційних витрат та не завжди є ефективними, тобто в подальшому використовується незначний відсоток запропонованих залежностей.

Пасивні комунікативні методи вилучення знань використовуються для протоколювання поточного стану організаційної системи. Дана група методів об'єднує спостереження за реальним процесом функціонування підприємства або за його імітацією та аналіз вербальних звітів про рішення та дії виконавців [77]–[79].

Особливості цих методів, які впливають на ефективність вирішення задач підтримки прийняття рішень, полягають у наступному. По-перше, такі методи є трудомісткими. По-друге, виявлені знання можуть мати протиріччя. По-третє, при прийнятті рішень відсутній зворотній зв'язок із джерелом знань, що ускладнює виявлення причин запропонованих рішень. Так, експерт у більшості випадків не повністю пояснює свої дії у вербальному форматі [80].

Недоліки існуючих DSS з використанням баз знань є наслідком розглянутих особливостей комунікативних методів вилучення знань та полягають у наступному [81]:

– моделі представлення знань є контекстно-залежними, що призводить до необхідності проектування БЗ з нуля при зміні предметної області;

- вилучення знань у експертів в предметній області потребує значних витрат часу кваліфікованих спеціалістів внаслідок невербальності таких персональних знань, а також часових обмежень та відсутності мотивації у експертів;

- отримані у експертів знання можуть бути суперечливими, що потребує додаткової процедури перевірки несуперечливості бази знань;

- база знань для підтримки управлінських рішень потребує постійного доповнення з урахуванням змін у стані об'єкту управління та інформації про зовнішні впливи, однак оперативне вилучення нових знань у експертів пов'язано із труднощами.

З метою підвищення ефективності прийняття рішень підходи на основі моделей та на основі знань інтегрують в рамках єдиної KBDSS.

Така система, згідно проведеної в роботах [66], [82] структуризації має наступні складові:

- база даних, що містить необхідну для прийняття рішень контекстну інформацію, та відповідну систему управління цією базою;

- базу та систему управління базою кількісних моделей процесів та задач, що реалізуються в діяльності організації;

- базу знань та механізм виведення, що призначені для виявлення та класифікації можливих проблем у діяльності організації, а також формування рішень, що можуть бути використані для управління організацією;

- інтерфейс з ОПР, який забезпечує реалізацію єдиного людино-машинного процесу прийняття рішень;

- ОПР, як складова процесу прийняття рішень.

Підсумовуючи, слід визначити, що DSS призначені для підтримки управлінських рішень при вирішенні частково структурованих задач на тактичному рівні управління в умовах невизначеності, тобто в нетипових режимах роботи. Також ці системи інтегрують інформацію для систем підтримки рішень на рівні стратегічного управління, де використовують системи виконавчої підтримки (Executive Support Systems – ESS), які також

називають системами підтримки керівника (Executive Information Systems – EIS) [68], [83].

Інформаційна система підтримки керівника призначена для пошуку та аналізу інформації щодо функціонування організаційної системи та представлення її у вигляді, прийнятному для підтримки прийняття стратегічних рішень керівництвом без досвіду роботи з комп'ютерними системами.

В якості вхідних даних EIS використовують результати роботи TPS, MIS та DSS.

Такі системи виконують функції збору, презентації інформації з урахуванням критичних факторів успіху, а також організації комунікації з керівництвом та виконавцями [84]. Наприклад, «Allowance» [85] дозволяє приймати рішення з урахуванням стратегічних пріоритетів та подальшим їх коригуванням згідно інтересів зацікавлених сторін, «Riskturn» [86] дає можливість будувати бізнес-прогнози з урахуванням ризиків, «QlikView» [87] реалізує бізнес-аналітику за технологією майстрів .

Проведений аналіз показав, що в EIS використовуються такі базові методи та підходи:

- бізнес-аналіз по продукції з метою порівняти витрати, доходи за видам продукції при досягненні цілей підприємства;
- представлення інформації із визначених джерел за замовчуванням;
- використання ключових індикаторів діяльності підприємства;
- контроль критичних факторів успіху, тобто ключових показників, які визначають досягнення стратегічних цілей організації.

Такі системи мають ряд обмежень, що пов'язані із необхідністю обробки та систематизації великих об'ємів інформації з тим, щоб запобігти інформаційному перевантаженню керівництва, обмеженими функціональними можливостями, складнощами кількісної оцінки факторів успіху. Результати аналізу показують, що такі системи реалізують бізнес-аналітику як основу для подальшого аналізу ситуації та прийняття

стратегічних рішень. Зв'язок між інформаційними системами на різних рівнях управління представлено на рис. 1.2.

Таким чином, інтеграція діяльності існуючих інформаційних систем підприємства забезпечує можливість підтримки прийняття рішень на тактичному та стратегічному рівнях для вирішення частково структурованих та неструктурованих задач на основі даних, отриманих із оперативного рівня управління від систем обробки транзакцій.

На стратегічному рівні використовується інформаційно-аналітична система керівника, що забезпечує агрегацію, аналіз оперативних даних та їх відображення у форму, придатну для ефективного формування стратегічних рішень в умовах невизначеності. Тобто дана система не реалізує задачу пошуку рішень із процесу прийняття управлінських рішень. Вона структурує, класифікує вхідну інформацію для цієї задачі на основі інформації від TPS, MIS, DSS про діяльність організаційної системи та реалізовані на тактичному рівні управлінські рішення.

На тактичному рівні управління підтримка рішень, що відповідають типовим режимам роботи підприємства, здійснюється інформаційно-управляючою системою. Підтримка рішень в умовах невизначеності забезпечується за допомогою DSS, зокрема KBDSS.

Для виявлення проблемної ситуації та побудови набору можливих управлінських рішень в KBDSS використовуються підходи на основі моделей об'єкту управління та знань про процес управління.

Однак існуючі проблеми побудови та використання таких систем пов'язані із невизначеністю щодо об'єкту та процесу управління. Невизначеність щодо об'єкту управління може бути частково усунена з використанням знань ОПР та експертів у даній предметній області. Однак побудова та регулярне поповнення бази знань з використанням традиційних комунікативних методів в умовах динамічних змін зовнішнього середовища потребує значних витрат часу, що не завжди дозволяє забезпечити відповідність знань у БЗ її відповідність об'єкту та процесу управління.

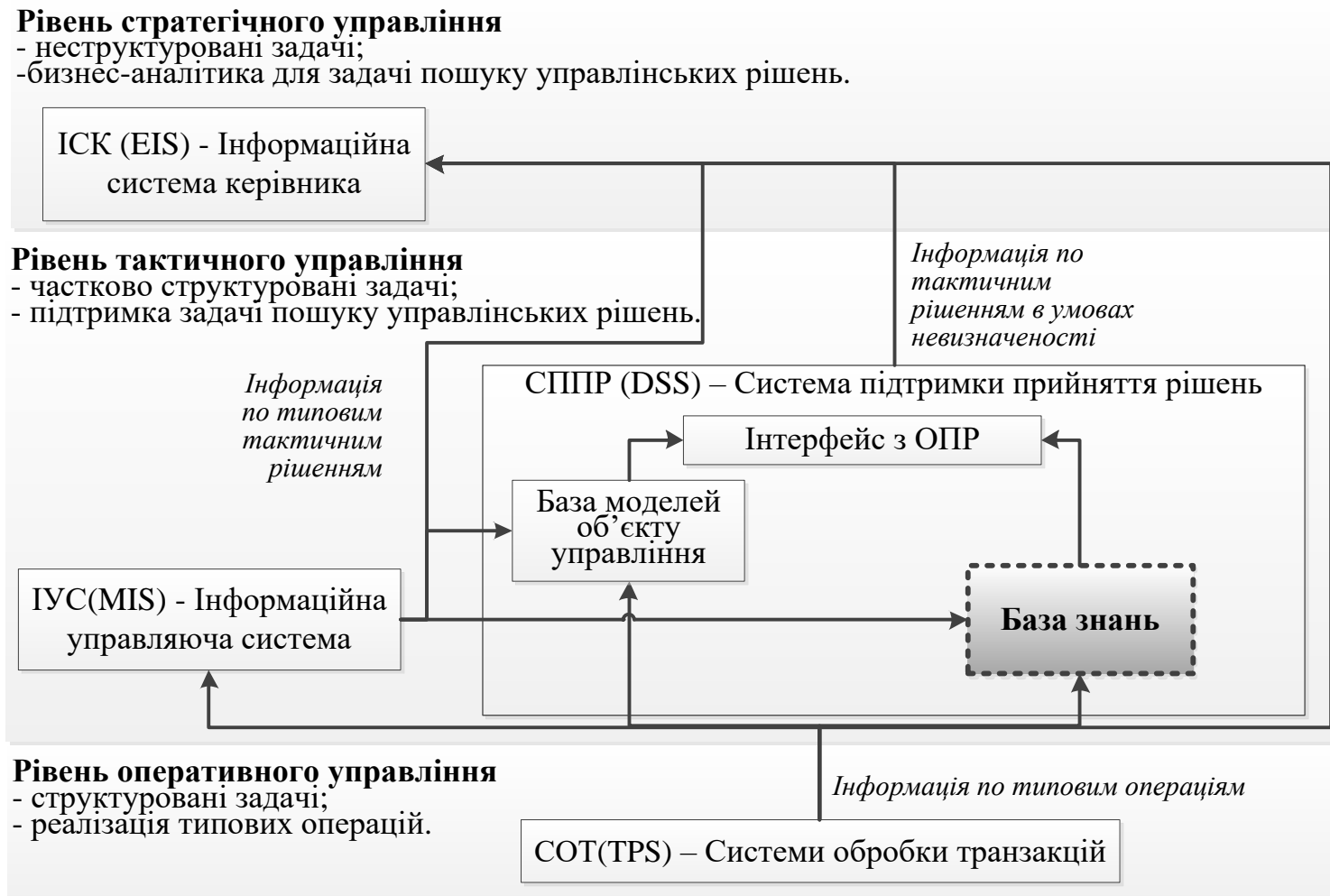


Рисунок 1.2 – Взаємодія інформаційних систем на стратегічному, тактичному та оперативному рівнях при реалізації процесу підтримки управлінських рішень

Зазначене свідчить про важливість автоматизованої побудови та поповнення бази знань в системах підтримки прийняття рішень.

1.3 Аналіз моделей та методів автоматизованого управління базами знань

В рамках автоматизованого управління базами знань реалізується загальний процес управління знаннями, що потребує розгляду моделей цього процесу .

Процес управління знаннями складається з фаз визначення практичних потреб у знаннях, визначення або придбання джерел отримання знань, вилучення та збереження знань, а також використання знань [74], [88]. Реалізація цих фаз для вирішення задач підтримки управлінських рішень значною мірою залежить від властивостей знань, що застосовуються в організації. Відповідно, методи автоматизованого управління БЗ враховують особливості організаційних знань, та базуються на моделях процесу управління такими знаннями.

Вказані знання формуються на основі даних та інформації про діяльність організації. Дані представляють набори значень вхідних сигналів (наприклад, у цифровій формі), фактів, які безпосередньо не можуть бути використані ОПР, оскільки вони не мають зв'язку з контекстом та моделями процесу прийняття рішень. Інформація містить у собі дані в визначеному контексті, які є класифікованими, структурованими, стисненими та пов'язаними із метою використання [75], [89]. Інформація дає можливість отримати відповіді на питання «де, коли, скільки» і тим самим обумовлює контекст прийняття управлінських рішень.

Організаційні знання є комбінацією «досвіду, цінностей, контекстної інформації, експертного розуміння та обґрунтованої інтуїції, що забезпечує середовище та основу для оцінки та включення нового досвіду та інформації» [90]. Знання формуються з інформації шляхом порівняння,

визначення зв'язків, оцінки та визначення сфери застосування [91]. Тобто організаційне знання задається через зв'язування понять у контексті їх застосування та використовується для оцінки нових даних [77], обґрунтування та підтримки рішень, а також набуття нових знань у формі типових процедур та практик [90].

Узагальнюючи особливості організаційних знань згідно представленого в даній роботі напрямку досліджень, надамо таке їх визначення: знання представляють собою мережу концептів (понять), між якими встановлено каузальні та просторово-темпоральні зв'язки, та які використовуються для підтримки управлінських рішень.

В роботах [92], [93] виділяють дві базових форми знань в організаційній системі: явні та неявні. Останні підрозділяються на знання за замовчуванням та вбудовані знання. Взаємозв'язок між формами знань представлено на рис. 1.3.

Явні знання представлені в формальній або у документарній формі. Для їх класифікації формують онтології [89]. Отримання цих знань виконується шляхом пошуку у сховищах даних та знань за допомогою спеціалізованої мови запитів, наприклад SPARQL [94].

Неявні знання вважаються більш цінними для діяльності організації порівняно з явними [95].

Такі знання впливають на першу, другу, та четверту фази процесу прийняття управлінських рішень і повністю обумовлюють виконання фази вибору рішення. До неявних відносять знання за замовчуванням та вбудовані знання.

Знання за замовчуванням є персональними знаннями експертів або кваліфікованих виконавців у відповідній предметній області [75]. Такі знання визначають конкурентні переваги організації. Вони зазвичай мають невербальну форму. Вилучення знань за замовчуванням виконується з використанням комунікативних методів [81] і тому потребує значних витрат часу кваліфікованих спеціалістів.

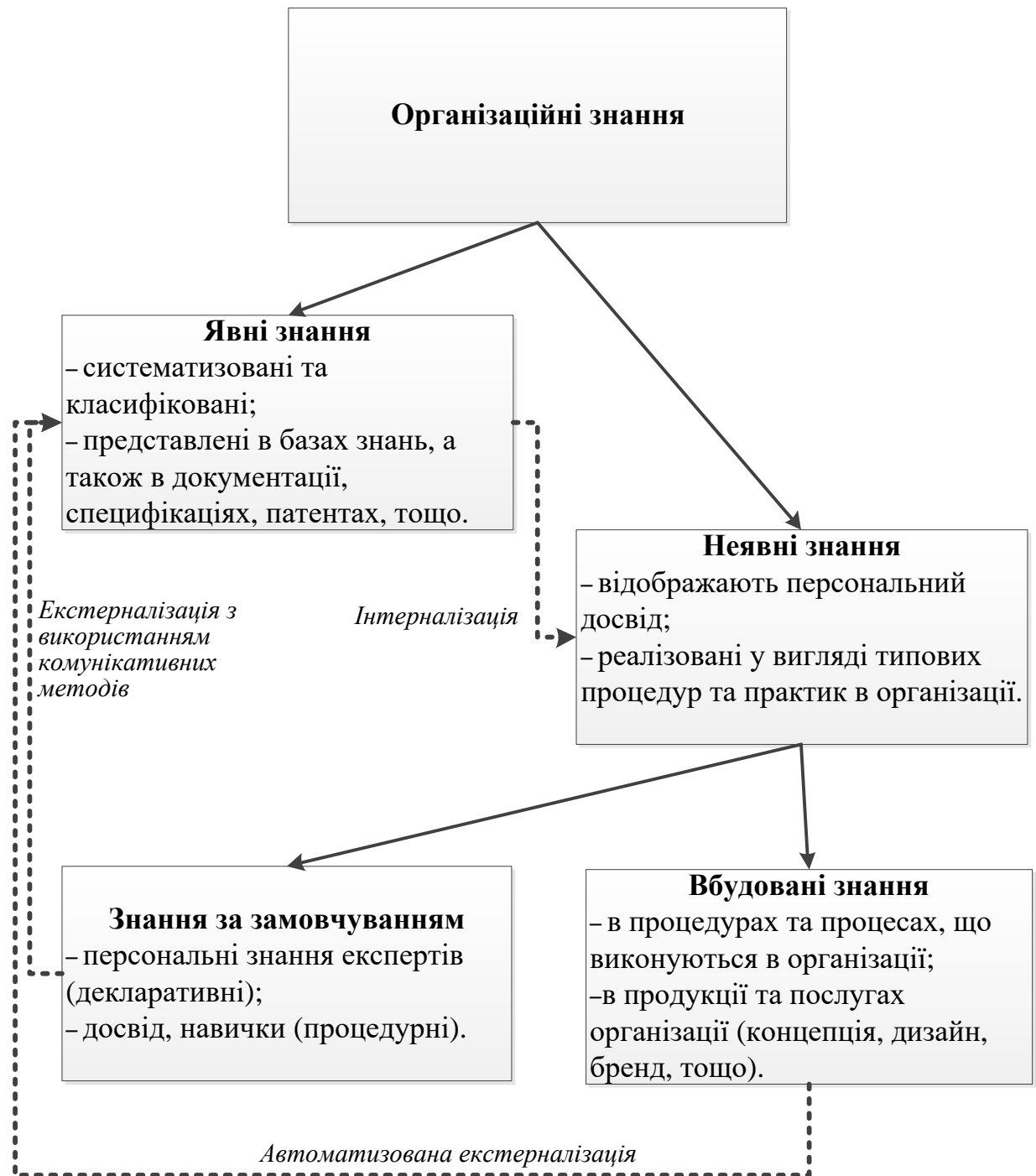


Рисунок 1.3 – Форми представлення знань організації

Вбудовані знання містяться у процедурах та процесах, що реалізуються в організації, а також у її продукції та послугах [78]. Вбудовані знання відображають типові зв'язки між виконавцями та підрозділами, потоки інформації між ними, а також типові підходи до прийняття управлінських рішень [96]. Вони також відображені в продукції та послугах організації. Такі

знання можуть бути отримані шляхом аналізу поведінки об'єкту управління в організаційній системі або аналізу можливостей продукції та послуг [97].

Відзначимо, що під поведінкою об'єкту управління зазвичай розуміють послідовність його станів. Цінність вбудованого знання полягає в тому, що воно дає можливість виявити контекст прийняття рішень в організації [98], [99] і, на цій основі, виявити причинно-наслідкові зв'язки, що обумовили вибір таких рішень. Для вилучення вбудованого знання використовуються методи інтелектуального аналізу даних, текстів, процесів, тощо [100].

При управлінні організаційною системою знання переходять із неявної форми в явну та навпаки. В роботі [92] виділено такі види перетворення знань:

- екстерналізація як перехід знання в явну форму;
- комбінація як просування явного знання;
- інтерналізація як перехід знання в неявну форму внаслідок навчання;
- соціалізація як розповсюдження неявного знання.

Очевидно, що перетворення знань із неявної в явну форму забезпечує можливість їх подальшого використання для автоматизації підтримки прийняття рішень.

Екстерналізація знань за замовчуванням виконується інженерами знань, а вбудовані знання можуть бути вилучені автоматизованими методами, що забезпечує можливість автоматизованого управління знаннями в цілому і базами знань зокрема.

Необхідні умови для управління знаннями визначено в роботі [101]. Базові умови підрозділяються на культурні, інфраструктурні, технологічні. Вони визначають потрібні для створення та використання знань ресурси. Додатково виділяється умова побудови моделі процесу управління знаннями.

Існуючі моделі процесу управління знаннями виділяють задачі, рівні використання та умови виконання цього процесу.

Представлена в роботі [101] модель поєднує задачі створення, класифікації та розповсюдження знань. Перші дві задачі орієнтовані на взаємодію з людьми – носіями знань, а третя – на використання в рамках

інформаційних технологій. Однак дана модель не деталізує сам процес перетворення та використання знань.

Модель [102] деталізує знання як вагомий актив, що підвищує ефективність прийняття управлінських рішень в організаційній системі. Згідно даної моделі, знання на тактичному рівні використовуються в контексті вимог ринку або в результаті запиту ОПР. На рівні стратегічного управління знання застосовуються згідно стратегії організації для управління її активами. Однак питання представлення та здобуття знань в рамках даної моделі не розглядаються.

В роботі [98] запропонована модель, що визначає умови та рекомендації щодо процесу управління знаннями. Згідно цієї моделі, при управлінні знаннями необхідно: знайти джерела знань; організувати знання так, щоб виявити можливість їх подальшого використання; соціалізувати знання, тобто розповсюдити їх серед виконавців; інтерналізувати знання, тобто забезпечити їх засвоєння співробітниками організації. Ключова особливість даної моделі полягає в тому, що вона враховує обмін знаннями на підприємстві, при якому останні переходять із явної в неявну форму. Однак зворотній процес в моделі не розглядається.

Таким чином, існуючі моделі процесу управління знаннями приділяють основну увагу таким перетворенням знань, як інтерналізація, комбінація та соціалізація та не деталізують процес перетворення знань із неявної в явну форму. Однак цей процес є ключовим для підтримки управлінських рішень на основі автоматизованого управління базами знань.

База знань представляє собою семантичну модель предметної області у множини концептів, сутностей та залежностей між ними, а також механізму виводу, що дає можливість отримувати нові залежності і таким чином вирішувати складні інтелектуальні задачі у цій предметній області [103], [104].

Концепт задає набір властивостей, що характеризує множину сутностей, таких як фізичні, інформаційні об'єкти, ситуації, події, тощо. Іншими словами, концепт характеризує множину об'єктів (ситуацій, подій) предметної області,

що мають однакові атрибути. Тобто концепт визначає клас об'єктів. Мета використання цих понять полягає у побудові однотипного опису БЗ, представлення знань, а також інформаційних технологій автоматизованої побудови й використання темпоральних баз знань.

Між класами об'єктів БЗ можуть бути встановлені довільні відношення, які характеризують властивості предметної області [105], [106]. В якості типових відношень використовують IS-A, HAS-A, A-KIND-OF (скорочено АКО), ARE, CAUSE. Відношення IS-A задає зв'язок між класом та екземпляром даного класу, а також між атрибутом об'єкту та значенням цього атрибуту. Відношення A-KIND-OF, ARE визначають зв'язок між класом та його підкласом. Відношення HAS-A визначає зв'язок між об'єктом та його атрибутом. Відношення CAUSE задає причинно-наслідковий зв'язок [103]. Для представлення знань з використанням наведених відношень широко використовуються трійка «Об'єкт – атрибут – значення». В цій трійці відношення HAS-A задає зв'язок між об'єктом та атрибутом, а відношення IS-A – між атрибутом та його значенням. Такі трійки, зокрема, дають можливість відобразити обмеження та умови, характерні для конкретної предметної області [107].

Таким чином, база знань поєднує сховище знань, що містить їх опис згідно апріорно визначеного формального представлення та механізм виводу нових знань.

Представлення знань задає формалізм для опису знань. Традиційно використовують такі моделі представлення знань [107]–[110]: логічні моделі; продукційні правила; фрейми; семантичні мережі; сценарії.

Логічні моделі можуть бути побудовані засобами логіки предикатів, модальної та нечіткої логіки. Логіка предикатів дозволяє побудувати формальну систему представлення знань [111], [112]. Формальна система є множиною об'єктів та правил маніпулювання цими об'єктами. Для побудови такої системи задаються: кінцевий алфавіт (словник); процедура побудови формул на основі кінцевого алфавіту; множна аксіом та множина правил

виводу нових формул [113]–[115]. Вивід виконується за допомогою правила резолюції або його окремого випадку – правила *Modus ponens*. Відзначимо, що формальна система не враховує семантику при виводі нових формальних залежностей.

Модальна логіка використовує модальні висловлювання [116], [117]. Останні визначають характер відношень між предметами та явищами, наприклад, у часі та просторі («в наступний момент», «у майбутньому», «тут», тощо). Нечітка логіка дозволяє застосовувати концепцію невизначеності при реалізації логічного виводу, оскільки використовує лінгвістичні змінні. Останні дають можливість задати проміжні значення між традиційними логічними значеннями «true» та «false» [118].

Продукційні правила мають вигляд «ЯКЩО умова ТО висновок». При використанні правил виконується пошук умови у базі знань. За результатами успішного пошуку реалізується висновок. Використовується прямий (від умов до висновків) та зворотній (від висновків до умов) пошук у базі знань [119], [120]. Розглянуте представлення знань використовується в продукційних системах, які містять базу даних, базу знань у формі правил, а також інтерпретатор цих правил [121].

Фреймова модель представлення знань реалізує об'єктно-орієнтовану парадигму. Фрейм дозволяє описати поняття або ситуацію за допомогою набору слотів та приєднаних процедур. Кожен слот містить заповнену структуру даних, наприклад «назва змінної – значення змінної». Слоти задають декларативне представлення знань. Приєднані процедури виконуються при виникненні визначених умов та реалізують процедурне знання. Дане представлення знань будується у вигляді ієрархії фреймів [122]. Механізм виводу реалізовано шляхом пошуку значень слотів по ієрархії фреймів. За потреби в процесі пошуку виконуються приєднані процедури.

Семантична мережа є графом, вузли якого містять поняття, факти. Дуги графу встановлюють відношення між поняттями. Дуги можуть бути помічені назвами відношень. Граф може бути орієнтованим, представленим у вигляді

дерева, тощо. Вивід в мережі реалізується шляхом наслідування властивостей або шляхом співставлення по збігу [123]. В першому випадку виконується переміщення по мережі з використанням зв'язків «є», «має». В другому випадку виконується пошук в мережі понять та зв'язку, як задані в запиті.

Сценарне представлення знань дозволяє побудувати опис визначеної ситуації в предметній області у вигляді дерева фактів (дій, станів об'єкту управління, тощо) [123]–[125]. Дуги дерева задають зв'язки між цими фактами у вигляді «причина- наслідок», «ціль-підціль», «частина- ціле». В залежності від типу зв'язків між фактами виділяють каузальні, класифікуючі, цільові сценарії.

Порівняльний аналіз розглянутих способів представлення знань дозволяє зробити такі висновки. По-перше, обробка знань при використанні формальних логічних моделей виконується на основі формальних правил, що не завжди дозволяє врахувати семантику. По-друге, найбільш загальною із реляційних моделей, що описують семантику предметної області, є семантична мережа. Продукційні правила, фрейми та сценарії можуть бути відображені у вигляді семантичної мережі шляхом встановлення відповідних відношень між вершинами відповідного графу. По-третє, складність мережі залежить від множини типів зв'язків між вершинами графу. Тому для представлення знань у глобальних БЗ у мережі Інтернет використовуються різновиди семантичної мережі. При автоматизованому управлінні БЗ також використовується представлення знань на основі подальшого розвитку семантичних мереж у вигляді концептів, сутностей, зв'язків між ними у вибраній предметній області [126]–[128].

Однак при використанні семантичних мереж не враховують темпоральну складову, що утруднює використання такого представлення знань для підтримки управлінських рішень.

Виявлення знань традиційно розглядається як спосіб переводу неявних знань у явні (тобто їх екстерналізації [93]). Для здобуття знань за замовчуванням використовуються комунікативні методів інженерії знань.

Ключові недоліки цих методів пов'язані із труднощами вилучення знань у експертів та необхідністю виявлення протиріч у отриманих явних знаннях.

Проведений аналіз процесу управління знанням дає можливість зробити висновок про те, що цей процес передбачає виявлення джерел знань, побудову представлення знань, вилучення знань у експертів та їх розміщення у базі знань, розповсюдження та використання знань на тактичному та стратегічному рівнях управління. Цей процес може бути автоматизований для підвищення ефективності прийняття управлінських рішень на основі використання баз знань.

Здобуття знань полягає у вилученні концептів та зв'язків між ними на основі взаємодії з людьми – носіями знань або шляхом аналізу документів різного формату. В першому випадку використовуються комунікативні методи здобуття знань, а в другому – методи автоматизованого вилучення знань [129].

Управління базами знань поєднує вирішення задач створення, підтримки та використання БЗ [130].

При вирішенні задачі створення бази знань виконуються такі дії: побудова представлення знань; здобуття знань; зберігання знань.

Побудова та використання баз знань на сьогодні реалізуються в рамках двох базових підходів. Перший, комунікативний підхід є традиційним та передбачає розробку БЗ на основі комунікації із людьми – носіями експертних знань. База знань проектується для подальшого використання людьми. Комунікативна побудова БЗ потребує значних витрат часу і тому є «вузьким місцем» при використанні баз знань для підтримки прийняття управлінських рішень [131].

Другий, автоматизований підхід, активно розвивається в останнє десятиріччя та може бути скорочено представлений у вигляді такої послідовності дій: автоматизована розробка та підтримка бази знань – використання БЗ в інформаційних системах – практичне застосування

результатів роботи інформаційної системи, отриманих з використанням знань [132], [133].

Автоматизоване вилучення знань полягає у створенні знань із джерел структурованої або неструктурованої інформації [134], [135]. В якості джерел структурованої інформації виступають реляційні бази даних, електронні таблиці, документи в форматі XML. Неструктуровані джерела – це текстові документи, зображення, тощо.

Зберігання та обробка знань базується на розробці та підтримці їх фізичного представлення, потребує індексації та обробки запитів і зазвичай реалізується засобами реляційних СУБД [136], [137].

Узагальнена послідовність автоматизованого створення бази знань містить у собі такі фази та етапи (рис. 1.4).

Фаза 1. Побудова бази знань. На даній фазі вирішуються задачі формування множини джерел даних для автоматизованої побудови бази знань, а також формування множини залежностей, що входять до представлення знань. Такі залежності повинні відображати ієрархію дані-інформація-знання – мета знання.

Фаза 2. Підтримка роботи бази знань. На даній фазі вирішуються задачі постійного оновлення бази знань у автоматичному режимі та ручного контролю якості знань.

Оновлення бази знань може бути виконано за водоспадною або інкрементною стратегіями. Оновлення за водоспадною стратегією означає, що база знань повністю перебудовується при кожному оновленні знань. Оновлення за інкрементною стратегією реалізується у вигляді послідовних доповнень БЗ.

З точки зору практичного використання відмінності між цими підходами полягають у наступному. З одного боку, перебудова БЗ при кожному оновленні знань потребує значно більше часу ніж інкрементне доповнення.



Рисунок 1.4 – Задачі автоматизованого управління базами знань

З іншої сторони, при використанні інкрементної стратегії загальний алгоритм побудови бази знань необхідно адаптувати з використанням набору правил внесення доповнень до БЗ. Такі правила, наприклад, визначають зміни в БЗ після появи нового документу у вхідних даних, після видалення документу, тощо. Однак використання цих правил для внесення змін у типову послідовність поповнення бази знань може порушити несуперечливість знань у БЗ.

Тому на практиці ці два підходи комбінують. Типові прості зміни у знання вносяться у вигляді інкрементних доповнень, а комплексна модифікація БЗ виконується за водоспадною стратегією [138], [139].

Задача ручного контролю якості виконується аналітиком. Зазвичай такий контроль полягає у перевірці відношень між класами та екземплярами класів. Наприклад, перевіряється коректність вибраної випадковим чином ієрархії класів, або належність екземпляру класу. За результатами перевірки з використанням відповідного людино-машинного інтерфейсу до БЗ видаляються/додаються класи або екземпляри класів, змінюються зв'язки між ними. При використанні ваг відношень ці ваги також можуть бути змінені. Наприклад, при зміні людиною профілю діяльності аналітик може перенести її до іншої ієрархії.

Фаза 3. Застосування бази знань. На даній фазі вирішуються такі задачі: інтерпретація запиту користувача; пошук в Web та Deep Web згідно запитів користувача; контекстна реклама на сайтах в мережі Інтернет; підбір інформації до поточних подій в новинах в соціальних мережах.

При вирішенні першої задачі виконується аналіз вхідного запиту з метою виявити посилання на клас та екземпляри класу в базі знань. Наприклад, запит «Програмісти в Харкові» містить у собі клас «програмісти» та екземпляр класу «Харків». Результатом даного етапу є інтерпретація запиту у вигляді переліку класів та екземплярів класів.

На відміну від звичайного Web, глибока павутина містить у собі інформацію, яка не враховується звичайними пошуковими системами, тобто на неї немає гіперпосилань із інших сайтів. Зазвичай така інформація міститься в спеціалізованих базах даних (які можуть бути платними). Наприклад, бази Science.gov наукових даних та FreeLunch економічних даних. Для доступу до інформації в цих БД спочатку необхідно знайти базу даних та отримати доступ до неї. Тому звичайні пошукові системи не враховують цю інформацію.

Для реалізації пошуку у Deep Web формується перелік сайтів глибокої павутини, після чого ці ресурси включаються до таксономії бази знань. В подальшому, після інтерпретації запиту користувача, в БЗ виконується пошук класів та екземплярів із запиту.

Задача реалізації контекстної реклами в мережі Інтернет вирішується шляхом інтерпретації сторінок сайту, тобто знаходження потрібних класів та екземплярів на цих сторінках з урахуванням неоднозначності їх опису в тексті. В подальшому при навігації по цим концептам або сутностям використовуються спливаючі рекламні оголошення.

При виникненні інформації про важливі події виконується її інтерпретація та підбір інформації із відповідними концептами та об'єктами.

Автоматизоване управління базами знань на сьогодні використовується для побудови та підтримки в актуальному стані бази знань в різних предметних областях.

Наприклад, пошукові системи Bing та Google використовують бази знань для розуміння запитів користувачів. Для реалізації семантичного пошуку Google розробила ймовірнісну базу знань Knowledge Graph [140]–[142]. Голосові помічники Siri, Alexa, Cortana також використовують контекстні знання для розпізнавання семантики голосового запиту [141].

Автоматизованим способом формуються бази знань двох типів:

– глобальні, що призначені для збереження широкого класу залежностей та використовуються переважно в інформаційно-пошукових та інформаційно-довідкових системах;

– спеціалізовані, що містять у собі сутності та відношення між ними для вузької предметної області за умови, що ця предметна область детально описана зазвичай формалізована.

Ці типи баз знань відрізняються джерелами вхідних даних, представленням знань та результатами їх використання.

Спеціалізовані бази знань мають апріорно визначений перелік джерел вхідної інформації, та зазвичай використовуються для вирішення характерних для предметної області задач.

Тому головна проблема побудови та поповнення цих баз знань полягає у інтеграції вхідної інформації та подальшого виявлення фактів та залежностей між цими фактами. Наприклад, спеціалізована база знань для дослідників у сфері баз даних DBLife [143] поповнюється в автоматизованому режимі на основі аналізу сторінок заданих сайтів у мережі Інтернет, листів електронної пошти, бази бібліографії в сфері комп'ютерних наук DBLP. Із проаналізованих сторінок вилучаються метадані (дата появи чи редагування сторінки) та виконується структуризація та класифікація сторінок. Отримані структури (наприклад, перелік імен) використовуються для виявлення знань у цій предметній області. Так, з використанням переліку імен та врахуванням контексту встановлюються зв'язки між публікаціями та новими посиланнями на них. На основі зв'язків між публікаціями встановлюються зв'язки між авторами з урахуванням особливостей написання їх імен.

Отримана база знань дає відповіді на питання: «чи існує зв'язок між вказаними дослідниками?», «чи цитували задану статтю за вибраний період часу?», «хто цитував статтю?», «які близькі за тематикою заходи відбулись/відбудуться в заданий період?».

Інші приклади спеціалізованих баз знань – база бібліографії DBLP [144], пошукова система по текстах наукових публікацій Google Scholar [145]–[149], платформа для медіа компаній The Echo Nest [150], що містить базу знань про виконавців та пісні.

При побудові глобальних баз знань до виявлення фактів та залежностей між цими фактами необхідно знайти (можливо, оплатити) джерела вхідної інформації.

До таких баз належать: граф знань компанії Google; Freebase, яка використовує інформацію з Wikipedia, музичних сайтів та містить інтерфейс для внесення знань користувачами; Dbpedia, яка вилучає структуровану інформацію з Wikipedia та забезпечує доступ до неї в мережі Інтернет [151], YAGO (Yet Another Great Ontology) [152] яка використовується штучним інтелектом Watson фірми IBM.

В цілому розглянуті моделі та методи автоматизованого управління базами знань орієнтовані на вирішення задач семантичного пошуку інформації та знань, а також бізнес-аналітики. Для збереження фактів, концептів та зв'язків між ними в таких БЗ використовуються декларативні знання (рис. 1.4).

Ці бази знань можуть зберігати інформацію про час, наприклад дати виникнення різних подій, але не враховують властивості представлення часу для того, щоб задати зв'язки між цими подіями.

В роботі [153] для вирішення даної проблеми було запропоновано доповнення бази знань YAGO темпоральними та просторовими характеристиками.

Такі доповнення дають можливість встановити час виникнення подій та інтервали існування фактів та явищ, а також просторову прив'язку фактів. Однак управлінські рішення, як було показано в підрозділі 1.1, становлять собою послідовність взаємопов'язаних дій із усунення проблемної ситуації. Вказана послідовність розгортається в часі, що потребує врахування

темпоральних відношень між діями у складі управлінського рішення, а також між станами об'єкту управління, які виникають внаслідок таких дій.

Таким чином, для підтримки прийняття управлінських рішень необхідні не лише декларативні, а й процедурні темпоральні знання, тоді як існуючі моделі та методи передбачають автоматизоване управління базами декларативних знань. Це не дає можливість вирішити задачу підтримки управлінських рішень шляхом формування можливих контекстно-орієнтованих послідовностей дій із досягнення цільового стану організаційного об'єкту управління.

1.4 Висновки та постановка завдань дослідження

Ефективне організаційне управління у сучасному конкурентному середовищі пов'язано із виконанням неструктурованих, а також частково структурованих знання-ємних задач в умовах невизначеності як щодо стану об'єкту управління, так і щодо процесу управління. Такі задачі мають детерміновані моделі для підмножини типових варіантів реалізації. Невизначеність при використанні цих моделей виникає внаслідок неповноти інформації про параметри організаційної системи як об'єкту управління та про зовнішні впливи на цей об'єкт.

У випадку нетипових станів та нетипових режимів роботи ОУ крім невизначеності щодо об'єкту управління виникає також функціональна та структурна невизначеність щодо процесу управління. Остання пов'язана із використанням керівництвом та персоналом неявних персональних знань, або знань «за замовчуванням». Такі знання відображають персональний досвід, мають процедурний характер, можуть мати протиріччя та формуються із явних знань внаслідок процесу інтерналізації.

Тому реалізація управління організаційною системою в умовах невизначеності потребує послідовного вирішення задач підготовки та

реалізації управлінських рішень. Задача підготовки рішень містить послідовність фаз з розпізнавання проблеми та формування набору можливих управлінських рішень для подальшого раціонального вибору. Ця задача є достатньо трудомісткою і тому потребує автоматизованої підтримки.

Для підтримки управлінських рішень як складової процесу управління на тактичному рівні в умовах невизначеності застосовують KBDSS, системи підтримки прийняття рішень на основі знань. Такі системи використовують вхідні дані із систем обробки транзакцій, що функціонують на оперативному рівні, а також із інформаційно-управляючих систем на тактичному рівні управління.

При побудові баз знань для KBDSS використовуються комунікативні методи вилучення знань. Однак реалізація цих методів потребує великих витрат часу як експертів, так і кваліфікованих інженерів знань, що не завжди дає можливість підтримувати базу знань в актуальному стані. Також внаслідок особливостей знань за замовчуванням, які використовуються в комунікативних методах, отримана база знань потребує перевірки на несуперечливість.

Для подолання зазначених недоліків з побудови баз знань за допомогою комунікативних методів використовують парадигму автоматизованого управління базами знань. В рамках даної парадигми виконується процес формалізації вбудованих знань. Вбудовані знання містяться у типових процедурах, процесах, документах організаційної системи. Для вилучення вбудованих знань застосовуються методи інтелектуального аналізу текстів, даних, процесів.

Автоматизоване управління знаннями реалізує задачі автоматизованого формування, підтримки БЗ, а також використання знань в рамках інформаційно-пошукових, інформаційно-довідкових та інформаційно-аналітичних систем.

Однак існуючі моделі та методи автоматизованого управління БЗ використовують декларативні знання і не враховують їх темпоральні характеристики, що не дозволяє сформулювати управлінське рішення у вигляді упорядкованої у часі послідовності управляючих дій.

Таким чином, на сьогодні існує проблема розробки концептуальних основ, моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності вибору управлінських рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач.

Дана проблема пов'язана із невідповідністю між практичними потребами знання-орієнтованої підтримки управлінських рішень в умовах неповноти інформації щодо стану об'єкту управління на тактичному та стратегічному рівнях управління з урахуванням темпорального аспекту управляючих дій та можливостями існуючих методів автоматизованого управління базами знань.

Наведені положення дають можливість визначити мету даної роботи як розробку моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності вибору управлінських рішень в умовах неповноти інформації щодо стану об'єкту управління або щодо процесу управління.

Відповідно до мети дослідження визначені такі основні задачі дисертаційної роботи:

1. Провести аналіз проблем та підходів до автоматизованого управління базами знань для підтримки управлінських рішень.
2. Розробити модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях.
3. Розробити модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень.
4. Розробити моделі темпоральних правил.

5. Розробити модель темпоральної бази знань.
6. Розробити методи побудови темпоральних правил.
7. Розробити метод визначення ваг темпоральних правил на основі знань щодо виконаних послідовностей дій управлінського рішення.
8. Розробити інформаційну технологію побудови темпоральної бази знань.
9. Розробити метод виявлення аномального стану об'єкту управління на основі використання темпоральних правил.
10. Розробити метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних правилах для формування багатоваріантного управлінського рішення.
11. Розробити інформаційну технологію автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань.
12. Виконати експериментальну перевірку розроблених методів та реалізувати інформаційні технології автоматизованого управління темпоральною базою знань для підтримки управлінських рішень.

2 РОЗРОБКА КОНЦЕПТУАЛЬНИХ ОСНОВ АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕМПОРАЛЬНИМИ БАЗАМИ ЗНАНЬ ДЛЯ ПІДТРИМКИ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

В першому розділі було обґрунтовано необхідність розробки моделей, методів, а також технологій автоматизованого управління базами темпоральних знань при вирішенні задач підтримки управлінських рішень.

Другий розділ містить розробку концептуальних основ побудови, поповнення, а також використання бази темпоральних знань для формування множини варіантів реалізації управлінського рішення.

Забезпечення ефективних управлінських рішень на тактичному рівні управління у сучасних високотехнологічних підприємствах потребує автоматизації задач створення й поповнення бази знань у системах підтримки прийняття рішень. Такі бази містять знання щодо процесу управління, що дає можливість оперативно сформулювати управлінське рішення при вирішенні частково структурованих задач. Однак представлені в роботах [124], [127], [134], [135], [154]–[156] концепції, підходи та методи побудови баз знань не враховують вимоги щодо оперативного оновлення знань, які є особливо актуальними для сучасних підприємств, що використовують нові інформаційні технології в своїй діяльності.

В роботі поставлено задачу автоматизованого управління темпоральними базами знань для підтримки управлінських рішень. Згідно постановки задачі, темпоральні знання можуть бути сформовані на основі встановлення упорядкованості у часі послідовностей станів об'єкту управління, що виникають в результаті реалізації послідовності управляючих дій у складі управлінського рішення.

В рамках вирішення даної задачі необхідно розробити:

– модель багатоваріантного управлінського рішення, що містить множину альтернативних послідовностей управляючих дій із досягнення

цільового стану об'єкту управління; упорядкованість цих дій у часі визначається темпоральними знаннями;

– концептуальний підхід до автоматизованого управління темпоральною базою знань для підтримки прийняття управлінських рішень, який передбачає автоматичну побудову та автоматизоване використання темпоральних знань.

Розроблені у даному розділі модель та підхід базуються на роботах [157]–[168] та розвивають результати, що були запропоновані у роботах [169]–[185].

2.1 Постановка задачі автоматизованого управління темпоральними базами знань для підтримки управлінських рішень

Вирішення задачі автоматизованого управління темпоральними базами знань для підтримки прийняття рішень потребує структуризації УР з метою узагальнення темпоральних залежностей як між управляючими діями, послідовність яких реалізує управлінське рішення, так і між станами ОУ, що виникають в результаті виконання цих дій.

Запропонована структуризація УР направлена на забезпечення автоматизованої знання-орієнтованої підтримки прийняття рішень, передбачає виділення трьох базових елементів:

- послідовність управляючих дій;
- послідовність станів об'єкту управління, яка визначає контекст виконання управляючих дій;
- множину темпоральних знань, що описують вибір послідовності управляючих дій у відповідному контексті, тобто з урахуванням стану об'єкту управління.

Взаємодія наведених структурних складових управлінського рішення задається відомою темпоральною послідовністю «стан об'єкту управління –

застосування знань для вибору управляючої дії – управляюча дія – новий стан об'єкту управління».

Відповідно, темпоральні характеристики базових структурних елементів УР є суттєвими для автоматизованої підтримки прийняття рішень, що і визначає потребу у їх подальшому розгляді.

Темпоральні характеристики управляючих дій відображають послідовність вирішення задачі управління при реалізації управлінського рішення:

- кожний альтернативний варіант реалізації управлінського рішення має вигляд послідовності упорядкованих у часі управляючих дій, що забезпечують перехід від поточного нетипового (аномального) до цільового стану об'єкту управління в умовах невизначеності при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач;

- задачі виявлення нетипового стану ОУ та формування множини альтернативних послідовностей управляючих дій у складі УР на практиці мають часові обмеження;

- послідовність управляючих дій формує послідовність станів об'єкту управління, тобто їх упорядкування у часі є ідентичним.

Темпоральні характеристики об'єкту управління враховують різний ступінь деталізації часу на різних рівнях організаційної ієрархії. Для відображення таких організаційних рівнів об'єкт управління структурується у вигляді взаємодіючих артефактів. Підхід до артефакт-орієнтованого опису складових об'єкту управління запропоновано в роботі [161]. Такий підхід широко використовується фірмою ІВМ. Згідно вказаного підходу опис процесів на об'єкті управління задається як сукупність операцій над артефактами з урахуванням їх життєвого циклу. Ключовою характеристикою артефакту є наявність інформації щодо набору його властивостей, необхідних для вирішення задач управління.

Уточнимо визначення даного терміну у відповідності до задачі автоматизованого управління темпоральними базами знань.

Визначення 2.1. Артефакт – це типовий об'єкт у складі об'єкту управління в цілому, який характеризується набором атрибутів та їх значень, що містять інформацію щодо його стану та виконаних управляючих дій.

Артефакт-орієнтований підхід дає можливість описати процес управління через стан підмножини артефактів [161] і, тим самим, представити різні рівні організаційної ієрархії:

- об'єкт управління для УР може бути деталізованим у вигляді опису множини типових об'єктів [186]–[191];

- ОУ може бути представлений ієрархією артефактів з тим, щоб відобразити реалізацію управлінського рішення на різних рівнях організаційної структури підприємства;

- кожен стан ОУ на відповідному рівні організаційної ієрархії відображається у вигляді сукупності станів підмножини артефактів, що дозволяє відобразити послідовність зміни станів ОУ в цілому або його підсистем з урахуванням відповідного організаційного рівня.

Темпоральні знання щодо управлінського рішення в цілому відображають залежності між управляючими діями та станом ОУ у часі:

- послідовність управляючих дій у часі визначається на основі як формального, так і евристичного опису процесу та об'єкту управління; евристики зазвичай відображають неформалізовані особливості функціонування ОУ;

- темпоральні залежності задають як опис процесу управління, так і опис поведінки об'єкту управління; в першому випадку встановлюється упорядкованість управляючих дій у часі, а в другому – темпоральна упорядкованість станів ОУ;

- темпоральні знання можуть бути отримані на основі встановлення зв'язків між парами станів ОУ, а також парами управляючих дій; з

урахуванням контексту виконання таких дій; контекст визначається властивостями артефактів, що визначають поточний стан об'єкту управління;

– темпоральні знання можуть бути використані для опису допустимих у поточному стані об'єкту управління нових послідовностей управляючих дій, призначених для вирішення поточної задачі управління.

Для обґрунтування постановки задачі автоматизованого управління темпоральними базами знань для підтримки управлінських рішень розглянемо більш детально об'єктний та темпоральний аспекти управлінського рішення.

Згідно наведених характеристик об'єкту управління, перший аспект відображає об'єктну структуру ОУ, тобто склад та взаємозв'язки між типовими об'єктами – артефактами. Відповідно, стан ОУ в цілому поєднує у собі стани цих типових об'єктів. Використання артефактів забезпечує об'єктно-орієнтовану локалізацію інформації про ОУ в цілому [162], [163].

Переваги використання артефакт-орієнтованого підходу в рамках задач дослідження полягають у наступному.

По-перше, при оперуванні артефактами задаються тільки допустимі для кожного з них дії, що дає можливість неявно ввести обмеження на опис процесів на ОУ. Введення обмежень дає можливість спростити знання-орієнтовану модель процесу управління, відібравши лише ті послідовності дій, що задовольняють обмеженням.

По-друге, об'єктно-орієнтована структуризація ОУ у вигляді набору артефактів створює умови для побудови темпоральних знань з урахуванням організаційної структури об'єкту управління на основі відношень між цими артефактами. При представленні ОУ у вигляді ієрархії артефактів з'являється можливість сформулювати послідовності управляючих дій у складі УР для різних рівнів організаційної структури об'єкту управління, наприклад, для окремих виконавців, підрозділів, для організаційної системи в цілому.

По-третє, використання об'єктно-орієнтованого підходу дає можливість обмежити множину значень властивостей артефактів, що використовується

при формуванні управлінського рішення. В даному випадку можуть бути використані ті властивості артефактів, які уже були зафіксовані при успішному вирішенні структурованих чи частково структурованих задач. Таке обмеження створює умови для автоматизованого формування знань, оскільки інформація для побудови знань обмежується відомими підмножинами значень властивостей артефактів.

Позначимо множину всіх артефактів у складі об'єкту управління Af :

$$Af = \{af_n : (\forall n) af_n \in Ou\}, \quad (2.1)$$

де af_n – типовий об'єкт – артефакт.

Об'єкт управління Ou складається з множини артефактів, а також зв'язків між цими артефактами, що відображають організаційну структуру ОУ. Такі зв'язки можуть бути відображені з використанням теоретико-множинних операцій $\subset, \subseteq, \setminus$.

Ці теоретико-множинні зв'язки між артефактами дають можливість представити ієрархічну організаційну структуру ОУ через ієрархію підмножин артефактів у вигляді:

$$Ou = \{Af_n : (\forall n) \exists m \neq n : (Af_n \subseteq Af_m) \vee (Af_n \subset Af_m)\}, \quad (2.2)$$

де Af_n – підмножина артефактів.

Слід зазначити, що відношення \subseteq дає можливість зіставити підмножини артефактів, що використовуються при вирішенні різних функціональних задач і, відповідно, можуть мати різну назву.

У відповідності до (2.2), Ou є множиною, частково упорядкованою по відношенню включення. З позицій побудови представлення знань, кожен артефакт задає базове поняття предметної області (підрозділ, виконавець,

процес, тощо). Об'єкт управління у вигляді (2.2) представляється множиною взаємопов'язаних понять.

Аналогічно поняттям, кожен із цих артефактів має набір властивостей. Нехай $B = \{b_k\}, k = \overline{1, K}$ – це сукупність властивостей об'єкту управління в цілому. Одночасно множина B містить властивості всіх артефактів Af , що входять до складу ОУ. Тоді бінарне відношення Γ_1 задає відповідність між артефактами та їх властивостями:

$$\Gamma_1 \subseteq Af \times B. \quad (2.3)$$

Тобто якщо для будь-якого артефакту $af_n \in Af$ та властивості $b_k \in B$ існує відношення Γ_1 , то артефакт af_n має властивість b_k . Таку властивість позначимо як $b_{n,k}$ та будемо інтерпретувати як атрибут артефакту. Наприклад, для af_1 «Виконавець» атрибутами можуть бути $b_{1,1} = \text{"Ім'я"}$, $b_{1,2} = \text{"Посада"}$, тощо.

Формальний контекст Λ_1 виконання управляючих дій у складі управлінського рішення визначається трійкою, що задає зв'язки між всіма артефактами та їх атрибутами:

$$\Lambda_1 = \langle Af, B, \Gamma \rangle. \quad (2.4)$$

В рамках задачі підтримки управлінських рішень кожен атрибут $b_{n,k}$ має значення із кінцевої множини значень C_k . У загальному випадку деякі атрибути можуть мати потенційно нескінчену множину значень. Однак з точки зору практичного застосування при вирішенні даної задачі сенс мають лише ключові значення, сукупність яких становить множину з кінцевою кількістю елементів. Наприклад, максимальне й мінімальне значення ваги,

температури, тощо. Тому, зі збереженням спільності, в подальшому будемо розглядати кінцеву множину значень кожного атрибута $b_{n,k}$.

Нехай $C = \{C_k\}$ – множина підмножин C_k можливих значень атрибутів артефактів. Тоді бінарне відношення Γ_2 задає відповідність між властивостями та значеннями властивостей артефактів:

$$\Gamma_2 \subseteq B \times C. \quad (2.5)$$

Дане відношення має таку інтерпретацію: якщо для $b_k \in B$ та $c_{k,l} \in C_k$ існує відношення Γ_2 , властивість b_k має значення $c_{k,l}$. В подальшому позначення $c_{k,l}$ будемо інтерпретувати як l – значення k – атрибуту.

Множина $S = \{s_j\}$ можливих станів об'єкту управління визначається трійкою Λ_2 , що задає зв'язки між всіма атрибутами артефактів та їх можливими значеннями:

$$\Lambda_2 = \langle B, C, \Gamma_2 \rangle. \quad (2.6)$$

Тоді кожний стан об'єкту управління s_j задається підмножиною атрибутів $B_j \subseteq B$, а також підмножиною значень цих атрибутів C_{s_j} . Вказані атрибути одночасно є атрибутами підмножини артефактів:

$$Af_j = \left\{ af_n : af_n = \{b_{n,p}\}, (\forall n \forall p) \exists k : b_{n,p} \equiv b_k, b_k \in B_j \right\}, \quad (2.7)$$

де $Af_j \subseteq Af$ – підмножина артефактів, властивості (атрибути) яких одночасно є властивостями стану s_j об'єкту управління;

$b_{n,p}$ – p – атрибут артефакту $af_n \in Af_j$;

b_k – k – атрибут стану об'єкту управління.

Згідно (2.7), для опису поточного стану об'єкту управління достатньо вказувати підмножину атрибутів $\{b_k\}$, без індексу артефактів. Тоді кожен стан s_j визначається парами (атрибут, значення):

$$s_j = \{(b_k, c_{k,l})\}, \quad (2.8)$$

де $b_k \in B_j$ – k – атрибут стану s_j ;

$c_{k,l}$ – l – значення атрибуту b_k .

Сукупність всіх значень $c_{k,l}$ атрибутів для стану s_j складає кінцеву множину $C_{s_j} = \{c_{k,l}\}$. Тоді виникнення стану s_j об'єкту управління може бути представлено предикатом Υ_j на атрибутах стану. Даний предикат стає істинним в момент виникнення цього стану:

$$\Upsilon_j(b_1, b_2, \dots, b_k, \dots, b_K) = true \mid \forall k c_{k,l} \in C_{s_j}, \quad (2.9)$$

де $b_k \in B_j$ – атрибут стану s_j .

Тобто предикат Υ_j задає наявність j – стану об'єкту управління у випадку, коли атрибути $b_k \in B_j$ мають значення $c_{k,l}$ із множини C_{s_j} .

Практичний сенс визначення стану (2.8) – (2.9) полягає в тому, що значення атрибутів артефактів, які відповідають кожному стану s_j , можуть бути отримані із баз даних системи обробки транзакцій та інформаційно-управляючої системи, що забезпечує можливість практичної реалізації задач автоматизованого управління темпоральною базою знань.

Дана формалізація стану забезпечує гнучкість опису поведінки ОУ внаслідок відсутності обмежень на перелік артефактів, атрибути яких використані для опису поточного стану. Це дає можливість будувати довільну систему артефактів, в рамках як декларативного, так і процедурного опису об'єкту управління.

Декларативний опис об'єкту управління може бути побудований на основі ієрархії артефактів, що дає можливість розглядати стани ОУ із різним ступенем деталізації, наприклад, на рівні організації в цілому, підрозділів, або окремих виконавців. Це забезпечує можливість підтримки прийняття рішень як на тактичному, так і на стратегічному рівнях об'єкту управління на основі використання одних і тих же вхідних даних. Тобто на кожному ієрархічному рівні можуть бути використані окремі підмножини атрибутів артефактів для побудови темпоральних залежностей, що відображають особливості поведінки ОУ та процесу управління саме на цьому рівні. Наприклад, на рівні виконавців може бути врахований поточний стан операцій, що виконується персоналом. На рівні підрозділів враховується стан процедур або процесів, що складаються із цих операцій, на рівні організації в цілому – стан окремих задач за виділеними напрямками діяльності.

Процедурний опис об'єкту управління задає послідовність у часі операцій, процедур, процесів, що виконуються в організації при реалізації управлінського рішення.

Загальність запропонованого підходу полягає в тому, що в якості артефактів можуть також бути використані управляючі дії. Тоді атрибути управляючої дії, в тому числі поточний стан її виконання можуть бути включені до підмножини V_j , що характеризує стан об'єкту управління.

Формально виникнення стану s_j внаслідок реалізації управляючої дії d_j визначається шляхом перевірки істинності предикату Y_j :

$$Y_j(d_j, b_1, \dots, b_k, \dots, b_K) = true \mid (\forall j \forall k) d_j, c_{k,l} \in C_{s_j}. \quad (2.10)$$

В рамках задачі підтримки управлінських рішень множина станів $S = \{s_j\}$ розділяється на підмножини S^{norm} нормальних та S^{abn} аномальних (нетипових) станів об'єкту управління. Останні характеризують проблемні ситуації, які потребують формування та реалізації управлінських рішень, як було показано в розділі 1. Аномальність стану $s_j \in S^{abn}$ визначається на основі недопустимих значень властивостей артефактів:

$$S = S^{norm} \cup S^{abn} : \forall s_j \in S^{abn} \exists c_{k,l} \notin C. \quad (2.11)$$

Згідно з (2.11), підмножини S^{norm} та S^{abn} не мають спільних елементів:

$$S^{norm} \cap S^{abn} = \emptyset. \quad (2.12)$$

Особливість визначення нетипового стану (2.11) з позиції підтримки управлінського рішення на основі використання темпоральних залежностей полягає в тому, що множина можливих значень атрибутів артефактів може змінюватись з часом.

Для типового процесу управління виконується умова:

$$(\forall s_j \forall k \forall l) c_{k,l} \in C_{s_j}. \quad (2.13)$$

Згідно даної умови, для кожного поточного стану s_j значення $c_{k,l}$ є відомим в результаті апіорного опису ОУ або з практики управління, тобто були реалізовані управлінські дії, що привели до такого значення атрибуту b_k одного із артефактів у складі об'єкту управління.

Поява аномального стану ОУ, що характеризує виникнення проблемної ситуації, задається правилом:

$$(\forall j) Y_j(b_1, \dots, b_k, \dots, b_K) = true \mid \exists c_{k,l} \notin C_{s_j} \Rightarrow s_j \in S^{abn}. \quad (2.14)$$

Таким чином, управлінське рішення формується лише у випадку виникнення поточного нетипового стану $s_i \in S^{abn}$, представленого аномальними значеннями атрибутів артефактів $c_{k,l} \notin C$, $C = \bigcup_{s_j} C_{s_j}$.

Розгляд темпорального аспекту управлінського рішення потребує попередньої структуризації темпоральних даних, які використовуються в інформаційних системах.

В роботах [165], [192]–[195] виділяють такі види темпоральних даних:

- упорядкована у часі послідовність подій без темпоральних міток;
- набір даних з часовими мітками;
- множина даних з багатовимірними темпоральними характеристиками.

Перший вид даних, що, наприклад, відображає послідовність подій або станів без часових міток, задає темпоральні залежності лише в рамках одного набору даних. Така послідовність може відображати одну з можливих реалізацій управлінського рішення.

Другий вид темпоральних даних може бути використаний для порівняння та узагальнення декількох послідовностей управляючих дій із реалізації УР.

Наявність декількох темпоральних міток для даних третього типу дає можливість врахувати зовнішні впливи при фіксації цих даних і тим самим уточнити темпоральні залежності при вирішенні задачі поповнення бази знань.

Наприклад, дані про поточні властивості артефакту можуть містити мітку про момент виникнення останнього значення такого атрибуту та момент

запису інформації в базу даних. Порівняння цих значень дає можливість упорядкувати у часі стани об'єкту управління з урахуванням затримок при збереженні даних.

Наведені види темпоральних даних мають таку загальну властивість: як послідовність подій, так і зміна значень даних з урахуванням часу дають можливість задати відносну темпоральну упорядкованість станів ОУ.

Для відображення цієї упорядкованості можуть бути використані дві альтернативні шкали часу [164]:

- «минуле – теперішнє – майбутнє»;
- «раніше – пізніше».

При використанні першої шкали точкою відліку є поточний момент часу τ_j . Ця точка відліку переміщується по часовій шкалі. Стан ОУ, заданий як результат управляючої дій в майбутньому, з плином часу реалізується уже у поточний момент. Зберігання цього стану для підтримки управління також потребує часу, тому він фіксується у минулому. В тому випадку, якщо управляюча дія не була виконана та відповідний стан не досягнуто, то цей стан зникає зі шкали часу.

Така шкала дає можливість відобразити темпоральні дані для кожної i – альтернативи управлінського рішення у вигляді відповідної послідовності станів об'єкту управління у моменти часу $\langle \tau_{i,0}, \tau_{i,1}, \dots, \tau_{i,j}, \tau_{i,j+1}, \dots, \tau_{i,aim} \rangle$:

$$\Pi_i = \langle s_{i,0}, s_{i,1}, \dots, s_{i,j}, s_{i,j+1}, \dots, s_{i,aim} : (\forall j) \tau_{i,j} < \tau_{i,j+1} \rangle, \quad (2.15)$$

де $\Pi_i \in \Pi$ – послідовність станів, що виникає внаслідок реалізації управляючих дій в рамках однієї альтернативи управлінського рішення;

$s_{i,0}$ – початковий стан ОУ на момент початку першої управляючої дії, що відповідає послідовності Π_i ;

$s_{i,j}$ – поточний стан ОУ для послідовності Π_i ;

$s_{i,aim}$ – цільовий стан об'єкту управління.

В тому випадку, якщо необхідно враховувати абсолютні значення часу, то до опису кожного стану додається відповідний атрибут часу $\tau_{i,j}$:

$$s_{i,j} = \left\{ \left\{ (b_k, c_{k,l}) \right\}, \tau_{i,j} \right\}, \quad (2.16)$$

де $(b_k, c_{k,l})$ – пара атрибут-значення, що характеризує властивість стану s_j .

У момент τ_j настання стану s_j предикат Y_j стає істинним:

$$Y_j(\tau_j, b_1, \dots, b_k, \dots, b_K) = true \mid (\forall k) c_{k,l} \in C_{s_j}, \tau \geq \tau_j, \quad (2.17)$$

де τ – поточний момент часу у шкалі «минуле – теперішнє – майбутнє».

Таким чином, шкала «минуле – теперішнє – майбутнє» дає можливість описати вхідні темпоральні дані у вигляді упорядкованої послідовності станів з урахуванням підмножини властивостей артефактів. В даній шкалі можуть бути відображені декілька версій майбутнього шляхом представлення альтернативних послідовностей $\Pi = \{\Pi_i\}$ управляючих дій (або відповідних станів ОУ) у складі управлінського рішення. Очевидно, що мультिवаріантність УР дає можливість змінювати послідовність станів у разі виникнення нових зовнішніх впливів при реалізації управлінського рішення. Тому темпоральні знання для підтримки УР мають ймовірнісний характер, що потребує побудови їх логіко-ймовірнісного опису.

Шкала «раніше – пізніше» задає відносну упорядкованість станів, яка в подальшому не змінюється. Тобто інформація про стани має бути попередньо зафіксована в інформаційній системі з метою подальшого використання для автоматизованої побудови темпоральних знань. Дана шкала має властивості лінійності і впорядкованості і тому дає можливість представити темпоральні

знання в моделі T на основі упорядкованої послідовності станів об'єкту управління у часі:

$$T_i = \{ \Pi, R : \forall (s_{i,j}, s_{i,m}) \in \Pi_i \exists r_{i,m}^{i,j} \}, \quad (2.18)$$

де $\Pi = \{ \Pi_i \}$ – множина послідовностей станів ОУ;

$(s_{i,j}, s_{i,m})$ – довільна пара станів із послідовності Π_i ;

R – множина темпоральних залежностей;

$r_{i,m}^{i,j} \in R$ – темпоральна залежність між станами $s_{i,j}$ та $s_{i,m}$ на послідовності Π_i , причому $\tau_{i,j} < \tau_{i,m}$, тобто ОУ переходить у стан $s_{i,j}$ раніше, ніж у стан $s_{i,m}$.

Наведена деталізація об'єктного та темпорального аспектів УР дає можливість, з урахуванням класичного підходу до підтримки знань щодо часу [165]–[167], сформулювати вимоги до представлення управлінського рішення на основі темпоральних залежностей між станами ОУ та управляючими діями:

- відносне представлення часу;
- логіко-ймовірнісне представлення залежностей між управляючими діями (або станами ОУ) у часі;
- відображення змін стану ОУ з використанням шкали шкала «минуле – теперішнє – майбутнє».

Відносне представлення часу дає можливість об'єднати темпоральні залежності із альтернативних послідовностей управляючих дій. Ключова перевага використання темпоральних знань з відносним представленням часу полягає у можливості задати контекстно-орієнтовану послідовність управляючих дій та відповідну послідовність станів об'єкту управління без детального опису предметно-орієнтованих залежностей, що визначають процеси на цьому ОУ.

Логіко-ймовірнісне представлення темпоральних залежностей забезпечує можливість відобразити невизначеність у порядку управляючих

дій у часі при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач. Така невизначеність обумовлюється з одного боку неповнотою інформації про поточний стан ОУ та зовнішні впливи, а з іншого – неповнотою формальних знань про причинно-наслідкові зв'язки між управляючими діями у складі управлінського рішення. Остання пов'язана із використанням персональних знань та досвіду ОПР, а також безпосередніх виконавців. Традиційно такі неявні знання виявляються комунікативними методами отримання знань та використовуються в БЗ СППР. Однак отримання цих причинно-наслідкових залежностей є вельми трудомістким. Це ускладнює підтримку управлінських рішень на сучасних інноваційних підприємствах, що характеризуються постійним удосконаленням та зміною інформаційних технологій, що використовуються у діяльності таких підприємств (наприклад, технологій розробки та поставки програмного забезпечення інформаційних систем).

Зміни стану ОУ у реальному часі фіксуються при виявленні змін у відповідних значеннях властивостей артефактів. Такий підхід дає можливість враховувати стан окремих елементів та підмножин елементів (наприклад, інфраструктури, обладнання, підрозділів) в рамках одного ієрархічно організованого об'єкту управління.

Розглянуті особливості та вимоги щодо представлення управлінського рішення на основі темпоральних залежностей обумовлюють наступну постановку задачі автоматизованого управління темпоральною базою знань для підтримки управлінських рішень. Дана задача, з урахуванням виконаної в першому розділі структуризації процесу прийняття управлінського рішення, передбачає вирішення таких підзадач:

- побудова й поповнення темпоральної бази знань з урахуванням змін стану об'єкту управління;
- виявлення аномальних станів ОУ, що свідчать про наявність проблемної ситуації у процесі управління;

– побудова множини альтернативних варіантів управлінського рішення на основі виводу на темпоральних знаннях.

При вирішенні даної задачі використовуються такі вхідні дані.

По-перше, в якості вхідних даних для підзадачі побудови та поповнення темпоральної бази знань використовується множина відомих послідовностей станів $\Pi = \{\Pi_i\}$ об'єкту управління. Кожна з послідовностей $\Pi_i = \langle s_{i,o}, s_{i,1}, s_{i,2}, \dots, s_{i,j}, \dots, s_{i,m}, \dots, s_{i,aim} \rangle$ отримана в результаті успішної реалізації попередніх управлінських рішень при вирішенні аналогічних частково структурованих та неструктурованих задач. Додатково можуть бути використані дані щодо послідовностей управляючих дій при вирішенні структурованих задач. Кожна вхідна послідовність Π_i містить початкові $s_{i,o}$ та цільові $s_{i,aim}$ стани об'єкту управління. Ці стани характеризують відповідність послідовності Π_i задачі, що потребує підтримки управлінських рішень. Відбір послідовностей Π_i за станами $s_{i,o}$ та $s_{i,aim}$ дає можливість сформулювати темпоральні знання під вирішення конкретної задачі. Послідовність станів Π_i згідно (2.10) трансформується в послідовність управляючих дій шляхом врахування відповідного атрибуту d_j у описі стану.

По-друге, в якості вхідних даних для виявлення аномальних станів ОУ та формування альтернатив управлінського рішень у підзадачі підтримки управлінських рішень використовується поточна послідовність станів $\Pi_{current}$, що завершується поточним станом $s_{current,current}$.

Загальну схему підтримки прийняття управлінського рішення на основі автоматизованого управління темпоральною базою знань представлено на рис. 2.1.

Підзадачі автоматизованого управління темпоральною базою знань мають такі відмінності:

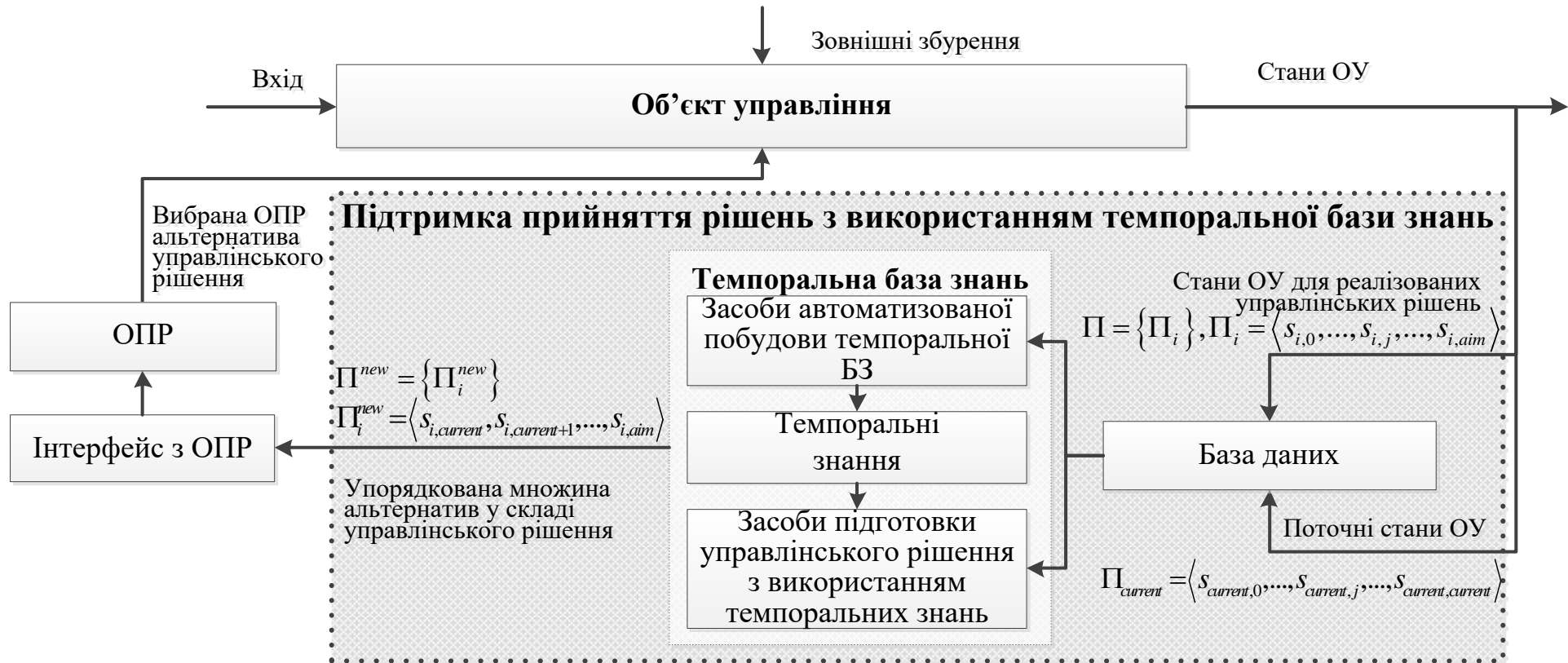


Рисунок 2.1 – Контур підтримки прийняття управлінського рішення на основі автоматизованого управління темпоральною базою знань

– побудова темпоральної бази знань полягає у формуванні множини темпоральних залежностей $R = \{r_m^j\}$ на основі інформації щодо реалізацій $r_{i,m}^{i,j}$ цих залежностей на хоча б одній із відомих послідовностей станів Π_i , що забезпечили досягнення цільового стану.

– виявлення аномального стану ОУ на поточній послідовності $\Pi_{current}$ виконується з урахуванням логіко-ймовірнісного представлення темпоральних знань на основі ймовірнісної оцінки темпоральних залежностей, що описують послідовність досягнення поточного стану $s_{current,current} \in \Pi_{current}$, тобто на основі оцінки ймовірності реалізації кон'юнкції темпоральних правил $P(r_{current,2}^{current,1} \wedge \dots \wedge r_{current,current}^{current,-1})$;

Формальна постановка задачі автоматизованого управління темпоральною базою знань має вигляд:

Дано:

$$1) \Pi = \{\Pi_i\},$$

$$\Pi_i = \langle s_{i,0}, s_{i,1}, \dots, s_{i,j}, s_{i,j+1}, \dots, s_{i,m}, \dots, s_{i,aim} \rangle, (\forall i) \tau_{i,j} < \tau_{i,j+1},$$

$$2) \Pi_{current} = \langle s_{current,0}, \dots, s_{current,j}, \dots, s_{current,m}, \dots, s_{current,current} \rangle,$$

$$\tau_{current,current} < \tau_{current,aim}.$$

Знайти

(2.19)

$$R = \{r_m^j\}:$$

$$1) (\forall j \forall m) \text{dom } r_m^j = \Pi \bigcup \Pi_{current},$$

$$(\forall \Pi_i) \exists (r_{i,1}^{i,0} \vee \dots \vee r_{i,m}^{i,j} \vee \dots \vee r_{i,aim}^{i,aim-1}),$$

$$(\forall \Pi_{current}) \exists (r_{current,1}^{current,0} \vee \dots \vee r_{current,m}^{current,j} \vee \dots \vee r_{current,current}^{current,current-1}),$$

$$2) \Pi^{new} = \langle \Pi_1^{new}, \dots, \Pi_i^{new}, \dots, \Pi_{|\Pi^{new}|}^{new} : (\forall i) P(\Pi_i^{new}) > P(\Pi_{i+1}^{new}) \rangle:$$

$$(\forall \Pi_i^{new} = \langle s_{i,current}, s_{i,current+1}, \dots, s_{i,aim} \rangle) : \exists R_i^{new} \subseteq R.$$

де Π_i – упорядкована послідовність станів ОУ, що відповідає виконаній при реалізації управлінського рішення послідовності управляючих дій;

$s_{i,j}$ – стан об'єкту управління із послідовності Π_i ;

$\Pi_{current}$ – поточна послідовність управляючих дій, що завершується поточним станом об'єкту управління;

$\tau_{i,j}, \tau_{i,j+1}$ – моменти виникнення станів $s_{i,j}, s_{i,j+1}$;

$s_{current,current}$ – поточний стан ОУ, в якому вирішуються задачі підтримки управлінського рішення;

$\tau_{current,current}, \tau_{current,aim}$ – моменти виникнення станів $s_{current,current}, s_{current,aim}$.

R – множина темпоральних правил;

r_m^j – темпоральне правило, що задає послідовність у часі станів s_j та s_m на одній або декількох послідовностях Π_i ;

$r_{i,2}^{i,1}, r_{i,m}^{i,j}, r_{i,aim}^{i,aim-1}$ – реалізації темпоральних правил на послідовності Π_i ;

$r_{current,2}^{current,1}, r_{current,m}^{current,j}, r_{current,current}^{current,current-1}$ – реалізації темпоральних правил на поточній послідовності $\Pi_{current}$;

Π_i^{new} – нова послідовність станів, створена в результаті виводу на темпоральних знаннях;

R_i^{new} – темпоральні знання, що визначають послідовність Π_i^{new} ;

$P(\Pi_i^{new})$ – оцінка рішення, представленого Π_i^{new} .

Наведені особливості задачі автоматизованого управління темпоральною базою знань у постановці (2.19) обумовлюють нові можливості знання-орієнтованої підтримки управлінських рішень.

По-перше, виявлення аномального стану об'єкту управління при підтримці управлінського рішення може бути виконано не традиційно, на основі аналізу атрибутів поточного стану, а шляхом порівняння ймовірності використання темпоральних знань, що описують поточну та вже відомі успішні реалізації послідовностей управляючих дій.

По-друге, для формування множини альтернативних послідовностей станів ОУ, які відповідають альтернативним послідовностям управляючих дій із досягнення цільового стану об'єкту управління, можуть бути використані темпоральні залежності, що були отримані із відомих успішних реалізацій УР, з подальшим їх упорядкування на основі ймовірнісного показника.

Реалізація задачі автоматизованого управління темпоральною базою знань для підтримки управлінських рішень потребує розробки знання-орієнтованої темпоральної моделі такого рішення.

2.2 Розробка моделі багатоваріантного управлінського рішення з використанням темпоральних знань

При вирішенні неструктурованих та частково структурованих задач в процесі управління для одного й того ж ОУ може бути послідовно або паралельно у часі реалізовано декілька управлінських рішень. Як було показано у першому розділі, всі ці рішення традиційно забезпечуються підтримкою з використанням DSS та EIS на основі знань про об'єкт управління (підхід на основі використання моделі ОУ) або про процес управління (підхід на основі використання бази знань).

Також частина рішень з управління, що використовують структуровану інформацію та формальні знання, реалізується за підтримкою інформаційно-управляючих систем (MIS).

Поєднання вказаних послідовностей управляючих дій забезпечує умови для інтеграції знань щодо об'єкту та процесу управління шляхом формування багатоваріантного управлінського рішення, що має декілька реалізацій у вигляді послідовностей управлінських дій (рис. 2.2). Представлення такого рішення має вигляд направленої графу з початковою та кінцевою вершинами, що відповідають початковому та цільовому стану об'єкту управління відповідно.

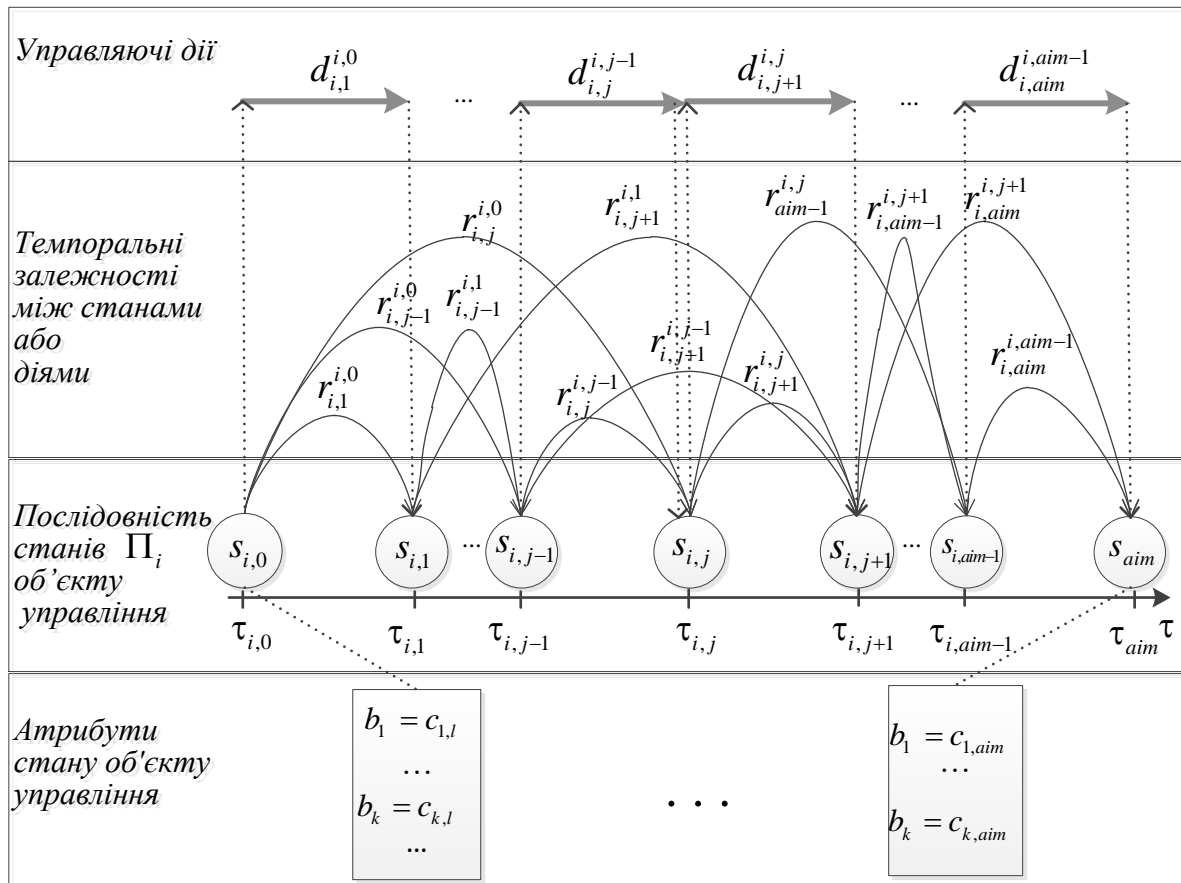


Рисунок 2.2 – Темпорально-орієнтована структура багатоваріантного управлінського рішення

По-перше, структурно багатоваріантне рішення охоплює множину альтернативних послідовностей управляючих дій у часі або відповідних послідовностей станів об'єкту управління, а також темпоральні залежності, що визначають реалізацію кожну із зазначених послідовностей. Такі залежності враховують, в тому числі, контекст виконання управляючих дій.

По-друге, контекст виконання управляючих дій у багатоваріантному УР задається через множину станів об'єкту управління, включаючи початковий та цільовий стани. Кожен із станів характеризується множиною властивостей, що задаються атрибутами типових об'єктів (артефактів) у складі об'єкту управління. Підмножина значень цих властивостей визначає контекстна-залежні умови виконання відповідної управляючої дії, що входить до складу

управлінського рішення. Всі альтернативи в рамках управлінського рішення забезпечують перехід від початкового до цільового стану об'єкту управління.

По-третє, множина послідовностей переходів станів об'єкту управління задається у вигляді множини темпоральних залежностей між цими станами, або між управлінськими діями, кожна з яких привела до відповідного стану. Також темпоральні залежності можуть задавати контекстні зв'язки між станами та управлінськими діями. Темпоральні залежності визначають упорядкованість станів об'єкту управління у часі. Відповідно, кожен із альтернативних варіантів управлінського рішення визначається множиною темпоральних залежностей.

По-четверте, кожен перехід між станами ОУ, заданий в багатоваріантному УР у вигляді темпоральної залежності, відображає виконання однієї управлінської дії в рамках одного або декількох альтернативних управлінських рішень.

У-п'ятих, темпоральні залежності між станами об'єкту управління повинні мати числову оцінку, яка характеризує ефективність відповідної управляючої дії у складі управлінського рішення. Така оцінка дає можливість порівняти альтернативні варіанти управлінського рішення, до складу якого входять вказані залежності. Тобто інтегральна числова оцінка множини темпоральних залежностей, що визначають один із альтернативних варіантів управлінського рішення, дає можливість оцінити, наприклад ризик переходу від поточного стану до цільового для вибраного рішення.

По-шосте, темпоральне представлення багатоваріантного управлінського рішення не використовує, а лише відображає семантику для альтернативних послідовностей дій.

Розроблена з урахуванням проведеної структуризації модель багатоваріантного управлінського рішення \mathcal{M} має наступний вигляд:

$$\mathcal{M} = \{S, \Pi, R, G\}, \quad (2.20)$$

де S – кінцева множина станів об'єкту управління;

$\Pi \subset S^J$ – множина можливих послідовностей переходів між станами (апріорно визначених або відомих із реалізованих альтернатив управлінського рішення);

R – множина темпоральних правил, що визначають можливі переходи між станами для альтернативних варіантів управлінського рішення;

G – функція оцінки темпоральних правил, що визначає їх ваги для заданих переходів між станами із S .

Множина станів об'єкту управління складається з початкового, кінцевого та проміжних станів:

$$S = \left\{ s_0, \left\{ s_j : j = \overline{1, aim-1} \right\}, s_{aim} \right\}, \quad (2.21)$$

s_0 – початковий стан об'єкту управління, що відповідає проблемній ситуації;

s_{aim} – цільовий стан об'єкту управління;

s_j – проміжний стан об'єкту управління.

Початковий стан характеризує поточну проблемну ситуацію, в якій необхідно прийняти управлінське рішення. Перехід об'єкту управління до цільового стану свідчить про повну реалізацію управлінського рішення. Тому початковий та цільовий стан об'єкту управління є ідентичними для всіх переходів між станами $\Pi_i \in \Pi$, що належать до альтернативних реалізацій управлінського рішення.

Кожна послідовність Π_i станів об'єкту управління визначається множиною реалізованих на практиці послідовностей управляючих дій:

$$D_i = \left\langle d_{i,1}^{i,0}, \dots, d_{i,j+1}^{i,j}, \dots, d_{i,aim}^{i,aim-1} \right\rangle, \quad (2.22)$$

де $d_{i,j+1}^{i,j}$ – управляюча дія у складі i – реалізації управлінського рішення, що привела до переходу від стану $s_{i,j}$ до стану $s_{i,j+1}$.

Як видно із рис. 2.2, послідовність дій (2.22) формує послідовність станів $\Pi_i = \langle s_{i,0}, s_{i,1}, \dots, s_{i,j}, \dots, s_{i,aim} \rangle$ у вигляді направленого графу із такими властивостями:

$$\begin{aligned} (\forall i) deg^+(s_{i,0}) &= deg^-(s_{i,aim}) = 0, \\ (\forall i \forall j: 0 < j < aim) deg^+(s_{i,j}) &= deg^-(s_{i,j}) = 1. \end{aligned} \quad (2.23)$$

Сукупність відомих послідовностей управлінських рішень задає направлений ациклічний граф зі входом s_0 та виходом s_{aim} . Відповідно, вершина s_0 не має вхідних дуг, а вершина s_{aim} – вихідних, тобто напівступінь заходу $deg^+(s_0)$ та напівступінь виходу $deg^-(s_{aim})$ дорівнюють нулю.

Окремі стани у різних Π_i можуть співпадати, тобто:

$$(\exists i, p, j, m): s_{i,j} \equiv s_{p,m}, s_{i,j} \in \Pi_i, s_{p,m} \in \Pi_p, \quad (2.24)$$

де $s_{i,j}, s_{p,m}$ – однакові стани із різних послідовностей станів ОУ.

Тому переходи у часі між станами $s_{i,j}$ та $s_{i,m}$ можуть бути реалізовані як для декількох послідовностей Π_i станів ОУ

$$\exists i: \langle s_{i,j}, s_{i,m} \rangle \in \Pi_i, \quad (2.25)$$

так і для всіх послідовностей станів:

$$\forall i: \langle s_{i,j}, s_{i,m} \rangle \in \Pi_i. \quad (2.26)$$

Вирази (2.24) – (2.26) свідчать про можливість визначення темпоральних знань на основі виділення темпоральних відношень між парами станів ОУ.

Такі темпоральні знання визначають можливі та обов'язкові упорядковані у часі пари станів із послідовностей Π_i . Обов'язкові пари станів (2.26) виступають в ролі обмежень. Якщо такі пари були реалізовані для всіх відомих послідовностей Π_i , то вони обов'язково мають бути у нових послідовностях Π_i^{new} , що формуються на основі темпоральних знань при вирішенні задач підтримки управлінського рішення.

Темпоральні знання, які визначають послідовності (2.25) визначають ймовірність реалізації нових альтернативних варіантів управлінського рішення. Ймовірність кожного альтернативного варіанту УР $\Pi' \subseteq \Pi$ обчислюється традиційно:

$$P(\Pi') = \frac{|\Pi'|}{|\Pi|}, \quad (2.27)$$

де Π' – множина реалізованих альтернатив управлінського рішення із однакових послідовностей станів.

Таким чином, кожний варіант реалізації управлінського рішення може бути представлений множиною темпоральних правил. Ці правила формуються шляхом виділення темпоральних залежностей між парами станів на відомих послідовностях виконання управляючих дій Π_i .

Підмножина темпоральних залежностей, що містять знання про реалізацію Π_i управлінського рішення, пов'язує всі можливі пари станів у складі цієї послідовності (рис. 2.2):

$$R_i = \left\{ r_{i,1}^{i,0}, \dots, r_{i,j}^{i,0}, \dots, r_{i,m}^{i,0}, \dots, r_{i,aim}^{i,0}, \dots, r_{i,j+1}^{i,j}, \dots, r_{i,m}^{i,j}, \dots, r_{i,aim}^{i,j}, \dots, r_{i,m}^{i,m-1}, \dots, r_{i,aim}^{i,m}, \dots, r_{i,aim}^{i,m} : (\forall i \forall j) \tau_{i,j} < \tau_{i,j+1} \right\}. \quad (2.28)$$

Зазначимо, що правила виду $r_{i,j}^0$ задають темпоральний зв'язок між початковим станом та всіма іншими станами ОУ. Даний зв'язок задає можливість виникнення стану $s_{i,j}$ після початкового стану. Правила $r_{i,m}^{i,j}$ визначають таку темпоральну залежність між довільними станами $s_{i,j}$ та $s_{i,m}$ для реалізації Π_i управлінського рішення, коли стан $s_{i,m}$ завжди виникає після стану $s_{i,j}$.

Аналогічно, правила виду $r_{aim}^{i,m}$ визначають всі попередні стани для цільового стану об'єкту управління s_{aim} . Тобто для реалізованих управлінських рішень Π_i правила $r_{i,m}^{i,j}$ описують темпоральну упорядкованість переходів між парами станів $\pi_{i,m}^{i,j}$ з урахуванням особливостей початкового s_0 та цільового s_{aim} станів:

$$\left(\forall r_m^j \in R_i \forall j \neq aim, m \neq 0 \exists r_{i,m}^{i,j} \right) \tau_0 < \tau_{i,j} < \tau_{i,m} < \tau_{aim}, \quad (2.29)$$

де $\tau_{i,j} < \tau_{i,m}$ дискретні моменти часу виникнення станів s_j та s_m для реалізацій Π_i .

Таким чином, кожне темпоральне правило виду $r_{i,m}^{i,j}$ є реалізацією більш загального правила r_m^j на послідовності Π_i . Кожне правило r_m^j може бути реалізовано на всіх або на підмножині послідовностей Π_i . Важливість темпоральних правил визначається їх вагою. Для оцінки цієї ваги необхідно враховувати особливості підтримки управлінських рішень з використанням бази знань.

Згідно (2.27), при визначенні ваги правил необхідно враховувати як кількість правил, що реалізовані у відомих послідовностях станів об'єкту управління, так і кількість цих послідовностей. Набір ймовірностей реалізації для всіх альтернатив Π_i може бути використаний для визначення важливості

(наприклад, ваги) темпоральних залежностей. Такі ваги відображають загальність темпоральних знань при вирішенні задачі підтримки управлінських рішень. Тоді ймовірність успішної реалізації кожного нового рішення може бути визначена через ваги темпоральних залежностей. В результаті, використання ймовірнісного аспекту темпоральних знань дозволяє прогнозувати можливість реалізації кожної альтернативи управлінського рішення.

Функція G оцінки ваг $w_m^j \in W$ темпоральних знань $r_m^j \in R$ враховує зв'язок між правилами та послідовностями станів ОУ, що відповідають альтернативним варіантам управлінського рішення:

$$G : \Pi \times R \rightarrow W. \quad (2.30)$$

де $W = \{w_m^j\}$ – ваги темпоральних правил $r_m^j \in R$.

Тобто оцінка G темпоральних правил дає можливість кожній послідовності Π_i поставити у відповідність сумарну вагу W_i темпоральних правил, що описують цю послідовність.

Вага w_m^j кожного темпорального правила r_m^j визначається з урахуванням (2.27) та (2.29), тобто залежить від частоти його використання у відомих послідовностях станів об'єкту управління. Тоді ймовірність i – реалізації управлінського рішення залежить від сумарної ваги темпоральних правил, що описують вказане рішення:

$$W_i = \sum_{\substack{j,m: \\ \exists r_m^j \in R_i}} w_m^j, \quad (2.31)$$

де R_i – підмножина темпоральних правил, що містять знання про реалізацію Π_i управлінського рішення;

$r_{i,m}^{i,j}$ – реалізація правила r_m^j на послідовності Π_i .

Оцінка темпоральних правил, а також послідовностей управляючих дій, що описані цими правилами, має ймовірнісний характер, що дає можливість упорядкувати альтернативи за одним критерієм при підтримці управлінських рішень.

Тому вибір однієї з альтернативних реалізацій багатоваріантного управлінського рішення має базуватись на порівнянні сумарної ймовірнісної оцінки правил для такого рішення. Іншими словами, в рамках запропонованої моделі багатоваріантного управлінського рішення сумарна вага правил для кожної з альтернатив дає можливість порівняти ці альтернативи.

Наприклад, правило r_m^j , що визначає порядок у часі для пари станів $(s_{i,j}, s_{i,m})$ у складі ймовірної альтернативи управлінського рішення Π_i^{new} , є істинним в моделі багатоваріантного управлінського рішення \mathcal{M} тільки в тому випадку, якщо воно було реалізовано хоча б на одній послідовності Π_i . У такому випадку правило r_m^j має відмінну від нуля вагу w_m^j :

$$\mathcal{M}, \Pi_i^{new} | = r_m^j \text{ iff } = w_m^j > 0. \quad (2.32)$$

Згідно (2.31) та (2.32), можливість реалізації альтернативи Π_i^{new} у складі багатоваріантного управлінського рішення визначається на основі знання-орієнтованої оцінки цієї альтернативи:

$$\mathcal{M} | = \Pi_i^{new} \text{ iff } W_i^{new} > 0, \quad (2.33)$$

де W_i^{new} – сумарна вага темпоральних правил для Π_i^{new} .

Тоді вирішення задачі підтримки управлінських рішень на основі використання темпоральної бази потребує формування множини нових

альтернатив $\Pi^{new} = \{\Pi_i^{new}\}$ на основі відомих темпоральних правил. Умова реалізації всіх альтернатив Π^{new} у складі управлінського рішення з урахуванням ваг темпоральних знань має такий вигляд:

$$\mathcal{M} | = \Pi^{new} \left| (\forall i) W_i^{new} > 0, s_{i,0} \equiv s_0, s_{i,aim} \equiv s_{aim}, \right. \quad (2.34)$$

де s_0 – єдиний початковий стан для всіх альтернативних варіантів управлінського рішення;

s_{aim} – єдиний цільовий стан для всіх альтернативних варіантів управлінського рішення.

Запропонована модель представляє багатоваріантне управлінське рішення у вигляді процесу, який містить у своїй структурі знання для вибору одного із альтернативних варіантів управляючих дій. Процес із такими характеристиками зазвичай розглядають як знання-ємний (knowledge intensive).

Вибір одного із альтернативних варіантів реалізації цього процесу виконується на основі інформації про стан контексту та персональних знань особи, що приймає рішення. Реалізований варіант управлінського рішення розглядається як екземпляр знання-ємного процесу.

Таким чином, запропонована модель дає можливість врахувати неявні знання ОПР і, на цій основі, забезпечити підтримку прийняття рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач.

Запропонована ймовірнісна оцінка альтернативних варіантів реалізації УР визначає ризики його імплементації, що відповідає класичним характеристикам процесу прийняття управлінських рішень, які були розглянуті в підрозділі 1.1.

Багатоваріантне управлінське рішення, як спеціалізований знання-ємний процес, може бути представлено у вигляді орієнтованого графу,

вершини якого відповідають станам об'єкту управління, а дуги – управлінським діям, що забезпечують перехід між цими станами.

Граф має початкову вершину, від якої лише відходять дуги та яка відповідає початковому проблемному стану, а також одну кінцеву вершину, до якої сходяться дуги, та яка відповідає цільовому стану ОУ. Кожна реалізація управлінського рішення становить собою шлях по графу від початкового до кінцевого стану. Темпоральні залежності задають як окремі дуги, так і послідовність цих дуг. Приклад такого графу наведено на рис. 2.3.

Кожна послідовність, що забезпечує перехід від початкового до цільового стану, є однією із альтернатив у складі управлінського рішення.

Подвійна індексація станів застосована для визначення поточного номеру екземпляру рішення. Наприклад, $s_{2,1}$ – перший стан другого варіанту рішення.

Початковий s_0 та кінцевий s_{aim} стани об'єкту управління належать до всіх варіантів, тому подвійна індексація для цих станів не застосовується. На шкалі часу показані відносні моменти виникнення цих станів при реалізації відповідних альтернатив. Так, стан $s_{1,1}$ виникає в момент часу $\tau_{1,1}$, стан $s_{2,1}$ – в момент часу $\tau_{2,1}$ і т.п.

Представлене на рис. 2.3 багатоваріантне управлінське рішення має три альтернативних реалізації, в яких співпадає ряд станів, наприклад $s_{2,1} \equiv s_{3,1}$, $s_{1,L} \equiv s_{2,M}$. Знання про кожну з реалізацій задаються темпоральними правилами.

Наприклад, альтернативу $\Pi_1 = \langle s_0, s_{1,1}, \dots, s_{1,L-1}, s_{1,L}, s_{aim} \rangle$ описують такі правила: $R_1 = \{r_{1,1}^0, \dots, r_{1,L-1}^0, r_{1,L}^0, \dots, r_{1,2}^{1,1}, r_{1,L-1}^{1,L-2}, \dots\}$.

Ряд правил є ідентичними для декількох альтернатив, наприклад такі правила: $r_{2,1}^0 \equiv r_{3,1}^0$, $r_{aim}^{1,L} \equiv r_{aim}^{2,M}$.

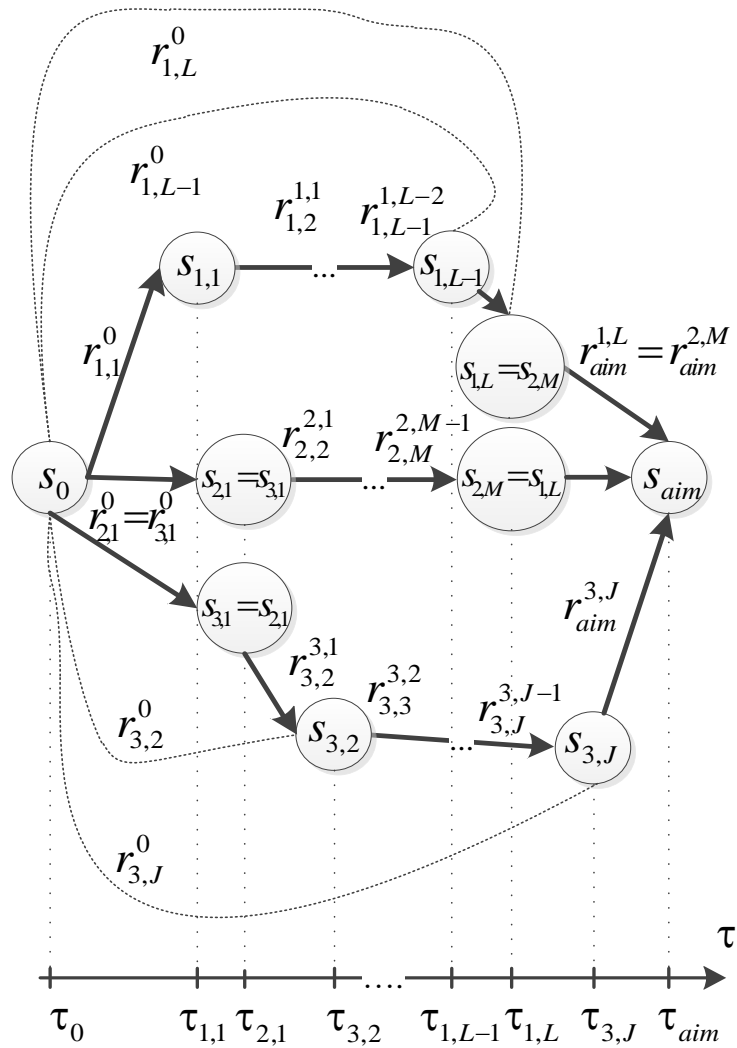


Рисунок 2.3 – Представлення багатоваріантного управлінського рішення у вигляді направлено ациклічного графу

Таким чином, запропонована модель багатоваріантного управлінського рішення дає можливість представити це рішення у вигляді знання-ємного процесу.

Темпоральні знання про цей процес можуть бути отримані в рамках автоматизованого управління БЗ, що потребує розробки концептуального підходу до такого управління.

2.3 Розробка концептуального підходу до автоматизованого управління темпоральною базою знань для підтримки прийняття управлінських рішень

Розроблений в даному підрозділі концептуальний підхід до автоматизованого управління темпоральною базою знань базується на використанні об'єктних та темпоральних властивостей ієрархії задач організаційного управління.

Об'єктні властивості структурованих та частково структурованих задач визначають такі особливості формування темпоральних знань.

По-перше, в результаті вирішення задач організаційного управління на оперативному та тактичному рівнях в базі даних підприємства фіксується інформація про об'єкт управління та його складові:

- відомі стани об'єкту управління (або його складових), що виникали при реалізації структурованих або частково структурованих задач;
- час виникнення відомих станів ОУ;
- управляючі дії, що привели до виникнення зафіксованих станів об'єкту управління.

Стан об'єкту управління в цілому задається через стани множини артефактів, що входять до його складу. Стани кожної складової ОУ визначаються як сукупність виділених властивостей підмножини артефактів, що входить до цієї складової. Інформація про стани з темпоральними мітками дозволяє виділити їх послідовність у часі, пов'язану, наприклад із виробництвом групи товарів або наданням комплексу послуг.

Таким чином, розглянута інформація з темпоральними мітками відображає множину послідовностей реалізації всіх структурованих та частково структурованих задач, що були вирішені в рамках організаційного управління.

По-друге, упорядкована у часі інформація щодо послідовності станів містить темпоральні залежності і тому може бути використана для виявлення

зважених темпоральних правил. Останні представляють знання щодо реалізації типових послідовностей дій з управління в рамках успішної реалізації управлінських рішень. Темпоральні правила визначають такі залежності у часі, що є спільними для підмножини альтернативних варіантів реалізації як частково структурованих, так і неструктурованих задач.

По-третє, отримані темпоральні правила можуть враховувати рівень організаційної ієрархії, тобто бути узагальненими або деталізованими. Формування узагальнених/деталізованих правил виконується шляхом виділення відповідних підмножин артефактів та властивостей цих артефактів. Формування ієрархічно упорядкованих правил із різною деталізацією дає можливість не тільки забезпечити можливість підтримки прийняття рішень на різних рівнях організаційної ієрархії.

Темпоральний аспект побудови бази знань відображає відомі властивості часу: спрямованість; лінійність; безперервність; нескінченність; однорідність [168]–[170], [196]. Розглянемо детальніше особливості використання цих властивостей при вирішенні автоматизованого управління темпоральною базою знань.

Властивість спрямованості відображає перебіг процесів з минулого в майбутнє, що дає можливість задати упорядкованість станів ОУ у часі за допомогою темпоральних залежностей.

Лінійність часу зазвичай відображається лінійним порядком на множині дискретних моментів часу. Дана властивість обумовлює використання темпоральних операторів, що визначають лінійний порядок станів у часі.

Властивість безперервності свідчить про можливість нескінченного збільшення масштабу часу. Іншими словами, між двома поточними станами ОУ завжди може бути зафіксований ще один проміжний стан. Дана властивість дає можливість реалізувати ієрархічне представлення темпоральних знань з різною грануляцією часу для різних рівнів організаційної ієрархії.

Властивість нескінченості означає, що час можна нескінченно продовжувати в напрямку майбутнього. Темпоральні залежності мають задавати послідовність з довільної кількості станів с тим, щоб забезпечити досягнення цільового стану при реалізації управлінського рішення. Дана властивість забезпечує можливість використання темпоральних залежностей для побудови нової послідовності управляючих дій (або послідовності станів ОУ, що виникає в результаті реалізації вказаних управляючих дій) у складі управлінського рішення на основі темпоральних залежностей між відомими станами об'єкту управління.

Властивість однорідності часу означає, що будь-яку послідовність станів можна перенести за шкалою часу з минулого в майбутнє і навпаки, при цьому послідовність станів не зміниться. Дана властивість забезпечує можливість побудови темпоральних знань без прив'язки до абсолютних моментів часу, що дає можливість здійснити перехід від послідовності станів у шкалі «минуле – теперішнє – майбутнє» до темпоральних залежностей між станами у шкалі «раніше – пізніше».

У підсумку слід зазначити, що семантика темпоральних залежностей враховує об'єктну складову управлінського рішення і виражається через зв'язки між артефактами та їх властивостями. При цьому шкали часу для різних об'єктів, що відповідають різним рівням організаційної ієрархії, можуть відрізнятися. Наприклад, зміна станів на рівні керівництва підприємства відбувається в результаті ланцюжка дій на рівні виконавців. Відповідно, оцінка часу для цих рівнів ієрархії буде відрізнятись.

Розглянуті властивості часу, зокрема властивості спрямованості та лінійності, обумовлюють можливість побудови темпоральних залежностей шляхом інтеграції послідовностей станів із різних лінійних потоків часу. Кожний такий потік містить лінійну послідовність станів Π_i . Потоки можуть протікати як паралельно, так і послідовно у часі. Однак в силу властивості

однорідності часу в обох випадках залежності з цих потоків можуть бути поєднані.

Приклад виділення темпоральних залежностей на основі поєднання станів із альтернативних потоків часу, а також використання отриманих залежностей шляхом переходу по двом альтернативним реалізаціям УР наведено на рис. 2.4.

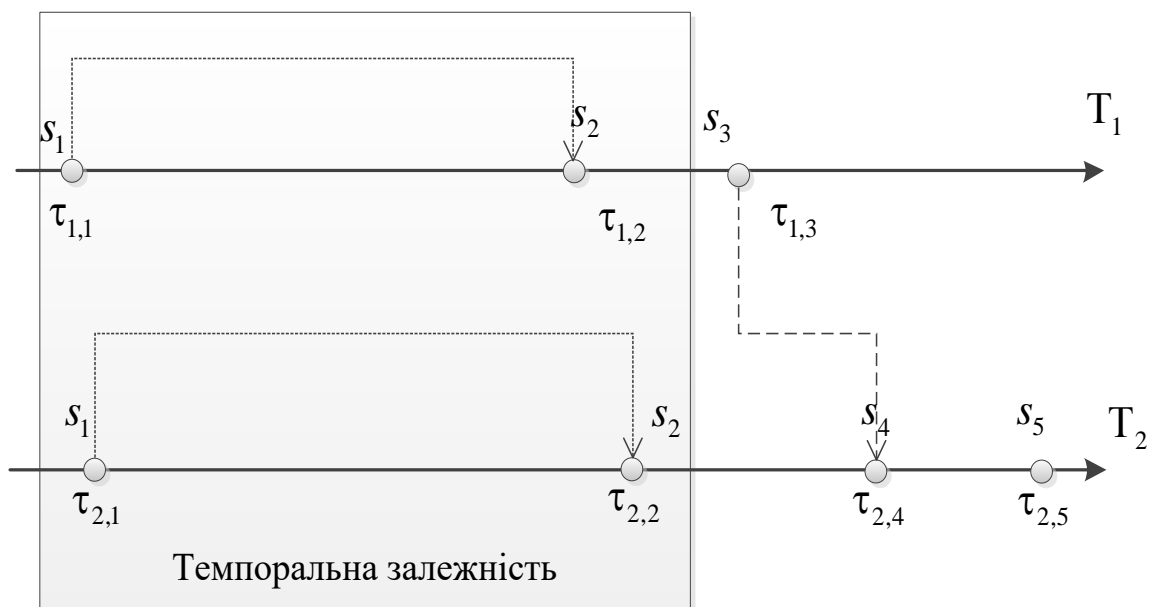


Рисунок 2.4 – Поєднання потоків часу T_1 , T_2 при формуванні темпоральних залежностей на прикладі пари станів $\langle s_1, s_2 \rangle$

У даному прикладі темпоральні залежності формуються на основі порівняння послідовностей станів у двох потоках часу: T_1 , T_2 . Кожен з потоків має властивість лінійності, тобто не містить альтернативних версій майбутнього. Кожна послідовність станів у часі відображає один із варіантів вирішення задачі управління.

Ці альтернативні варіанти реалізуються у різний час, наприклад, у різні дні. Однак для наведених варіантів реалізації на різних часових інтервалах існують схожі закономірності у послідовності станів. Так, стан s_2 у обох

альтернативах завжди виникає після стану s_1 . Відповідно, упорядкована пара станів $\langle s_1, s_2 \rangle$ визначає темпоральну залежність, що є характерною для обох наведених варіантів реалізації управлінського рішення.

Отримане з використанням темпоральних залежностей управлінське рішення також може бути представлено множиною послідовностей станів у альтернативних потоках часу. Перехід від однієї лінійної альтернативи до іншої відбувається в залежності від поточного стану об'єкту управління. Зокрема, перехід від стану s_3 до стану s_4 означає перехід до іншої лінії часу. Тобто згідно типової послідовності управляючих дій були реалізовані стани $\langle s_1, s_2, s_3 \rangle$. Однак в подальшому були виконані додаткові дії, що відображені станами $\langle s_4, s_5 \rangle$. Наприклад, після типових операцій діагностування, ремонту, обрахунку вартості послуги, яким відповідають стани $\langle s_1, s_2, s_3 \rangle$, була виявлена потреба у кур'єрській доставці. Тому додатково були виконані операції з розрахунку вартості з доставкою та безпосередньо доставки відремонтованого товару споживачеві, яким відповідають стани $\langle s_4, s_5 \rangle$.

Розглянуті властивості часу свідчать про можливість, в рамках запропонованої моделі, переходу у процесі управління між альтернативами управлінського рішення.

Розроблений концептуальний підхід інтегрує запропоновані принципи автоматизованого управління темпоральною базою знань для підтримки прийняття рішень. Такі принципи передбачають:

- автоматизовану побудову темпоральних знань щодо процесу управління на основі виділення типових послідовностей станів ОУ;
- автоматизовану побудову темпоральних залежностей щодо окремих управляючих дій на основі визначення властивостей станів ОУ;
- інтеграцію темпоральних залежностей за ознакою належності до відповідного рівня організаційної ієрархії підприємства;

– еволюційну побудову темпоральної бази знань по мірі появи нових станів об'єкту управління;

– підтримку управлінських рішень шляхом формування послідовності від поточного до цільового стану ОУ на основі ймовірнісного виводу в темпоральній базі знань.

Принцип автоматизованої побудови темпоральних знань, що описують процес управління на основі виділення типових послідовностей станів ОУ, направлений на виявлення темпоральних правил, що визначають послідовність досягнення цільового стану об'єкту управління.

Послідовність станів ОУ (2.15) згідно властивостей часу спрямованості, лінійності та безперервності є строго упорядкованою. Такі властивості послідовності Π_i дають можливість визначити транзитивні та антисиметричні темпоральні залежності $r \in R$ для пар станів з Π_i :

$$\begin{aligned} \forall i \forall (s_{i,j}, s_{i,p}, s_{i,m}) \in \Pi_i \exists r_{i,p}^{i,j}, r_{i,m}^{i,p}, r_{i,m}^{i,j} : \\ (r_{i,p}^{i,j} \wedge r_{i,m}^{i,p} \Rightarrow r_{i,m}^{i,j}), \\ (r_{i,m}^{i,j} \Rightarrow s_{i,j} \neq s_{i,m}) \end{aligned} \quad (2.35)$$

Темпоральні залежності (2.35) встановлюють зв'язок між парами як послідовно зафіксованих у часі станів, так і таких, між якими є інші стани.

Слід зазначити, що в окремих випадках на практиці властивість транзитивності може бути порушена внаслідок несвоечасної фіксації станів об'єкту управління. Наприклад, в розподілених інформаційних системах атрибут часу, може містити інформацію про моменту запису стану, а не момент його виникнення. Така невідповідність виникає внаслідок того, що у великих розподілених системах при інформація про виникнення стану спочатку вноситься до черги, а потім фіксується в базі даних ІУС.

Принцип автоматизованої побудови темпоральних залежностей щодо послідовності управляючих дій реалізується з урахуванням стану предметної

області на основі визначення постійних та змінних властивостей вказаних станів. Кожен стан ОУ характеризується набором змінних (атрибутів). При переході між станами зазвичай змінюється значення лише частини атрибутів. Даний принцип дає можливість виділити темпоральні правила, що враховують зміну стану а цілому, та також правила, що враховують зміну значень окремих атрибутів.

Перші два принципи передбачають виявлення темпоральних знань на основі аналізу даних про поведінку об'єкту управління. Відмінність між ними полягає в тому, що перший принцип враховує невизначеність щодо процесу управління, а другий щодо об'єкту управління.

Принцип інтеграції темпоральних залежностей згідно рівня управління реалізується за ознакою належності до відповідного рівня організаційної ієрархії підприємства. Даний принцип дозволяє використати отримані автоматизованим способом темпоральні знання на різних рівнях організаційного управління. Так, на стратегічному рівні використовуються інтегральні залежності, що поєднують декілька правил тактичного рівня. Такі інтегровані залежності як правило відображають шаблони функціонування організаційних підрозділів підприємства.

Принцип еволюційної побудови темпоральної бази знань реалізується шляхом виявлення нових темпоральних правил по мірі появи нових даних про при зміни стану об'єкту управління. Даний принцип передбачає постійне розширення бази темпоральних знань при реалізації процесу управління. Згідно даного принципу поповнення бази знань виконується на основі еволюційної стратегії. Тобто при зміні функціональних вимог змінюється послідовність дій з управління. Відповідно, виявляються нові темпоральні залежності, які включаються до складу бази знань.

Принцип підтримки управління реалізується на основі інтеграції детермінованої моделі об'єкту управління та ймовірнісного виводу в темпоральній базі знань. Даний принцип дозволяє удосконалити моделі

об'єкту та процесу управління на основі водоспадної стратегії на тактичному рівні. Після завершення поточного циклу випуску продукції або послуг на етапі аналізу результатів виконання на основі темпоральних правил можуть бути отримані детерміновані залежності, що доповнюють існуючі моделі об'єкту та процесу управління.

Розглянуті принципи є основою концептуального підходу до автоматизованої підтримки ресурсоємної задачі формування управлінських рішень. Підхід базується на використанні темпоральних (часових) властивостей УР [182] та направлений на виявлення проблемного стану об'єкту управління та побудову множини можливих альтернативних реалізацій управлінського рішення на основі використання відомих темпоральних залежностей між управлінськими діями або станами ОУ. Темпоральні залежності визначають упорядкованість управлінських дій (або станів об'єкту управління) у часі та формуються з використанням інформації про вже реалізовані послідовності управляючих дій (або відповідні послідовності станів об'єкту управління).

Підтримка задачі формування УР здійснюється шляхом виводу на темпоральній базі знань з можливим урахуванням структури організаційної системи. Для забезпечення раціонального вибору ОПР в рамках даної задачі виконується порівняльний аналіз темпоральних залежностей щодо послідовності управлінських дій, які привели до поточного стану об'єкту управління. За результатами цього аналізу виявляється, чи є поточний стан ОУ нетиповим, тобто, чи виникла в рамках поточного стану аномальна ситуація.

У випадку виникнення аномальної ситуації формується множина альтернативних реалізацій УР шляхом виводу на темпоральних знаннях. Кожна з отриманих в результатів виводу альтернатив містить у собі послідовність управляючих дій, яка повинна забезпечити перехід об'єкту управління від поточного проблемного стану до цільового стану.

Особливість альтернативних послідовностей управляючих дій у складі УР полягає в тому, що їх початковий та кінцевий стани співпадають. Початкова вершина відповідає нетиповому (аномальному), а кінцева – цільовому стану об'єкту управління.

Також у підмножини альтернатив можуть співпадати проміжні стани об'єкту управління. Ідентичні стани зазвичай виникають внаслідок реалізації аналогічних управлінських дій.

Схему концептуального підходу до автоматизованого управління темпоральною базою знань для підтримки управлінських рішень представлено на рис. 2.5.

У відповідності до розробленого підходу, вхідні дані для побудови темпоральних залежностей отримуються із оперативного рівня організаційного управління від систем обробки транзакцій. Також додаткові дані можуть бути отримані від інформаційно-управляючих систем. На основі цих даних формуються темпоральні залежності у формі правил.

Процес формування таких правил включає в себе наступні етапи:

- формування опису станів ОУ;
- виділення темпоральних залежностей, що являють собою реалізації темпоральних правил;
- об'єднання залежностей в узагальнені темпоральні правила.

Додатково може бути виконаний етап об'єднання опису станів для формування темпоральних знань щодо відповідного рівня організаційної ієрархії.

Після формування бази знань проводиться її регулярне поповнення по мірі реалізації управляючих дій. Тобто, при появі нових станів об'єкту управління в базу знань мають бути внесені додаткові темпоральні знання, що задають упорядкованість нового стану по відношенню до попередніх станів.

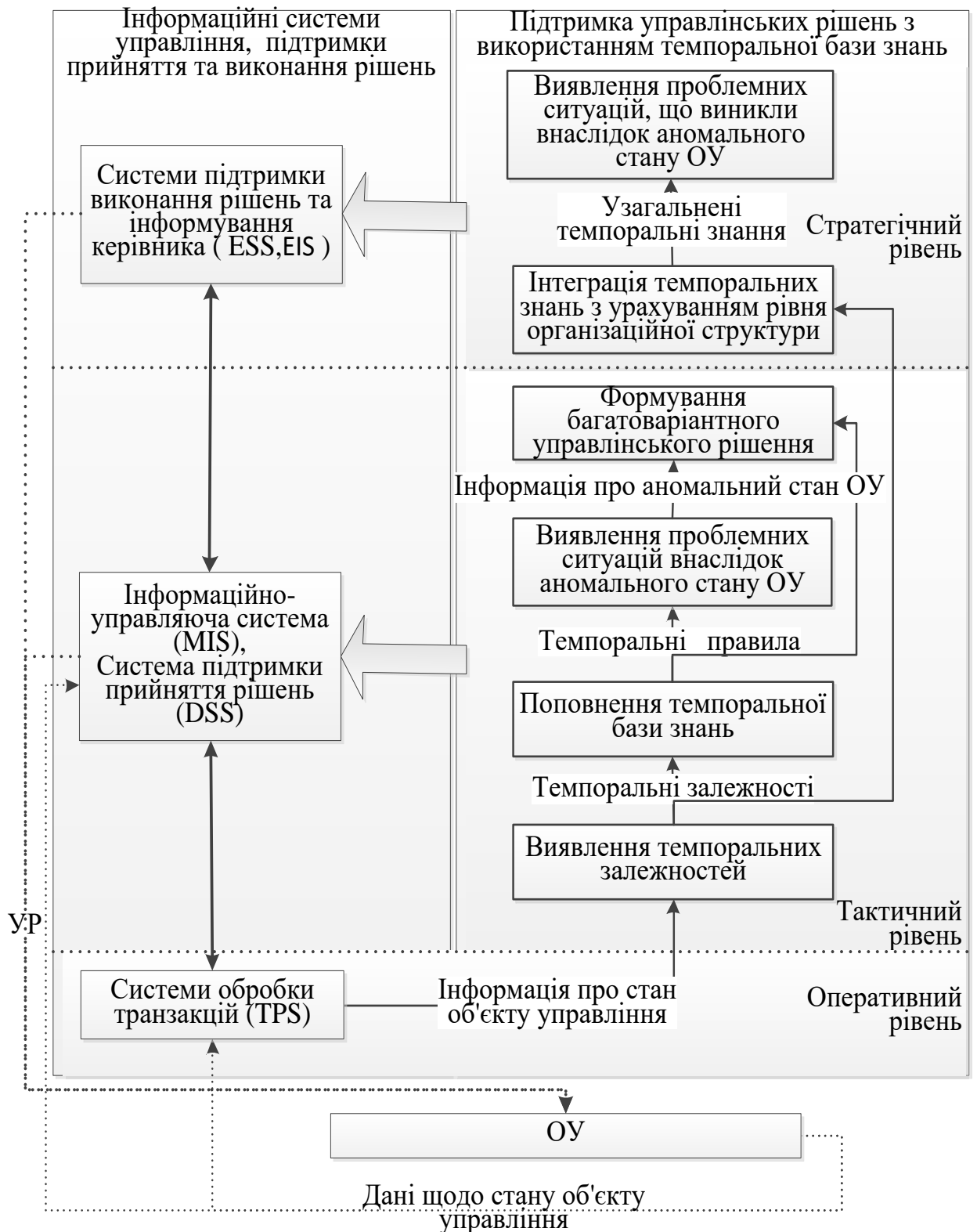


Рисунок 2.5 – Узагальнена схема концептуального підходу до автоматизованого управління темпоральною БЗ для підтримки управлінських рішень

Вирішення задач виявлення проблемних ситуацій та формування багатоваріантного управлінського рішення проводиться на основі порівняння темпоральних знань та виводу на знаннях.

В першому випадку порівнюються із відомими знання, що описують процес переходу до поточного стану об'єкту управління. Невідповідності оцінок темпоральних знань є ознакою аномального стану об'єкту управління.

В другому випадку формується багатоваріантне управлінське рішення на основі ймовірнісного виводу на темпоральних знаннях. Ймовірнісний вивід поєднує логічний вивід на темпоральних знаннях із ймовірнісною оцінкою отриманого варіанту реалізації багатоваріантного управлінського рішення. Ймовірнісна оцінка виконується з використанням ваги набору темпоральних правил (2.31), що описують дану реалізацію УР.

В рамках концептуального підходу розроблено узагальнений метод підтримки управлінських рішень в умовах невизначеності на основі темпоральних знань. Метод базується на побудові, використанні та інтерактивному уточненні множини зважених темпоральних залежностей. Можливість використання таких знань для підтримки рішень пов'язана із тим, що останні відображають послідовності виконання управляючих дій, що забезпечували досягнення цільового стану об'єкту управління. Кожна управлінська дія змінює стан об'єкту управління. Тому темпоральні залежності також відображають реалізовані послідовності зміни станів ОУ в часі.

Об'єкт організаційного управління є комплексним та може бути представленим множиною типових об'єктів – артефактів (наприклад, станків, приборів, виконавців, тощо). Тому послідовність зміни стану об'єкту управління задається через послідовність зміни властивостей артефактів, що виникає внаслідок реалізації управлінського рішення. Відповідно, темпоральні залежності можуть бути отримані автоматизованим способом на

основі аналізу послідовності станів об'єкту управління та послідовності зміни значень властивостей артефактів, що входять до складу ОУ.

Отримані на основі аналізу послідовності станів ОУ (або послідовності управляючих дій у складі УР) темпоральні залежності дають можливість визначити нові альтернативи у складі управлінського рішення (або ж нові управлінські рішення в цілому).

Для порівняння цих альтернатив можуть бути використані ваги темпоральних залежностей. На основі ваг окремих залежностей формується вага кожної альтернативної послідовності управлінських дій у складі управлінського рішення, що дає можливість упорядкувати отримані альтернативи для вибору ОПР.

Підтримка управлінських рішень на основі темпоральних знань в умовах невизначеності щодо об'єкту та процесу управління базується на інтеграції задач прийняття рішення та автоматизованої побудови бази знань на основі інкрементної стратегії.

Задача прийняття управлінського рішення полягає у знаходженні оптимального або раціонального способу досягнення цільового стану із поточного стану організаційної системи з урахуванням наявних ресурсів та впливу зовнішнього середовища.

Для досягнення цільового стану послідовно виконується підготовка множини альтернативних рішень та реалізація вибраного рішення.

В процесі підготовки рішення виконується розпізнавання проблемної ситуації та формування множини альтернативних управлінських рішень. Традиційно розпізнавання проблемної ситуації виконується шляхом збору даних про стан організаційної системи з тим, щоб отримати контекстно-залежні патерни даних, які свідчать про виникнення нетипового, аномального стану об'єкту управління і, відповідно, дають можливість виявити проблемну ситуацію щодо процесу управління.

Після виявлення такої ситуації виконується класифікація існуючої проблеми. Тобто в даному випадку формується декларативний опис аномального стану об'єкту управління. Темпоральні знання дають можливість реалізувати альтернативний, процедурний підхід до виявлення аномального стану ОУ. Сутність такого підходу полягає в оцінці темпоральних знань, що задають послідовність дій із досягнення поточного аномального стану ОУ. Порівняння оцінок темпоральних знань для поточної та відомих успішних послідовностей управляючих дає можливість виявити нетиповий стан об'єкту управління.

Фаза побудови управлінських рішень передбачає формування критеріїв оцінки цих рішень, побудову множини альтернативних рішень у вигляді упорядкованих наборів дій, а також оцінку кожного із цих рішень за визначеним критерієм. Згідно розробленого узагальненого методу підтримки управлінських рішень, порядок управляючих дій задається темпоральними знаннями. Для порівняння елементів множини альтернативних управлінських рішень використовується оцінка темпоральних знань.

Реалізація управлінського рішення містить послідовність фаз із вибору та імплементації рішення. Вибір раціонального або обмежено-раціонального рішення виконується ОПР згідно визначеного критерію оцінки та існуючих обмежень. На вибір рішення, отриманого з використанням темпоральних знань, впливає ймовірнісний характер цих знань. Тому на етапі вибору є потреба у експертному оцінюванні найбільш ймовірних послідовностей управляючих дій та відповідних станів з точки зору можливості їх реалізації в умовах обмежень, що задаються на ОУ.

Імплементація рішення полягає у його впровадженні (узгодженні та виконанні), проведенні оцінки результатів, а також виконанні аналізу причини виникнення проблемної ситуації. За результатами такої оцінки база знань може бути відкоригована.

Запропонований метод підтримки управлінських рішень в умовах невизначеності з використанням темпоральних знань виконується при зміні стану об'єкту управління.

Метод використовує такі вхідні дані.

1) Поточна послідовність станів $\Pi_{current}$ об'єкту управління, що містить стани від початкового $s_{current,0}$ до поточного $s_{current,current}$:

$$\Pi_{current} = \langle s_{current,0}, \dots, s_{current,j}, \dots, s_{current,current} \rangle.$$

2) Цільовий стан об'єкту управління s_{aim} ;

3) Множина темпоральних знань R , щодо реалізованого набору послідовностей станів $\Pi = \{\Pi_i\}$, які відображають досягнення цільового стану об'єкту управління s_{aim} .

Метод метод підтримки управлінських рішень в умовах невизначеності на основі темпоральних знань містить такі етапи.

Етап 1. Побудова темпоральних залежностей для поточного стану $s_{current,current}$.

Результатом етапу є множина темпоральних залежностей виду $R_{current} \{r_{current,1}^{current,0}, \dots, r_{current,current}^{current,current-1}\}$, що пов'язують поточний стан $s_{current,current}$ із попередніми станами ОУ.

Етап 2. Доповнення темпоральної бази знань.

Крок 2.1. Доповнення бази знань підмножиною незважених темпоральних правил.

Крок 2.2. Уточнення ваг темпоральних правил у базі знань

Етап 3. Аналіз поточного стану об'єкту управління $s_{current,current}$ та виявлення аномального стану у випадку його виникнення.

Крок 3.1. Обчислення ваги темпоральних правил із множини $R_{current}$, що відображають знання про досягнення поточного стану ОУ.

Крок 3.2. Відбір підмножин темпоральних правил, що містять знання про досягнення поточного стану на послідовностях Π_i .

Крок 3.3. Виявлення аномального стану на основі порівняння оцінок темпоральних правил, отриманих в результаті виконання кроків 3.1. та 3.2.

Етап 4. Формування, у випадку виявлення аномального стану об'єкту управління, нового багатоваріантного управлінського рішення, що містить послідовності станів (управляючих дій) від поточного до цільового стану ОУ.

Крок 4.1. Формування альтернативних послідовностей $\Pi_i^{new} = \langle s_{i,current}, \dots, s_{i,aim} \rangle$ переходів між станами ОУ шляхом виводу на темпоральних знаннях.

Крок 4.2. Оцінка ймовірності реалізації кожної послідовності Π_i^{new} на основі ваг темпоральних правил.

Крок 4.3. Упорядкування послідовностей Π_i^{new} за ймовірнісними оцінками.

Крок 4.4. Семантична перевірка експертом найбільш ймовірних послідовностей Π_i^{new} .

Розроблений метод поєднує вирішення задач поповнення бази знань, виявлення аномального стану об'єкту управління, а також формування багатоваріантного управлінського рішення. Метод орієнтований на інтерактивну реалізацію при виникненні нових станів об'єкту управління, що дає можливість будувати нові послідовності управляючих дій з використанням актуального набору зважених темпоральних правил.

Висновки до розділу 2

1. Виділено характеристики темпоральних знань як складової управлінського рішення та запропоновано постановку задачі

автоматизованого управління темпоральними базами знань, яка передбачає виявлення темпоральних залежностей, що описують відомі реалізації управлінських рішень з досягненням цільового стану, а також формування з використанням цих залежностей множини альтернативних послідовностей станів (або управляючих дій) для управлінського рішення.

2. Запропоновано модель багатоваріантного управлінського рішення, що використовує темпоральні знання та містить множину станів об'єкту управління, в тому числі початковий та цільовий стани, множину послідовностей станів, множину темпоральних правил для цих послідовностей, а також оцінку темпоральних правил. Модель забезпечує можливість раціонального вибору управлінського рішення основі інтегральної оцінки темпоральних правил для всіх альтернатив, що входять до складу багатоваріантного управлінського рішення.

3. Запропоновано принципи та заснований на них концептуальний підхід до автоматизованої побудови та використання темпоральних баз знань для підтримки прийняття управлінських рішень. Розроблені принципи відрізняються врахуванням темпоральних залежностей як для процесу управління, так і для об'єкту управління, а також можливостями інтеграції темпоральних залежностей згідно рівня організаційної ієрархії. Запропоновані принципи та концепція забезпечують можливість побудови багатоваріантного управлінського рішення, що забезпечує можливість вирішення частково структурованих та неструктурованих задач на відповідних рівнях організаційного управління шляхом формування та підтримки виконання рішень в умовах неповноти інформації щодо зовнішніх впливів та стану підприємства як об'єкту управління.

4. В рамках концептуального підходу до автоматизованого управління темпоральними базами знань запропоновано метод підтримки управлінських рішень в умовах невизначеності на основі темпоральних знань. Метод містить у собі етапи формування темпоральних знань для поточного стану об'єкту

управління, доповнення темпоральної бази знань, перевірки виникнення аномального стану об'єкту управління на основі темпоральних знань, а також формування багатоваріантного управлінського рішення. Метод створює умови для підвищення ефективності підтримки прийняття управлінських рішень при вирішенні частково структурованих задач за рахунок автоматизації процесу формування багатоваріантного управлінського рішення.

3 РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ПРЕДСТАВЛЕННЯ ТЕМПОРАЛЬНИХ ЗНАНЬ ДЛЯ ЗАДАЧ ПІДТРИМКИ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ

Головну увагу у даному розділі приділено побудові моделей представлення темпоральних знань, які забезпечують можливість оперативної підтримки управлінського рішення з урахуванням знань щодо поточного стану об'єкту управління.

Традиційні підходи до представлення експертних знань в системах підтримки прийняття рішень потребують організації ресурсоємної взаємодії з експертами у відповідній предметній області і тому входять в протиріччя із існуючою потребою у автоматизованій побудові бази знань. Остання виникає внаслідок швидкого удосконалення інформаційних технологій, що використовуються на сучасних високотехнологічних підприємствах, та відповідної еволюції знань, на яких базуються такі технології. Використання удосконалених інформаційних технологій створює суттєві конкурентні переваги для таких підприємств.

Тому важливою є задача розробки такого представлення, яке містило б темпоральні знання для автоматизованого розпізнавання проблемної ситуації на об'єкті управління та формування багатоваріантного управлінського рішення з урахуванням результатів виконання поточної управляючої дії та відповідної зміни стану об'єкту управління.

Постановка задачі розробки моделей представлення темпоральних знань для задач підтримки управлінських рішень змістовно полягає в наступному.

Вхідними даними для побудови представлення знань є набір послідовностей станів об'єкту управління, які відображають множину реалізованих варіантів вирішення відповідної задачі управління.

Необхідно отримати модель темпоральної бази знань, яка забезпечує можливість формування актуального багатоваріантного управлінського рішення на основі автоматизованого поповнення знань.

Для вирішення такої задачі потрібно:

– розробити модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень, що містить декларативну складову для представлення знань щодо структури та стану об'єкту управління, а також процедурну складову для представлення знань щодо зміни таких станів у процесі управління;

– розробити моделі темпоральних правил, що деталізують модель представлення темпоральних залежностей та визначають умови й обмеження для побудови послідовності управляючих дій при підтримці управлінського рішення;

– розробити модель темпоральної бази знань на основі запропонованого логіко-ймовірнісного представлення знань, що забезпечує можливість побудови послідовності дій у складі управлінського рішення за допомогою темпоральних правил, а також можливість її ймовірнісної оцінки з використанням ваг правил.

Розроблені у даному розділі моделі базуються на роботах [134], [135], [151]–[154], [157]–[159], [197]–[215] та розвивають результати, що були запропоновані у роботах [171], [185], [191], [196], [216]–[231].

3.1 Розробка моделі представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень

Запропонована в даному розділі модель темпоральних залежностей орієнтована на побудову опису темпоральних знань щодо процесу підтримки управлінських рішень. Даний процес охоплює вирішення таких задач, які можуть бути автоматизовані з використанням темпоральних знань: виявлення нетипового (аномального) стану об'єкту управління; побудови багатоваріантного управлінського рішення із упорядкованого за визначеним критерієм набору альтернатив. Процес підтримки УР є ітеративним: при зміні

стану об'єкту управління множина альтернативних варіантів реалізації управлінського рішення може бути уточнена на основі актуальних знань про процес управління. Такі знання також коригуються ітеративно, по мірі виконання управляючих дій у складі управлінського рішення.

Представлена у розділі 2 темпоральна модель багатоваріантного управлінського рішення відображає множину альтернативних послідовностей управляючих дій, що забезпечують досягнення цільового стану об'єкту управління. Вказані послідовності базуються на використанні темпоральних знань, які відображають застосовані при реалізації УР причинно-наслідкові зв'язки між управляючими діями. Такі зв'язки можуть бути задані на основі як формальних залежностей, так і персональних знань ОПР або кваліфікованих виконавців. Слід зазначити, що останні у зарубіжній літературі зазвичай позначаються як «knowledge workers». Дана характеристика дозволяє підкреслити їх можливості щодо коригування послідовності управляючих дій на основі персонального досвіду та знань. Наведені особливості управлінського рішення дозволяють класифікувати послідовність підтримки УР як знання-ємний процес [197], [198], [216], [219].

При побудові моделі темпоральних залежностей для знання-ємного процесу підтримки УР необхідно врахувати ряд факторів, що визначають особливості представлення та застосування таких знань:

- використання комбінації явних (переважно формальних) та неявних (зазвичай вербальних й неформалізованих) персональних знань виконавців та ОПР для опису послідовності управляючих дій у складі УР;

- врахування ймовірнісного характеру темпоральних знань внаслідок того, що такі знання відображають ймовірнісний підхід до каузальності;

- забезпечення автоматизованої адаптації множини альтернатив УР при зміні стану об'єкту управління;

- необхідність виділення підмножини темпоральних знань з урахуванням рівня організаційної ієрархії ОУ.

Розглянемо наведені фактори більш детально з тим, щоб визначити їх вплив на вимоги до формального опису темпоральних залежностей.

Фактор інтеграції явних та неявних знань характеризує можливість відображення зв'язків між управляючими діями або станами ОУ без формального опису залежних від предметної області причин виникнення таких зв'язків. Упорядкована у часі послідовність станів ОУ як результат реалізації УР виникає внаслідок використання ОПР при прийнятті рішення та виконавцями при його реалізації комбінації явних знань, а також неформалізованого досвіду та персональних контекстно-залежних знань.

Явні знання представляються формальними залежностями, що відповідають моделі ОУ. Такі знання представляються, наприклад, алгоритмічно або у вигляді правил «ЯКЩО–ТО», та визначають каузальні залежності для упорядкованої у часі послідовності управляючих дій й відповідного ланцюжку станів об'єкту управління. Таким чином, для кожної пари станів ОУ при використанні явних знань задається явна каузальна залежність. Така залежність може бути відображена у формі послідовності станів ОУ у часі, тобто представлена з використанням темпоральних знань.

Неявні знання виконавців та ОПР є результатом досвіду формування УР та реалізації управляючих дій у складі управлінського рішення. Такі знання мають «поверхневий» характер, тобто вони відображають каузальні зв'язки між управляючими діями у складі УР, що визначають темпоральний порядок таких дій, однак не описують ці зв'язки на достатньому рівні деталізації, у відповідності до моделі об'єкту управління.

Наведене порівняння властивостей явних та неявних знань з точки зору їх використання для підтримки управлінських рішень показує їх спільну властивість: упорядкування у часі послідовності управляючих дій (або станів ОУ). Така упорядкованість, відокремлена від специфіки предметної області, може бути представлена у вигляді множини темпоральних залежностей між станами об'єкту управління.

Другий фактор є наслідком відокремлення послідовності дій (або послідовності станів ОУ) від контексту їх виникнення, що приводить до необхідності врахувати ймовірнісний характер темпоральних знань. Такі знання не містять детермінованого опису каузальних залежностей, а лише відображають темпоральну упорядкованість станів об'єкту управління або управляючих дій [199], [232].

Відмінності між каузальними та темпоральними залежностями базуються на відмінностях між детермінованим та ймовірнісним підходами до опису причинно-наслідкових зв'язків між подіями .

Детермінований підхід до опису причинно-наслідкових зв'язків враховує необхідну й достатню умови таких залежностей. Перша умова полягає в тому, якщо після події «А» завжди виникає подія «Б», то між «А» та «Б» існує причинно-наслідкова залежність [200]–[202]. Достатня умова полягає в тому, що при відсутності події «А» подія «Б» не виникає [200]. Детермінований підхід до формалізації причинно-наслідкових залежностей потребує детального опису подій «А» та «Б» з урахуванням ключових особливостей предметної області.

Згідно ймовірнісного підходу, причинно-наслідковий зв'язок між подіями «А» та «Б» виникає у випадку, якщо при виникненні події «А» ймовірність виникнення події «Б» підвищується [200], [203].

Таким чином, відповідно до ймовірнісного визначення каузальності можна стверджувати: чим більше альтернативних реалізацій у складі багатоваріантного управлінського рішення містить у собі упорядкованих у часі пар однакових станів ОУ, тим більш ймовірним є каузальний зв'язок між цими станами. Більш важливою для побудови управлінського рішення стає і відповідна темпоральна залежність, що задає порядок у часі для пари таких станів.

Тобто узагальненість і важливість темпорального зв'язку між парою станів ОУ залежить від кількості альтернатив багатоваріантного УР, які

охоплює дана залежність. Більш важливі, більш типові залежності з більшою ймовірністю будуть реалізовані у нових управлінських рішеннях. Так, якщо певна темпоральна залежність є істинною для всіх відомих альтернатив реалізованого УР, то така залежність характеризує правила прийняття рішень у даній предметній області і має бути врахована в якості обмеження при формуванні нового управлінського рішення. Ймовірність використання обмеження має дорівнювати 1. Таким чином, з урахуванням ймовірнісного характеру темпоральних знань кожна така залежність повинна мати вагу, яка впливає на ймовірність реалізації управлінського рішення, що містить дану залежність. Сукупність ваг темпоральних залежностей визначає ймовірність реалізації кожної альтернативи управлінського рішення, що описується цим набором темпоральних знань.

Третій фактор пов'язаний із важливістю автоматизованої підтримки формування актуальних управлінських рішень у процесі управління, тобто при зміні стану ОУ з часом. Поява нових станів потребує вирішення задач актуалізації та поповнення темпоральних знань, виявлення нетипового стану ОУ, а також побудови набору альтернативних варіантів реалізації багатоваріантного управлінського рішення. Тобто в рамках підтримки управлінських рішень поєднуються процеси управління організаційним об'єктом та темпоральною базою знань. В результаті паралельно із реалізацією управляючих дій в автоматизованому режимі поповнюються темпоральні знання та актуалізується їх вага.

Четвертий фактор враховує організаційну ієрархію об'єкту управління. Традиційно така ієрархія представляється за схемою: рівень керівництва організацією в цілому – рівень структурних підрозділів – рівень виконавців [204]. Темпоральні залежності відрізняються для різних рівнів організаційної структури внаслідок відмінності опису станів для підприємства, підрозділів, виконавців. Фактично на різних організаційних рівнях темпоральна упорядкованість задається з різним ступенем деталізації.

Така ієрархія може бути представлена на базі об'єктно-орієнтованого підходу, що забезпечує більш гнучкий опис ОУ. Об'єктний підхід дозволяє врахувати відмінності методів управління, що використовуються на підприємстві (функціональний, процесний, тощо). В рамках даного підходу виділяються базові об'єкти у складі ОУ в цілому та встановлюються зв'язки між цими об'єктами [205].

В цілому перші три фактори визначають особливості формування темпоральних знань з точки зору побудови впорядкованої у часі послідовності станів об'єкту управління, починаючи від поточного і завершуючи цільовим станом ОУ. Четвертий фактор враховує можливість побудови темпоральних знань з різним ступенем деталізації згідно рівня організаційної ієрархії об'єкту управління.

Сукупність представлених факторів дає змогу сформулювати вимоги до формального представлення темпоральних знань. Ці вимоги наведено у табл. 3.1.

Відповідно до перших двох вимог інтеграції явних та неявних знань, а також формування ймовірнісного представлення знань, темпоральні залежності мають поєднувати знання, які були отримані на основі принципів «білого» та «чорного» ящиків.

Згідно першого принципу, такі знання відображають явні каузальні залежності, які представляють зв'язки між складовими об'єкту управління, що є важливими для реалізації процесу управління.

Згідно принципу «чорного ящику», явні знання можуть бути доповнені екстерналізованими неявними знаннями щодо процесу управління. Останні відображають персональні знання ОПР та висококваліфікованих виконавців (knowledge workers).

При побудові знань за принципом «чорного ящику» не враховується внутрішня структура та зв'язки між елементами об'єкту управління, що ускладнює побудову детермінованих залежностей. Формалізація таких

неявних знань традиційними комунікативними методами є малорезультативною.

Таблиця 3.1 – Особливості представлення темпоральних знань для підтримки управлінського рішення

Характеристики темпоральних знань у складі управлінського рішення	Вимоги до представлення темпоральних знань
1. Інтеграція явних та неявних знань	Єдине представлення для явних знань із формальними каузальними залежностями та неявних, упорядкованих у часі залежностей
2. Ймовірнісне представлення знань	Темпоральні правила характеризуються вагою, яка залежить від ймовірності їх використання
3. Ітеративна інтеграція темпоральних залежностей для опису реалізації УР	Уточнення множини темпоральних залежностей згідно поточного стану об'єкту управління
4. Ієрархічний характер знань	Темпоральні знання, що відображають послідовність управляючих дій, мають бути представлені з різним ступенем деталізації згідно рівнів організаційної ієрархії підприємства

Відповідно, такі знання не завжди застосовуються у процесі побудови послідовності управляючих дій. Використання логіко-ймовірнісного представлення знань дає можливість інтегрувати явні, а також неявні персональні знання виконавців.

Згідно третьої вимоги ітеративної інтеграції темпоральних залежностей при уточненні реалізації управлінського рішення, такі залежності мають забезпечити можливість автоматизованого коригування послідовності управляючих дій у процесі реалізації управлінського рішення. Тобто при зміні поточного стану об'єкту управління з часом можуть виникнути умови для нових варіантів УР, що відповідають поточним обмеженням на об'єкті управління. Тому представлення темпоральних знань має враховувати

нетипові зміни як процесу управління, так і об'єкту управління. Перші виникають внаслідок непередбачуваних зовнішніх впливів, а другі – в результаті дій виконавців, що не відображені у моделі управлінського рішення. Виконавці можуть так змінити окремі управляючі дії або їх послідовність з урахуванням персональних знань та досвіду, що це приведе до виникнення нетипового, не представленого в моделі УР, стану об'єкту управління. Досягнення такого аномального стану ОУ потребує уточнення або формування нового управлінського рішення.

Управлінське рішення, як було показано у розділі 1, формується у вигляді множини альтернативних послідовностей управляючих дій. Побудова таких альтернатив потребує порівняння та інтеграції темпоральних залежностей. Оскільки вказані залежності задають порядок станів ОУ у часі, то інтеграція темпоральних знань має відбуватись на базі порівняння та поєднання схожих станів об'єкту управління. Така схожість визначається на основі властивостей станів, а також значень цих властивостей. Тому для вирішення задачі об'єднання темпоральних знань у аспекті часу кожен стан доцільно представити у вигляді множини значень змінних, кожна з яких відображає одну з властивостей об'єкту управління.

Розглянута інтеграція темпоральних знань дає можливість визначити спільні закономірності для декількох послідовностей управляючих дій із різних реалізацій управлінського рішення. Чим більше послідовностей охоплює темпоральна закономірність, тим більш важливою вона є. Важливість темпоральної закономірності задається через її вагу.

Побудова зважених спільних закономірностей забезпечує підґрунтя для автоматизованого формування послідовностей управляючих дій, які забезпечили в перехід від нетипового поточного стану до цільового стану об'єкту управління.

Відповідно до четвертої вимоги щодо представлення темпоральних знань з різним рівнем деталізації опису об'єкту управління, темпоральні

знання мають враховувати рівень організаційної ієрархії об'єкту управління. Інтеграція знань у організаційному аспекті дає можливість сформулювати управлінське рішення з потрібним ступенем деталізації у відповідності до рівня організаційної ієрархії для якого це рішення реалізується.

Задоволення вимог до темпоральних знань потребує розробки їх представлення у вигляді набору темпоральних залежностей с такими властивостями:

- залежності є зваженими, причому вага відображає ступінь загальності темпоральних знань;
- темпоральні залежності можуть представляти знання про об'єкт управління з різним ступенем деталізації;
- форма представлення темпоральних залежностей забезпечує можливість їх автоматизованого або автоматичного уточнення при вирішенні задач підтримки управлінських рішень.

Запропонована модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень поєднує знання про множину станів об'єкту управління, темпоральні відношення між цими станами, а також задає множину операцій об'єднання або деталізації знань щодо станів об'єкту управління.

Алгебраїчні підходи, які базуються на визначенні базової множини та набору операцій на цій множині, отримали застосування при вирішенні завдань оптимізації структури та верифікації алгоритмів роботи комп'ютерних програм з метою підвищення їх швидкодії, виявлення тупикових станів, а також адаптації у випадку зміни вимог користувача [206]–[208]. Представлення логіки висловлювань як алгебри з операціями у формі логічних зв'язок дає можливість створити формальну основу для вирішення задач управління знаннями [209]–[211]. Правила продукції представляються через структури у вигляді множини із заданими відношеннями та операціями. Визначені операції дають можливість попарно поєднувати елементи множини.

Задане на множині бінарне продукційно-логічне відношення визначає упорядковані пари елементів, що представляють продукційні правила. Даний підхід дає можливість формалізувати як архітектуру, так і алгоритми функціонування програмної системи. Однак представлений опис не враховує темпоральний аспект, що не дає можливість формально представити темпоральні знання з тим, щоб задати послідовність управляючих дій у часі.

Розроблена модель представлення темпоральних залежностей враховує особливості систем, заснованих на правилах. Продукційні системи оперують з наборами фактів. Зв'язки між фактами представляються у вигляді правил. Сукупність фактів задає декларативний, а правил – процедурний опис предметної області.

Згідно запропонованого представлення темпоральних знань, декларативний опис задається повними Φ_j та елементарними фактами $\varphi_{k,l}$. Істинність елементарного факту свідчить про набуття змінною b_k заданого значення $c_{k,l}$. В рамках задачі підтримки управлінських рішень кожна змінна b_k задає одну властивість, тобто є атрибутом одного з елементарних об'єктів – артефактів у складі об'єкту управління в цілому.

Повний набір атрибутів $B = \{b_k\}$ всіх артефактів у складі об'єкту управління є кінцевою множиною внаслідок того, що ОУ містить кінцеву множину артефактів та їх властивостей. Змінні b_k є типізованими, тобто їх допустимі значення визначаються множиною типів $C = \{C_k\}$.

Кожна з множин $C_k = \{c_{k,l}\}$ містить можливі значення $c_{k,l}$ атрибутів b_k . Кількість елементів у множині C_k є кінцевою, оскільки можливі значення $c_{k,l}$ для підтримки прийняття рішень на рівні тактичного управління отримуються із бази даних або журналів системи обробки транзакцій на рівні оперативного управління. В такій базі даних зберігаються всі використані при реалізації

управління значення атрибутів. Очевидно, що кількість таких значень є кінцевою.

Визначення 3.1. Елементарний факт $\varphi^{k,l}$ представляє собою знання щодо значення $c_{k,l}$ атрибута b_k стану об'єкту управління.

Наприклад, для пари $b_k = \text{"Роль виконавця"}$ та $c_{k,l} = \text{"менеджер"}$ елементарний факт $\varphi^{k,l}$ є істинним, якщо «Роль виконавця – менеджер».

Елементарні факти $\varphi^{k,l}$ не містять логічних зв'язок.

Визначення 3.2. Повний факт Φ_j існування стану s_j об'єкту управління представляє собою знання про стан s_j у формі кон'юнкції елементарних фактів $\varphi^{k,l}$:

$$\Phi_j = \bigwedge_k \varphi^{k,l}. \quad (3.1)$$

Повний факт (3.1) може бути істинним у різні моменти часу при виконанні різних варіантів управлінського рішення.

Визначення 3.3. Факт $\Phi_{i,j}$ виникнення j – стану об'єкту управління представляє собою знання про перехід об'єкту управління в стан $s_{i,j}$ на послідовності станів Π_i , у момент часу τ_j :

$$\Phi_{i,j} = \bigwedge_k \varphi_{i,j}^{k,l} : (\forall i \forall j) \varphi_{i,j}^{k,l} = true | \tau = \tau_{i,j}. \quad (3.2)$$

Таким чином, реалізація повного факту $\Phi_{i,j}$ є істинною на послідовності Π_i у момент $\tau_{i,j}$, коли об'єкт управління переходить у стан $s_{i,j}$. Тобто

атрибути стану b_k набувають значень $c_{k,l}$, причому сукупність значень $c_{k,l}$ визначає стан s_j в цілому.

В подальшому повний факт Φ_j буде розглядатись як факт існування стану s_j , а реалізація $\Phi_{i,j}$ повного факту – як факт виникнення (реалізації) цього стану на послідовності Π_i , тобто як факт існування реалізації $s_{i,j}$.

Визначення повного факту Φ_j та його реалізації $\Phi_{i,j}$ забезпечують можливість створення єдиного опису однакових реалізованих станів $s_{i,j}$, що належать до альтернатив Π_i багатоваріантного УР. Оскільки періоди реалізації управлінських рішень відрізняються, то відрізняються і моменти часу $\tau_{i,j}$ виникнення одного й того ж стану s_j на різних послідовностях Π_i . Формування повних фактів Φ_j та їх реалізацій $\Phi_{i,j}$ у вигляді кон'юнкції одних і тих же елементарних фактів $\phi^{k,l}$ дає можливість зіставити знання про виникнення однакових станів $s_{i,j}$ для різних альтернатив Π_i при формуванні темпоральних залежностей на шкалі раніше-пізніше, без врахування міток часу τ_j на шкалі минуле-майбутнє.

Послідовність станів Π_i ОУ містить у собі початкові стани $s_{i,0}$, проміжні стани $s_{i,j}$ та цільові стани $s_{i,aim}$.

Послідовність із початкових, проміжних та цільових станів об'єкту управління на рівні темпоральних знань відображається послідовностями $V = \{V_i\}$ відповідних фактів $\Phi_{i,0}$, $\Phi_{i,j}$ та $\Phi_{i,aim}$:

$$V_i = \{\Phi_{i,0}, \dots, \Phi_{i,j}, \dots, \Phi_{i,aim}\}. \quad (3.3)$$

Початкові факти $\{\Phi_{i,0}\}$ відображають знання про можливий аномальний стан ОУ, що свідчить про виникнення проблемної ситуації та про необхідність

прийняття управлінського рішення. В рамках розробленої моделі представлення темпоральних залежностей множина початкових фактів містить лише один елемент для всіх варіантів управлінського рішення:

$$(\forall i)\Phi_{i,0} \equiv \Phi_0, \quad (3.4)$$

де Φ_0 – факт виникнення початкового стану ОУ для прийняття управлінського рішення.

Згідно (3.4), всі альтернативи Π_i починаються із одного й того ж стану s_0 . Тобто початковий стан задається одним і тим же набором значень атрибутів.

Послідовність із проміжних фактів $\Phi_{i,j}$ відображає знання про реалізацію послідовності управляючих дій у складі управлінського рішення та відповідної послідовності станів стани об'єкту управління.

Множина цільових фактів $\{\Phi_{i,aim}\}$ містить знання про набір допустимих цільових станів ОУ, які мають бути досягнуті в результаті виконання одного або декількох альтернативних варіантів управлінського рішення.

В рамках моделі представлення темпоральних залежностей множина цільових фактів містить лише один елемент Φ_{aim} , тому що цільовий стан s_{aim} , досягнення якого визначає успішну реалізацію УР, є ідентичним для всіх альтернатив Π_i :

$$(\forall i)\Phi_{i,aim} \equiv \Phi_{aim} \mid (\forall \Pi_i)s_{i,aim} \equiv s_{aim}, \quad (3.5)$$

де s_{aim} – цільовий стан об'єкту управління для управлінського рішення;

$s_{i,aim}$ – реалізація цільового стану на послідовності Π_i .

Поєднання послідовностей фактів V_i

$$V_1 \cup \dots \cup V_{|V_i|} = \left\{ \Phi_{1,0}, \dots, \Phi_{1,j}, \dots, \Phi_{1,aim}, \dots, \Phi_{|V_i|,0}, \dots, \Phi_{|V_i|,j}, \dots, \Phi_{|V_i|,aim} \right\} \quad (3.6)$$

згідно визначення 3.3 є частково упорядкованою множиною за моментами часу $\tau_{i,j}$, коли ці факти стали істинними. Часткова упорядкованість полягає у тому, що всі факти із кожної альтернативи V_i строго упорядковані за моментами $\tau_{i,j}$, тобто існують темпоральні відношення для кожної пари реалізованих фактів $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m})$ із цієї альтернативи. Однак темпоральні відношення для фактів із різних послідовностей V_i не встановлюються, оскільки останні могли бути виконані на різних інтервалах часу. Наприклад, темпоральне відношення для довільної пари фактів $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i+1,j})$ із послідовностей V_i та V_{i+1} не має сенсу, якщо друга послідовність почала виконуватись лише після завершення першої.

Темпоральне відношення для пари фактів $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m})$ із однієї альтернативи V_i представляє собою темпоральну залежність, у якій перший факт може бути розглянутий як антецедент, а другий як консеквент. Антецедент задає умову істинності темпорального відношення між фактами, а консеквент – результат відношення у вигляді знань $\Phi_{i,m}$ про стан об'єкту управління $s_{i,m}$, що виник після стану $s_{i,j}$ на послідовності Π_i .

Результат $\Phi_{i,m}$ може бути наслідком як однієї, так і послідовності управляючих дій. У першому випадку факт $\Phi_{i,j}$ відображає знання про стан ОУ до виконання управляючої дії, а факт $\Phi_{i,m}$ – знання про стан об'єкту управління безпосередньо після її завершення. Як було показано вище, елементарні факти $\phi_{k,l}$ дозволяють у єдиному вигляді описати знання не лише про стан окремих атрибутів артефактів ОУ, але й про стан управляючої дії, що змінила властивості артефактів. Тому факт-консеквент $\Phi_{i,m}$ може одночасно

містити знання як про поточні властивості ОУ, так і про атрибути реалізованої у процесі управління управляючої дії.

У другому випадку між фактами $\Phi_{i,j}$ та $\Phi_{i,m}$ на послідовності V_i мають існувати інші факти, які містять знання про результати виконання проміжних управляючих дій. Таким чином, темпоральна залежність містить знання про зміну станів об'єкту управління з часом в результаті виконання управляючих дій.

Визначення 3.4. Темпоральна залежність для пари фактів $\Phi_{i,j}$ та $\Phi_{i,m}$ із однієї послідовності V_i задає відношення у часі між цими фактами з урахуванням інших фактів даної послідовності:

$$\Phi_{i,j} \xrightarrow{o} \Phi_{i,m}, \quad (3.7)$$

де o – темпоральний оператор, що визначає тип залежності між фактами $\Phi_{i,j}$ та $\Phi_{i,m}$.

Темпоральна залежність (3.7) задає істинність всіх елементарних фактів у складі факту $\Phi_{i,m}$ у момент часу $\tau_{i,m}$ після того, як у момент часу $\tau_{i,j}$ істинними стали всі елементарні факти у складі факту $\Phi_{i,j}$. Тобто дане правило визначає темпоральні знання у шкалі відносного часу.

Темпоральний оператор o задає тип упорядкованості у часі для пари фактів. Наприклад, факт-консеквент $\Phi_{i,m}$ може бути істинним зразу після факту антецеденту $\Phi_{i,j}$ на шкалі відносного часу, або ж коли-небудь в майбутньому, після істинності проміжних фактів $\Phi_{i,j+1}, \Phi_{i,j+2}, \dots$ у проміжні моменти часу $\tau_{i,j+1} < \tau_{i,j+1} < \tau_{i,j+2} < \dots < \tau_{i,m}$.

Наприклад, при сервісному обслуговуванні у випадку істинності факту: «Замовлення у черзі на обслуговування, оплата виконана» наступним істинним буде факт «Замовлення прийнято на обслуговування». При

успішному завершенні обслуговування в майбутньому може бути істинним факт «Сервісне обслуговування завершено, заказ видано клієнту».

Твердження 3.1. Реалізований початковий факт $\Phi_{i,0}$, із мінімальним часом виконання $\tau_{i,0}$ становить точну нижню грань множини фактів, що входять до складу послідовностей $V = \{V_i\}$, а реалізований цільовий факт $\Phi_{i,aim}$ із максимальним часом виконання $\tau_{i,aim}$ – її точну верхню грань.

В силу заданої оператором O темпоральної упорядкованості в виразі (3.7) для будь-якої альтернативної реалізації управлінського рішення виконуються умови:

$$(\forall i \forall j) \exists \Phi_{i,0} \xrightarrow{O} \Phi_{i,j}, \quad (3.8)$$

$$(\forall i \forall j) \exists \Phi_{i,j} \xrightarrow{O} \Phi_{i,aim}. \quad (3.9)$$

Для підмножини реалізованих початкових фактів $\Phi_0 = \{\Phi_{1,0}, \dots, \Phi_{i,0}, \dots, \Phi_{|\Phi_0|,0}\}$ із різних послідовностей V_i також можна задати темпоральну упорядкованість за абсолютним часом реалізації, у шкалі минуле-майбутнє у вигляді:

$$(\forall i) \Phi_{i,0} \xrightarrow{O} \Phi_{m,0} \mid \tau_{i,0} < \tau_{m,0}. \quad (3.10)$$

Аналогічно задається темпоральна упорядкованість для підмножини реалізованих цільових фактів $\Phi_{aim} = \{\Phi_{1,aim}, \dots, \Phi_{i,aim}, \dots, \Phi_{|\Phi_{aim}|,aim}\}$:

$$(\forall i) \Phi_{i,aim} \xrightarrow{O} \Phi_{m,aim} \mid \tau_{i,aim} < \tau_{m,aim}. \quad (3.11)$$

Виконання умов (3.8) – (3.11) свідчить про істинність даного твердження.

Змінні, на яких задано елементарні факти, є атрибутами типових об'єктів – артефактів у складі об'єкту управління в цілому [212]. Такі об'єкти зазвичай складають ієрархію, тому одні й ті ж самі атрибути можуть характеризувати декілька артефактів. Узагальнено, окремий атрибут також можна розглядати як об'єкт.

В першому випадку факт представляється трійкою «Об'єкт – атрибут об'єкту – значення атрибуту», а в другому – парою «Об'єкт як атрибут – значення атрибуту».

Для відображення ієрархії станів об'єкту управління, що відповідає ієрархії артефактів, на упорядкованій множині фактів Φ додатково вводяться теоретико-множинні операції $H = \{\cup, \cap, \setminus\}$, що задають відношення об'єднання, перетину та виключення підмножин фактів $\{\Phi_j\}$. Такі відношення визначаються зв'язками між артефактами, на властивостях яких сформовано вказані факти.

Стани артефактів та атрибутів пов'язані між собою через спільні атрибути.

Твердження 3.2. Факти виникнення станів підмножини артефактів Af_n та об'єкту управління в цілому на послідовності Π_i у момент часу $\tau_{i,j}$ співпадають, якщо вони мають однакові набори та значення атрибутів для відповідних елементарних фактів.

Нехай сукупність артефактів Af_n представляється множиною атрибутів: $Af_n = \{b_p\}$, а стан s_j об'єкту управління – множиною атрибутів $b_k : s_j = \{b_k\}$. Тоді, згідно визначення (3.2), факт $\Phi_{i,j}^{Af_n}$ виникнення j – стану для підмножини артефактів представляється через кон'юнкцію елементарних фактів:

$$\Phi_{i,j}^{Af_n} = \bigwedge_p \varphi_{i,j}^{p,l} : (\forall p) \exists b_p \in Af_n \mid \tau = \tau_{i,j}, \quad (3.12)$$

де $\varphi_{i,j}^{p,l}$ – елементарний факт, що визначає наявність значення $c_{p,l}$ у атрибута a_p .

Співпадіння фактів виникнення станів $\Phi_{i,j}^{Af_n}$ та $\Phi_{i,j}$, з урахування (3.2), свідчить про співпадіння елементарних фактів $\varphi_{i,j}^{p,l}$ у складі $\Phi_{i,j}^{Af_n}$ із $\varphi_{i,j}^{k,l}$ у складі $\Phi_{i,j}$. За визначенням 3.1, при співпадинні елементарних фактів мають співпадати значення відповідних атрибутів:

$$\Phi_{i,j}^{Af_n} = \Phi_{i,j} \Rightarrow (\forall \varphi_{i,j}^{p,l}) \exists \varphi_{i,j}^{k,l} : (b_p \equiv b_k) \wedge (c_{p,l} = c_{k,l}), \quad (3.13)$$

де b_p й b_k – ідентичні атрибути, що входять до складу елементарних фактів $\varphi_{i,j}^{p,l}$ та $\varphi_{i,j}^{k,l}$ відповідно;

$c_{p,l}$, $c_{k,l}$ – значення атрибутів b_p та b_k відповідно.

Вираз (3.13) свідчить про істинність твердження 3.2, що дає можливість формувати стани ОУ з різним ступенем деталізації на основі поєднання фактів, що визначають стан окремих артефактів, або їх підмножин.

Для вирішення даної задачі в рамках запропонованої алгебраїчної моделі темпоральних відношень вводиться відношення поєднання фактів. Дане відношення об'єднує декілька фактів щодо стану артефактів з урахуванням, наприклад, рівня організаційної ієрархії об'єкту управління. Поєднання фактів дає можливість сформуванню узагальнені темпоральні залежності і отримати знання щодо управлінського рішення із заданим ступенем узагальнення.

Визначимо відношення поєднання фактів. Нехай стан s_j об'єднує із станів пари артефактів af_1 та af_2 . Тоді факт виникнення цього стану на

послідовності Π_i визначається об'єднанням фактів виникнення станів обох артефактів у момент $\tau_{i,j}$.

$$\Phi_{i,j} = \Phi_{i,j}^{af_1} \cup \Phi_{i,j}^{af_2}, \quad (3.14)$$

де $\Phi_{i,j}$ – факт виникнення стану s_j на послідовності Π_i ;

$\Phi_{i,j}^{af_1}$, $\Phi_{i,j}^{af_2}$ – факти виникнення станів артефактів af_1 та af_2 у момент часу $\tau_{i,j}$.

Згідно (3.1) та (3.2), факти виникнення станів af_1 та af_2 задаються кон'юнкцією елементарних фактів $\varphi_{i,j}^{k,l}$, $\varphi_{i,j}^{p,l}$ за умов $b_k \in af_1$ та $b_p \in af_2$, за умови, що атрибути елементарних фактів належать до цих артефактів.

Визначення 3.5. Відношення поєднання повних фактів виникнення станів, що задається парою артефактів af_1 та af_2 , у момент $\tau_{i,j}$ на послідовності Π_i представляється кон'юнкцією відповідних елементарних фактів:

$$\Phi_{i,j}^{af_1} \cup \Phi_{i,j}^{af_2} = \bigwedge_{\substack{k: \\ b_k \in (af_1 \cup af_2)}} \varphi_{i,j}^{k,l} | \tau = \tau_{i,j}. \quad (3.15)$$

Відношення поєднання логічних фактів дає можливість об'єднати факти більш низького ієрархічного рівня у факти вищого рівня. Такі ієрархічні рівні визначаються ієрархією артефактів.

Наведене визначення (3.15) дає можливість визначити властивість дистрибутивності [210] для темпоральних залежностей за умови використання в цих залежностях єдиного темпорального оператора O :

$$\left(\Phi_{i,j} \xrightarrow{O} \Phi_{i,m}^{af_1} \right) \cup \left(\Phi_{i,j} \xrightarrow{O} \Phi_{i,m}^{af_2} \right) \Leftrightarrow \Phi_{i,j} \xrightarrow{O} \Phi_{i,m}^{af_1} \cup \Phi_{i,m}^{af_2}. \quad (3.16)$$

Властивість дистрибутивності дозволяє в рамках управлінського рішення описати упорядкованість у часі одних і тих же станів об'єкту управління за допомогою різних темпоральних правил (тобто правил з різними темпоральними операторами). Наприклад, факти виникнення трьох послідовних у часі станів $s_{i,j}, s_{i,j+1}, s_{i,j+2}$ можуть бути пов'язані такими трьома правилами з різними темпоральними операторами:

$$\begin{aligned} & (\Phi_{i,j} \xrightarrow{o_1} \Phi_{i,j+1}) \cup (\Phi_{i,j+1} \xrightarrow{o_1} \Phi_{i,j+2}) \cup (\Phi_{i,j} \xrightarrow{o_2} \Phi_{i,j+2}) \\ \Leftrightarrow & (\Phi_{i,j} \xrightarrow{o_1} \Phi_{i,j+1} \xrightarrow{o_1} \Phi_{i,j+2}) \cup (\Phi_{i,j} \xrightarrow{o_2} \Phi_{i,j+2}). \end{aligned} \quad (3.17)$$

Перші два правила визначають темпоральне відношення за допомогою оператора o_1 , а третє – правило з використанням оператора o_2 .

Згідно (3.16) та (3.17), темпоральні відношення між парою станів можуть бути задані множиною темпоральних залежностей. Ці залежності відрізняються як темпоральним оператором (o_1 або o_2), так і підмножиною елементарних фактів, які описують стан відповідних артефактів у складі стану об'єкту управління в цілому (рис. 3.1).

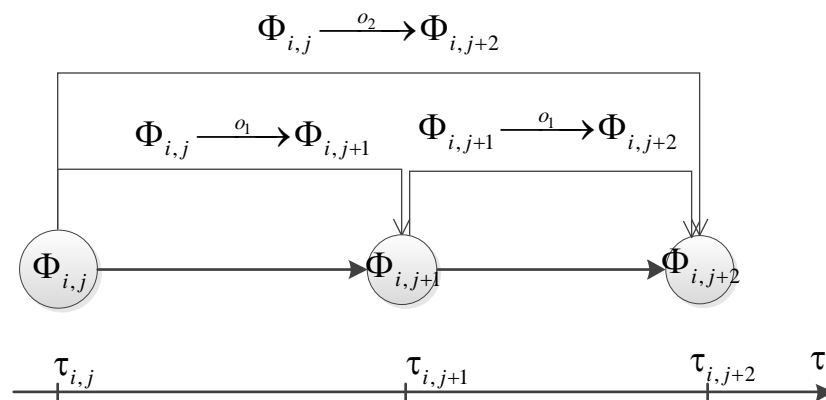


Рисунок 3.1 – Темпоральні правила для упорядкованих у часі пар фактів $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,j+1})$, $(\Phi_{i,j+1}, \Phi_{i,j+2})$ та $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,j+2})$ виникнення станів $s_{i,j}, s_{i,j+1}, s_{i,j+2}$

Визначення 3.6. Відношення перетину повних фактів виникнення станів, що задається парою артефактів af_1 та af_2 , у момент $\tau_{i,j}$ на послідовності станів Π_i представляється кон'юнкцією елементарних фактів, що входять до складу обох повних фактів:

$$\Phi_{i,j}^{af_1} \cap \Phi_{i,j}^{af_2} = \bigwedge_{\substack{k: \\ b_k \in (af_1 \cap af_2)}} \Phi_{i,j}^{k,l} \mid \tau = \tau_{i,j}. \quad (3.18)$$

Із наведеного визначення витікає, що відношення перетину фактів також задає властивість дистрибутивності для темпоральних залежностей за умови використання в цих залежностях єдиного темпорального оператора o :

$$\left(\Phi_{i,j} \xrightarrow{o} \Phi_{i,m}^{af_1} \right) \cap \left(\Phi_{i,j} \xrightarrow{o} \Phi_{i,m}^{af_2} \right) \Leftrightarrow \Phi_{i,j} \xrightarrow{o} \Phi_{i,m}^{af_1} \cap \Phi_{i,m}^{af_2}. \quad (3.19)$$

Відношення перетину (3.18) дає можливість виділити та врахувати підмножину елементарних фактів, які є суттєвими для реалізації управлінського рішення з урахуванням особливостей функціонування організаційного об'єкту управління.

Перетин повних фактів дає можливість сформулювати обмеження щодо вибору управляючих дій в процесі реалізації управлінського рішення. Такі обмеження можуть, наприклад, бути пов'язані із виділенням ресурсів, які використовуються в один період часу декількох структурних одиницях організаційного ОУ.

Визначення 3.7. Відношення різниці фактів виникнення станів $\Phi_{i,j}^{af_1}$ та $\Phi_{i,j}^{af_2}$ у момент часу $\tau_{i,j}$ на послідовності станів Π_i представляється кон'юнкцією елементарних фактів, що входять до складу лише першого факту:

$$\Phi_{i,j}^{af_1} \setminus \Phi_{i,j}^{af_2} = \bigwedge_{\substack{k: \\ b_k \in (af_1 \setminus af_2)}} \varphi_{i,j}^{k,l} \mid \tau = \tau_{i,j}. \quad (3.20)$$

Дане відношення дозволяє відкинути елементарні факти, які належать обом артефактам та виділити лише ті факти, які характеризують стани першого артефакту. Наприклад, визначити факт на основі лише тих атрибутів, що характеризують підрозділ та не належать складовим цього підрозділу. Дане відношення також задає властивість дистрибутивності для темпоральних залежностей.

В цілому наведені відношення між логічними фактами дають можливість побудувати ієрархію фактів «знизу-вверх» та деталізувати ієрархію «зверху-вниз». В першому випадку використовується відношення поєднання, а в другому – відношення перетину та різниці фактів.

Таким чином, модель представлення темпоральних залежностей складається з множини фактів щодо виникнення станів об'єкту управління, темпоральних операторів, що задають відношення між станами в часі, а також множини операцій над фактами, яка дає можливість представити ці стани із різним ступенем деталізації:

$$\mathcal{P} = \{ \Phi^*, O, H \}. \quad (3.21)$$

де Φ^* – множина фактів виникнення станів об'єкту управління або підмножини артефактів у складі ОУ;

O – множина темпоральних операторів, що задають різні типи відображень у часі факту-антецеденту на факт-консеквент;

H – набір операцій поєднання, перетину, а також різниці фактів.

Розроблена модель представлення темпоральних залежностей забезпечує можливості опису темпоральних знань одночасно у аспектах часу та об'єктному. Подальша формалізація темпоральних знань у аспекті часу

потребує розробки темпоральних правил на базі фактів та операторів, визначених у даній моделі.

3.2 Розробка моделей темпоральних правил

В рамках розробленої в підрозділі 3.1 представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень знання про поведінку об'єкту управління представляються множиною фактів та темпоральних правил.

Факти є судженням про стан об'єкту управління у дискретні моменти часу. Істинність фактів визначається на основі набору значень властивостей артефактів. Темпоральні залежності визначають упорядкованість станів об'єкту управління у часі, тобто визначають допустимі послідовності станів ОУ.

Кожен повний факт $\Phi_{i,j}$, що відображає знання про появу стану $s_{i,j}$ об'єкту управління, представляється предикатом на підмножині атрибутів артефактів. Ці атрибути представляють як управляючу дію, що привела до виникнення стану, так і контекст її виконання. Кожна управляюча дія має статичні та динамічні характеристики. Перші визначають її призначення, задачу, яку вирішує дія, тощо. Другі описують її стан. Контекст виконання управляючої дії задає ситуативні умови та обмеження для реалізації цієї дії. Останні визначаються на основі станів артефактів, пов'язаних із виконанням дії.

Факт Φ_j містить судження про існування відповідного стану s_j на основі значень підмножини змінних – атрибутів артефактів у складі об'єкту управління. Область істинності Y_{Φ_j} такого предикату визначається допустимою множиною наборів значень атрибутів стану ОУ:

$$Y_{\Phi_j} = \{b_k : (\forall k) c_{k,l} \in C^{Operation} \wedge c_{k,l} \in C^{Context} \mid (\forall i) \tau_{i,0} \leq \tau_{i,j} \leq \tau_{i,aim}\}, \quad (3.22)$$

де b_k – атрибут стану об'єкту управління;

$C^{Operation} = \{C_k^{Operation}\}$ – множина допустимих наборів значень атрибутів

артефактів, що визначають управляючі дії;

$C^{Context} = \{C_k^{Context}\}$ – множина наборів допустимих значень атрибутів, що

визначають властивості об'єкту управління в результаті виконання управляючих дій;

$\tau_{i,0}$ – час початку реалізації управлінського рішення на послідовності станів Π_i ;

$\tau_{i,j}$ – момент часу істинності факту $\Phi_{i,j}$, тобто момент виникнення стану $s_{i,j}$ об'єкту управління;

$\tau_{i,aim}$ – момент часу досягнення цільового стану ОУ.

Темпоральні правила визначають упорядкованість у часі для пар логічних фактів. Такі правила формуються на основі типових темпоральних відношень між станами об'єкту управління. Темпоральні відношення та область їх дії щодо послідовностей станів задаються за допомогою темпоральних операторів та кванторів.

Темпоральне правило r_m^j , що використовує темпоральні оператори та квантори, має вигляд:

$$r_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{K_0} \Phi_m, \quad (3.23)$$

де K – темпоральний квантор, що визначає множину послідовностей станів, для яких правило є істинним;

O – темпоральний оператор, що визначає тип темпорального відношення.

В темпоральних правилах (3.23) використовуються квантори темпоральної логіки E (Exists), A (All) [213].

Перший квантор задає істинність правила r_m^j хоча б для однієї послідовності станів $\Pi_i \in \Pi$, тобто хоча б для однієї з альтернатив управлінського рішення. Дане правило визначає послідовність станів або послідовність управляючих дій у певному, одному із альтернативних станів контексту прийняття рішень.

Другий квантор визначає істинність правила r_m^j для всіх послідовностей станів $\Pi_i \in \Pi$, тобто для всіх альтернативних реалізацій багатоваріантного управлінського рішення. Дане правило представляє темпоральні знання про загальні відмінності процесу управління або об'єкту управління, зокрема про технологічні особливості роботи підприємства, і тому має використовуватись при побудові нових управлінських рішень. Наприклад, правила з темпоральним квантором A можуть обумовлювати послідовність розміщення програмного модулю на сервері для автоматизованого тестування. Така послідовність визначається програмним забезпеченням серверу і не залежить від функціональності модуля, що тестується. Тому відповідні темпоральні правила обмежують можливі послідовності управляючих дій.

Таким чином, правило з темпоральним квантором A виступає в якості обмеження при побудові управлінського рішення.

Темпоральний оператор задає характеристики упорядкованості в часі для пари фактів існування станів Φ_j та Φ_m . Типові відношення у часі між цими фактами містять у собі:

- пара послідовних у часі фактів, між якими відсутні інші факти;
- пара послідовних у часі фактів, між якими існує щонайменше один проміжний факт;

– виникнення заданого стану заданого факту після факту – передумови.

Також додатково слід врахувати можливість циклічного повторення фактів та наявність визначеного факту у одній або декількох послідовностях станів Π_i .

Визначення 3.8. Темпоральне правило x_m^j задає відношення між парою послідовних у часі фактів Φ_j та Φ_m , між якими немає інших фактів.

Правило визначається за допомогою темпорального оператора $X(Next)$:

$$x_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{X} \Phi_m, \quad (3.24)$$

Сутність правила x_m^j полягає в тому, що у описі послідовності станів ОУ для довільної послідовності Π_i між моментами $\tau_{i,j}$ та $\tau_{i,m}$, коли виникають стани s_j та s_m , відсутні проміжні моменти часу $\tau_{i,q}$, на яких фіксується виникнення іншого стану $s_{i,q}$ об'єкту управління:

$$\left(\forall s_{i,q} \in \Pi_i \right) \exists (s_{i,j}, s_{i,m}) : (\tau_{i,q} < \tau_{i,j}) \vee (\tau_{i,m} < \tau_{i,q}) \Rightarrow \exists x_m^j. \quad (3.25)$$

Темпоральний квантор E дозволяє визначити умови застосування даного правила для підмножини послідовностей фактів V_i . Правило x_m^j з темпоральним квантором E виконується щонайменше на одній такій послідовності:

$$Ex_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{EX} \Phi_m \mid (\exists V_i) : \Phi_{i,j} \xrightarrow{X} \Phi_{i,m}. \quad (3.26)$$

Приклад правил з темпоральним квантором E , що виконуються на послідовності V_1 представлений на рис. 3.2.

Згідно рис. 3.2, на одній послідовності фактів V_1 представлені два темпоральних відношення типу NeXt: $\Phi_{1,j} \xrightarrow{X} \Phi_{1,j+1}$, $\Phi_{1,j+1} \xrightarrow{X} \Phi_{1,j+2}$. Оскільки ці відношення існують щонайменше на одній послідовності V_1 , то їх слід розглядати як реалізацію темпоральних правил з квантором E та оператором X : $\Phi_j \xrightarrow{EX} \Phi_{j+1}$ та $\Phi_{j+1} \xrightarrow{EX} \Phi_{j+2}$.

Таким чином, темпоральний квантор E задає ймовірну умову істинності факту Φ_m через істинність факту Φ_j у попередній момент часу.

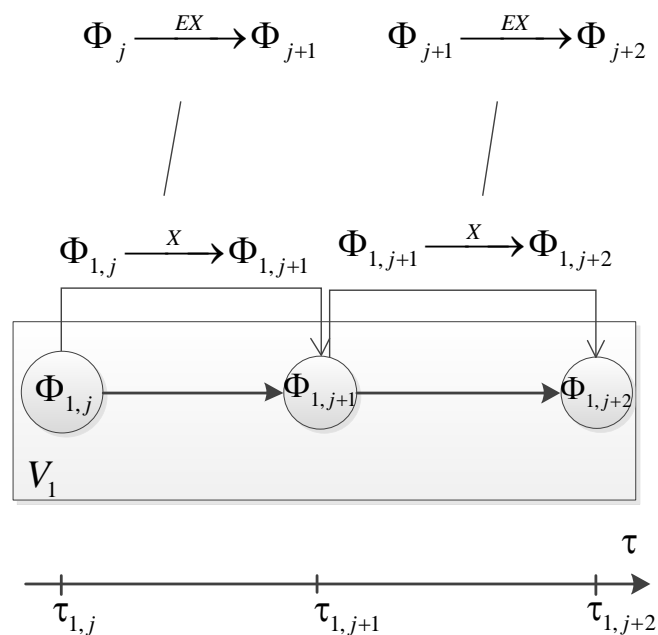


Рисунок 3.2 – Темпоральні правила типу NeXt з квантором E (Exists) для послідовності фактів V_1

Слід зазначити, що відношення між правилом та його реалізацією можна проілюструвати відношенням між класом та екземпляром класу в об'єктно-орієнтованому програмуванні. Тому для темпорального правила індекс послідовності фактів V_1 не вказаний.

Темпоральне правило типу NeXt виступає в якості обмеження в тому випадку, якщо відповідне темпоральне відношення є істинним на всіх відомих послідовностях фактів V_i , що описують процес вирішення задачі управління. Обмеження задається за допомогою темпорального квантору A (All).

$$Ax_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{AX} \Phi_m \mid (\forall V_i) \Phi_{i,j} \xrightarrow{X} \Phi_{i,m}. \quad (3.27)$$

Приклад правила з темпоральним квантором A представлено на рис. 3.3.

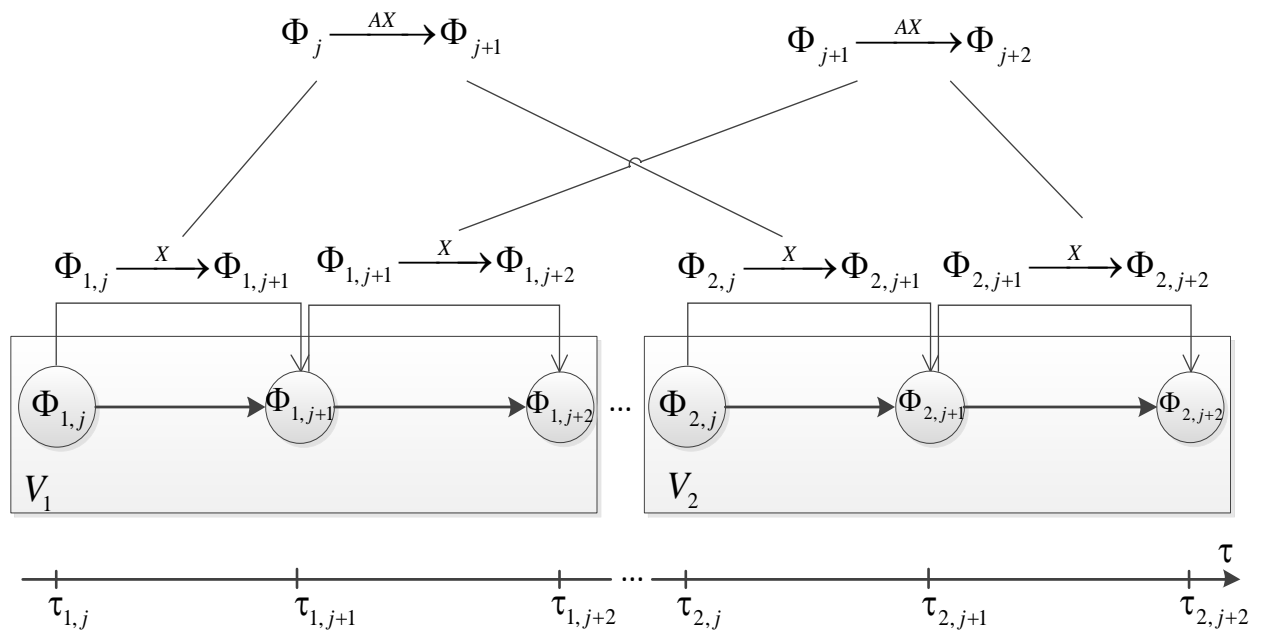


Рисунок 3.3 – Темпоральне правило типу NeXt з квантором квантору A (All) для послідовностей фактів V_1 та V_2

Як видно з рис. 3.3, на всіх відомих послідовностях станів із множини $V = \{V_1, V_2\}$, представлені по два темпоральних відношення типу NeXt: $\Phi_{1,j} \xrightarrow{X} \Phi_{1,j+1}$, $\Phi_{1,j+1} \xrightarrow{X} \Phi_{1,j+2}$, $\Phi_{2,j} \xrightarrow{X} \Phi_{2,j+1}$, $\Phi_{2,j+1} \xrightarrow{X} \Phi_{2,j+2}$. Ці відношення є істинними на обох послідовностях з V , тому їх слід розглядати

як реалізацію темпоральних правил з квантором A та оператором X :
 $\Phi_j \xrightarrow{AX} \Phi_{j+1}$ та $\Phi_{j+1} \xrightarrow{AX} \Phi_{j+2}$.

Обмеження (3.27) задає допустимі варіанти поведінки об'єкту управління, оскільки воно має виконуватись для будь-якої послідовності $V_i \in V$. При практичному застосуванні даного темпорального правила це означає, що послідовності станів, для яких за фактом Φ_j не виконується факт Φ_m , не дають можливості досягти цільового стану об'єкту управління і тому мають бути виключені з подальшого розгляду.

Визначення 3.9. Темпоральне правило f_m^j задає відношення у часі між парою фактів Φ_j та Φ_m , між якими у часі існують проміжні факти.

Дане правило визначається з використанням темпорального оператора F (Future). F – правило має вигляд:

$$f_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{F} \Phi_m. \quad (3.28)$$

Сутність правила f_m^j полягає в тому, що у описі послідовності станів ОУ для довільної послідовності V_i між моментами $\tau_{i,j}$ та $\tau_{i,m}$ коли виникають стани s_j та s_m , є щонайменше один проміжний момент часу $\tau_{i,q}$, для якого відомо про виникнення стану s_q об'єкту управління:

$$\left(\forall s_{i,q} \in \Pi_i \right) \exists (s_{i,j}, s_{i,m}) : \tau_{i,j} < \tau_{i,q} < \tau_{i,m} \Rightarrow \exists f_m^j. \quad (3.29)$$

Темпоральний квантор E визначає, що правило f_m^j виконується хоча б для однієї послідовності фактів V_i :

$$Ef_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{EF} \Phi_m \mid (\exists V_i) : \Phi_{i,j} \xrightarrow{F} \Phi_{i,m}, \quad (3.30)$$

Приклад правила Ef_m^j для послідовності V_1 із трьох фактів представлено на рис. 3.4.

Як видно з рис. 3.4, на послідовності фактів V_1 визначено одне темпоральне відношення типу Future: $\Phi_{1,j} \xrightarrow{F} \Phi_{1,j+2}$.

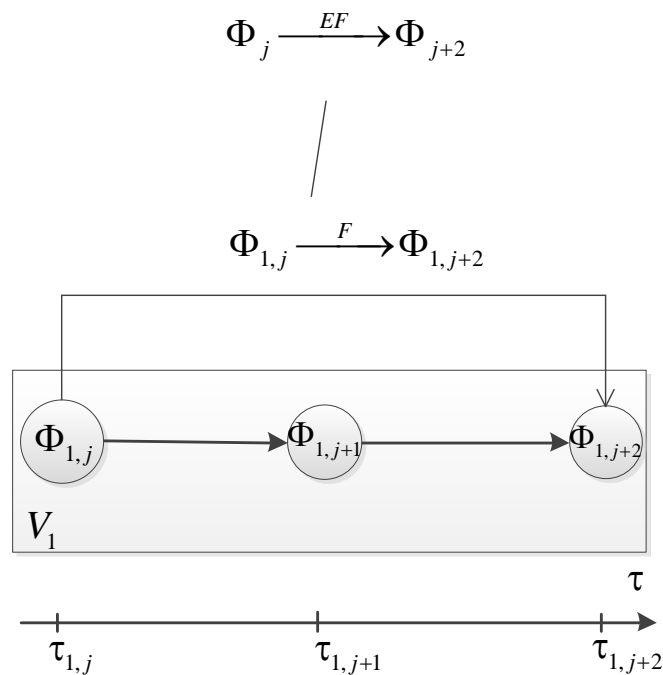


Рисунок 3.4 – Темпоральне правило типу Future з квантором E (Exists) для послідовності фактів V_1

Це відношення існує щонайменше на одній послідовності V_1 , і тому є реалізацією темпорального правила Ef_{j+2}^j , що має вигляд: $\Phi_j \xrightarrow{EF} \Phi_{j+2}$.

Правило типу Future є обмеженням для множини послідовностей фактів V в тому випадку, якщо відповідне темпоральне відношення є істинним для будь-якої послідовності $V_i \in V$.

Темпоральне обмеження Af_m^j задається з використанням квантору A (All):

$$Af_m^j \equiv \Phi_j \xrightarrow{AF} \Phi_m \mid (\forall V_i) \Phi_{i,j} \xrightarrow{F} \Phi_{i,m}. \quad (3.31)$$

Приклад даного правила з темпоральним квантором A представлено на рис. 3.5.

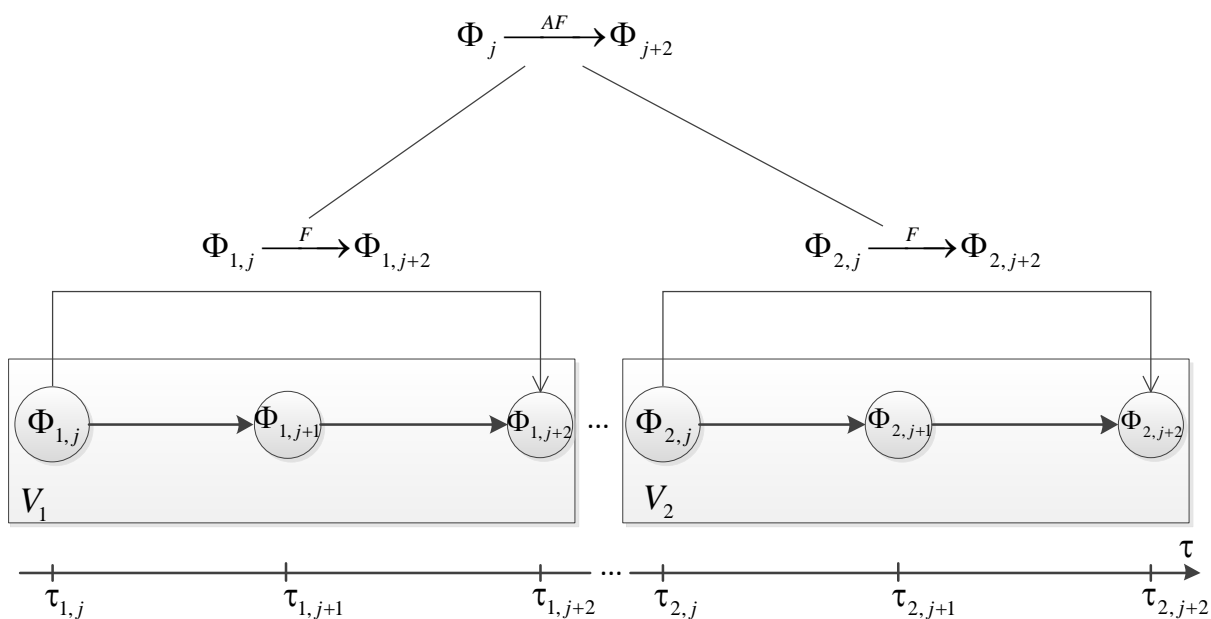


Рисунок 3.5 – Темпоральне правило типу Future з квантором A (All) для послідовностей фактів V_1 та V_2

Згідно рис. 3.5, на всіх відомих послідовностях станів із множини $V = \{V_1, V_2\}$ визначено одне й те ж саме темпоральне відношення типу Future: $\Phi_{1,j} \xrightarrow{F} \Phi_{1,j+2}$, $\Phi_{2,j} \xrightarrow{F} \Phi_{2,j+2}$. Оскільки дане відношення є істинним для любого $V_i \in V$, то маємо дві реалізації обмеження Af_{j+2}^j . Останнє має вигляд: $\Phi_j \xrightarrow{AF} \Phi_{j+2}$.

Визначення 3.10. Темпоральне правило u_m^j задає темпоральне відношення між парою фактів Φ_j та Φ_m із наступними властивостями:

– на послідовності V_i між моментами часу $\tau_{i,j}$ та $\tau_{i,m}$ існують проміжні моменти часу $\tau_{i,q}$, $\tau_{i,j} < \tau_{i,q} < \tau_{i,m}$, в яких зафіксовано факт $\Phi_{i,j}$ виникнення j – стану об’єкту управління в цілому або факти $\Phi_{i,j}^{af_n}$ виникнення стану окремих артефактів af_n ;

– значення факту $\Phi_{i,j}$ є істинним на інтервалі від моменту $\tau_{i,j}$ до моменту часу $\tau_{i,m}$.

Дане правило використовує темпоральний оператор U (Until). Призначення правила u_m^j полягає в тому, щоб описати контекст виконання управляючих дій. Оскільки контекст виконання дій задається через стани артефактів, то факти у даному правилі визначаються відносно артефактів.

Наприклад, правило u_m^j може бути використано для контролю послідовності дій при автоматизованому тестуванні програмного модуля: при успішному завершенні тестування окремого модуля виконується інтеграційне тестування програмної системи в цілому. В якості артефакту в першому випадку розглядається окремий модуль, а в другому – програмна система в цілому.

Правило u_m^j для пари артефактів af_n та af_g визначається наступним чином:

$$u_m^j \equiv \Phi_j^{af_n} \xrightarrow{U} \Phi_m^{af_g}, \quad (3.32)$$

Ключова відмінність правила u_m^j від правила f_m^j полягає в тому, що перший факт залишається істинним до моменту істинності другого факту:

$$\forall \tau_{i,q} \in [\tau_{i,j}, \tau_{i,m}) \exists \Phi_q^{af_n} = \Phi_j^{af_n} : \Phi_{i,q}^{af_n} = true. \quad (3.33)$$

За допомогою темпорального квантору E задається істинність правила Eu_m^j щонайменше для однієї послідовності фактів V_i :

$$Eu_m^j \equiv \Phi_j^{af_n} \xrightarrow{EU} \Phi_m^{af_g} \left((\exists V_i \exists af_n \exists af_g) : \Phi_{i,j}^{af_n} \xrightarrow{U} \Phi_{i,m}^{af_g} \right), \quad (3.34)$$

Додаткова умова наявності артефактів af_n та af_g у виразі (3.34) пов'язана із представленням темпоральних відношень у шкалі «раніше-пізніше». У даній шкалі не враховуються абсолютні значення часу. Тому при зміні артефактів (наприклад, матеріалів, обладнання, виконавців) правила, що використовують ці артефакти, можуть стати застарілими. Умова існування артефактів дозволяє врахувати зміни технологій, постачальників, тощо.

Приклад правила Eu_m^j для послідовності V_1 представлено на рис. 3.6.

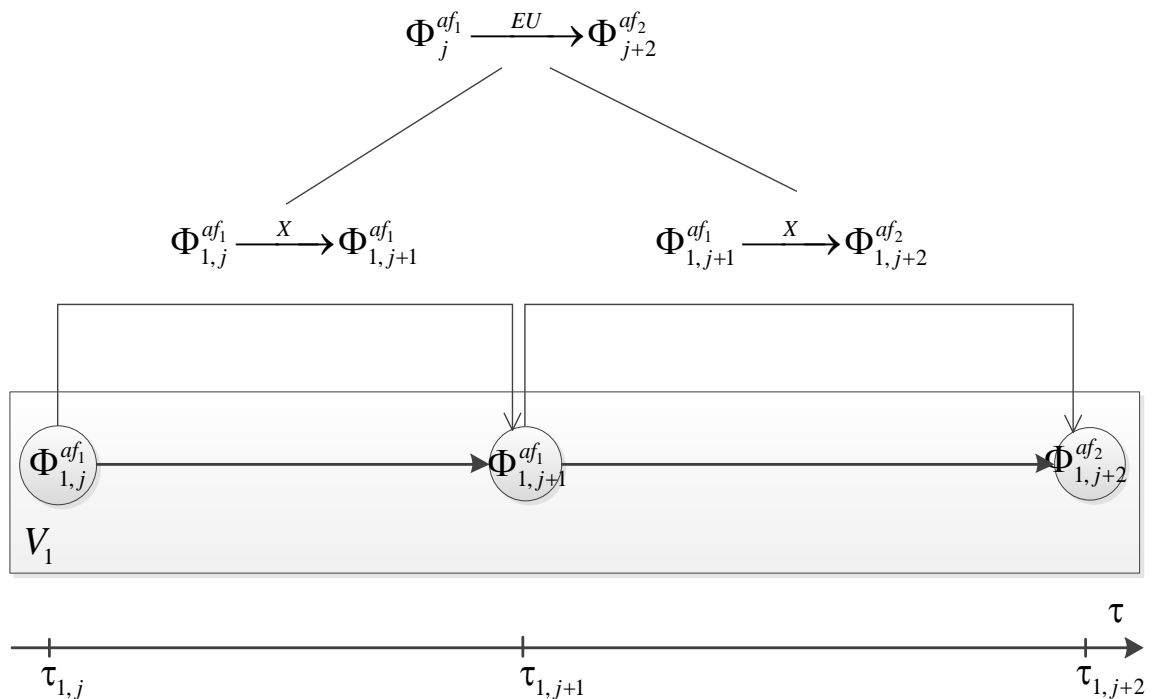


Рисунок 3.6 – Темпоральне правило типу Until з квантором E (Exists) для послідовності фактів V_1

Згідно рис. 3.6 на послідовності з трьох фактів V_1 визначено два послідовних темпоральних відношення типу NeXt: $\Phi_{1,j}^{af_1} \xrightarrow{X} \Phi_{1,j+1}^{af_1}$ та $\Phi_{1,j+1}^{af_1} \xrightarrow{X} \Phi_{1,j+2}^{af_2}$.

Факт $\Phi_{1,j}^{af_1}$ у складі даного темпорального відношення є істинним також і у наступний момент часу $\tau_{1,j+1}$, тобто $\Phi_{1,j}^{af_1} = true$, $\Phi_{1,j+1}^{af_1} = true$. У кінцевий момент часу $\tau_{1,j+2}$ істинним стає факт $\Phi_{1,j+2}^{af_2}$. Згідно виразу (3.33), дана пара відношень формує правило типу Until з квантором E для артефактів af_1 та af_2 : $Eu_{j+2}^j = \Phi_j^{af_1} \xrightarrow{EU} \Phi_{j+2}^{af_2}$.

Правило типу Until виступає в якості обмеження для множини V на підмножині артефактів $\{af_n, af_g\}$ в тому випадку, якщо відповідне темпоральне відношення є істинним для будь-якої послідовності $V_i \in V$. Темпоральне обмеження Au_m^j задається правилом з оператором U та квантором A (All):

$$Au_m^j \equiv \Phi_j^{af_n} \xrightarrow{AU} \Phi_m^{af_g} \left| \left(\forall V_i \exists af_n \exists af_g \right) : \Phi_{i,j}^{af_n} \xrightarrow{U} \Phi_{i,m}^{af_g} \right. \quad (3.35)$$

Приклад правила-обмеження Au_m^j представлено на рис. 3.7.

Згідно рис. 3.7, на обох послідовностях станів із множини $V = \{V_1, V_2\}$, визначені одні й ті ж самі послідовності темпоральних відношень типу NeXt для артефактів af_1 та af_2 , причому $\Phi_{1,j}^{af_1} = \Phi_{2,j}^{af_1} = \Phi_{1,j+1}^{af_1} = \Phi_{2,j+1}^{af_1} = true$. Тобто на обох послідовностях V_1 та V_2 реалізовано одне й те ж саме обмеження типу Until: $\Phi_j^{af_1} \xrightarrow{AU} \Phi_{j+2}^{af_2}$.

Темпоральні правила дають можливість представити циклічне виконання управляючих дій у вигляді послідовності правил типу NeXt або Future.

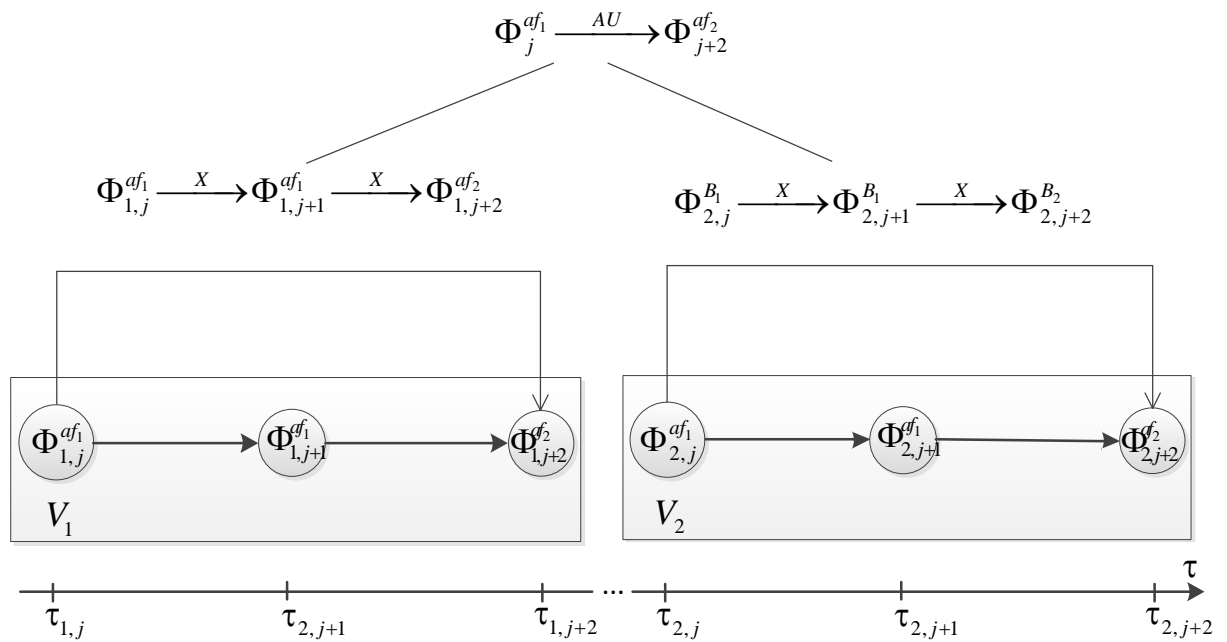


Рисунок 3.7 – Темпоральне правило типу Until з квантором A (All) для послідовностей фактів V_1 та V_2

Для такої послідовності правил стан визначеного артефакту af_n не змінюється:

$$\Phi_j^{af_n} \xrightarrow{X} \Phi_{j+1}^{af_n} \xrightarrow{X} \Phi_{j+2}^{af_n} \mid \Phi_j^{af_n} \equiv \Phi_{j+1}^{af_n} \equiv \Phi_{j+2}^{af_n}, \quad (3.36)$$

$$\Phi_j^{af_n} \xrightarrow{F} \Phi_m^{af_n} \xrightarrow{F} \Phi_q^{af_n} \mid \Phi_j^{af_n} \equiv \Phi_m^{af_n} \equiv \Phi_q^{af_n}. \quad (3.37)$$

Виконання та завершення циклу задається комбінацією темпоральних правил типів NeXt та Until або Future та Until:

$$\left(\Phi_j^{af_n} \xrightarrow{X} \Phi_{j+1}^{af_n} \right) \xrightarrow{U} \Phi_m^{af_g} \mid \Phi_j^{af_n} \equiv \Phi_{j+1}^{af_n}, \quad (3.38)$$

$$\left(\Phi_j^{af_n} \xrightarrow{F} \Phi_q^{af_n} \right) \xrightarrow{U} \Phi_m^{af_g} \mid \Phi_j^{af_n} \equiv \Phi_q^{af_n}. \quad (3.39)$$

У випадку комбінації правил (3.38) послідовність ідентичних фактів $\langle \Phi_j^{af_n}, \Phi_{j+1}^{af_n}, \dots \rangle$ повторюється до тих пір, поки не стане істинним факт $\Phi_m^{af_g}$.

У ситуації (3.39) використання правил типу Future повторюються лише факти $\Phi_j^{af_n}$ та $\Phi_q^{af_n}$, що відповідають початку та завершенню циклу. Вихід з циклу відбувається у момент τ_m істинності факту $\Phi_m^{af_g}$.

Результуючий перелік темпоральних правил з поясненнями наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Темпоральні правила

Тип правила	Обмеження	Умови
Послідовність у часі управляючих дій або станів об'єкту управління	$\Phi_j \xrightarrow{AX} \Phi_m$	$\Phi_j \xrightarrow{EX} \Phi_m$
Пара упорядкованих у часі управляючих дій або станів об'єкту управління, між якими є інші дії (стани ОУ)	$\Phi_j \xrightarrow{AF} \Phi_m$	$\Phi_j \xrightarrow{EF} \Phi_m$
Виникнення заданого стану заданого типового об'єкту - артефакту після передумови у вигляді послідовності ідентичних станів іншого артефакту	$\Phi_j^{af_n} \xrightarrow{AU} \Phi_m^{af_g}$	$\Phi_j^{af_n} \xrightarrow{EU} \Phi_m^{af_g}$

Розглянемо приклад представлення темпоральних залежностей для двох альтернативних фрагментів процесу сервісного обслуговування електронного приладу. Кожний з фрагментів містить у собі упорядковану у часі послідовність станів. У даному прикладі наведено послідовність станів в цілому, без урахування окремих артефактів:

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \langle s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6, s_7, s_8 \rangle, \\ \Pi_2 &= \langle s_1, s_2, s_9, s_7, s_8 \rangle. \end{aligned} \tag{3.40}$$

Тому знання представлені темпоральними правилами типів NeXt та Until. Отримані темпоральні правила наведено в табл. 3.3.

Отримані темпоральні обмеження визначають фрагменти, які є обов'язковими для всіх альтернативних варіантів поведінки об'єкту управління.

Таблиця 3.3 – Темпоральні правила для послідовностей Π_1 та Π_2

Темпоральна залежність	Обмеження	Умови
Послідовність станів	$\Phi_1 \xrightarrow{AX} \Phi_2$, $\Phi_7 \xrightarrow{AX} \Phi_8$	$\Phi_2 \xrightarrow{EX} \Phi_3$, $\Phi_3 \xrightarrow{EX} \Phi_4$, $\Phi_4 \xrightarrow{EX} \Phi_5$, $\Phi_5 \xrightarrow{EX} \Phi_6$, $\Phi_6 \xrightarrow{EX} \Phi_7$, $\Phi_2 \xrightarrow{EX} \Phi_9$, $\Phi_9 \xrightarrow{EX} \Phi_7$
Пара станів, між якими є інші стани	$\Phi_1 \xrightarrow{AF} \Phi_7$ $\Phi_1 \xrightarrow{AF} \Phi_8$ $\Phi_2 \xrightarrow{AF} \Phi_7$ $\Phi_2 \xrightarrow{AF} \Phi_8$	$\Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_4$, $\Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_5$, $\Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_6$, $\Phi_3 \xrightarrow{EF} \Phi_5$, $\Phi_3 \xrightarrow{EF} \Phi_6$, $\Phi_3 \xrightarrow{EF} \Phi_7$, $\Phi_3 \xrightarrow{EF} \Phi_8$, $\Phi_4 \xrightarrow{EF} \Phi_6$, $\Phi_4 \xrightarrow{EF} \Phi_7$, $\Phi_4 \xrightarrow{EF} \Phi_8$, $\Phi_5 \xrightarrow{EF} \Phi_7$, $\Phi_5 \xrightarrow{EF} \Phi_8$, $\Phi_6 \xrightarrow{EF} \Phi_8$, $\Phi_9 \xrightarrow{EF} \Phi_8$

Темпоральні правила, що задають умови виконання управляючих дій, визначають змінні фрагменти у поведінці об'єкту управління, що дає можливість визначити альтернативні управляючі дії.

Знання про процес управління у вигляді набору фактів, а також темпоральних обмежень і умов дозволяють спрогнозувати можливі варіанти поведінки об'єкту управління, і, на цій основі, сформувані нові послідовності управляючих дій.

3.3 Розробка моделі темпоральної бази знань

Темпоральна БЗ орієнтована на підтримку автоматизованої побудови та зберігання темпоральних знань, що мають процедурний характер та формалізують поведінку об'єкту управління й процес управління в умовах невизначеності. Ситуація невизначеності у процесі управління організаційним об'єктом характеризується неповнотою інформації про значення змінних (атрибутів артефактів), які відображають стан ОУ, та зміну цього стану з часом. В даній ситуації застосування традиційних моделей ОУ при вирішенні задач підтримки управлінських рішень пов'язано із суттєвими труднощами.

Сучасні бази знань, що підтримують методи автоматизованого управління, містять знання в рамках визначеного формального представлення, а також алгоритми й засоби побудови, поповнення знань та виводу на знаннях [134], [135], [151]–[154], [214], [215].

Ключовим елементом темпоральної БЗ є представлення темпоральних знань. Запропонована модель представлення знань в темпоральній БЗ орієнтована на автоматизовану побудову процедурних знань. Такі знання формуються на основі аналізу реалізованих у процесі управління послідовностей станів організаційного ОУ. Тому розроблене представлення знань має логіко-ймовірнісний характер.

Логічна складова задає опис поведінки об'єкту управління, що відображає зміну його станів, у вигляді фактів та темпоральних правил. Істинність фактів визначається на основі значень властивостей артефактів предметної області.

Ймовірнісна складова представлена вагами темпоральних правил, що дає можливість визначити ймовірність отриманих на основі комбінації правил альтернативних варіантів управлінського рішення.

Логічна складова базується на формалізації темпоральних знань щодо багаторазового вирішення задач оперативного та тактичного рівнів управління.

Багаторазове вирішення задачі управління, представлене послідовностями станів $\Pi = \{\Pi_i\}$, в БЗ відображається знаннями у формі множини послідовностей фактів $V = \{V_i\}$.

Кожна послідовність V_i складається із фактів $\Phi_{i,j}$ виникнення станів ОУ. В попередніх підрозділах було показано, що для кожної пари фактів $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m})$ виникнення пари станів, що відображають виникнення станів $(s_{i,j}, s_{i,m}) \in \Pi_i$ існують темпоральні залежності. Відповідно, такі ж залежності існують для послідовностей V_i , що відображають в базі знань послідовності станів Π_i . Однак між фактами із різних послідовностей V_i та V_n такі відношення не задані, оскільки ці послідовності могли бути сформовані у різні періоди часу. Тому узагальнення фактів $\Phi_{i,j} \in V_i$, $\Phi_{n,j} \in V_n$ із різних послідовностей дає можливість побудувати узагальнені темпоральні правила, які є істинними для декількох послідовностей V_i .

При кожній реалізації задач оперативного та тактичного рівня моменти часу $\tau_{i,j}$ виникнення одних і тих же фактів $\Phi_{i,j}$, $\Phi_{n,j}$ на послідовностях V_i та V_n будуть відрізнятись, однак вони будуть складатись із тих же самих елементарних фактів.

Визначення 3.11. Відношення еквівалентності \sim фактів $\Phi_{i,j}$ та $\Phi_{n,j}$ виникнення стану s_j об'єкту управління із різних послідовностей $V_i \neq V_n$ є бінарним відношенням, що задовольняється у випадку співпадіння елементарних фактів, що входять до складу $\Phi_{i,j}$ та $\Phi_{n,j}$ відповідно:

$$\Phi_{i,j} \sim \Phi_{n,j} : (\forall k \forall l) \varphi_{i,j}^{k,l} \equiv \varphi_{n,j}^{k,l}, \quad (3.41)$$

де $\varphi_{i,j}^{k,l}$, $\varphi_{n,j}^{k,l}$ – елементарні факти у складі фактів $\Phi_{i,j}$ та $\Phi_{n,j}$.

Елементарні факти $\varphi_{i,j}^{k,l}$ та $\varphi_{n,j}^{k,l}$ є еквівалентними, якщо в них співпадають значення $c_{k,l}$ відповідних атрибутів b_k .

Визначення відношення еквівалентності фактів (3.41) дає можливість формувати темпоральні правила в рамках лінійної логіки, тобто на основі опису процесу управління у вигляді лінійної послідовності управляючих дій, що створює лінійну послідовність станів ОУ.

Дане відношення визначає еквівалентність фактів, що характеризують настання певного стану об'єкту управління в результаті виконання управляючих дій із різних послідовностей V_i . Тому у відношенні еквівалентності $\Phi_{i,j} \sim \Phi_{n,j}$ з урахуванням визначення фактів (3.1) враховується лише кон'юнкція елементарних фактів й не враховується відмінність у моментах часу $\tau_{i,j}$ та $\tau_{n,j}$, коли відповідні факти $\Phi_{i,j}$ та $\Phi_{n,j}$ стали істинними:

$$\Phi_{i,j} \sim \Phi_{n,j} \equiv \bigwedge_{k=1}^K \varphi_{i,j}^{k,l} \sim \bigwedge_{k=1}^K \varphi_{n,j}^{k,l}. \quad (3.42)$$

Відношення еквівалентності має властивості рефлексивності, симетричності та транзитивності.

Властивість рефлексивності задає еквівалентність одного й того ж факту $\Phi_{i,j}$ для будь-якої послідовності V_i :

$$(\forall i \forall j) \Phi_{i,j} \sim \Phi_{i,j}. \quad (3.43)$$

Кожен з фактів $\Phi_{i,j}$ та $\Phi_{n,j}$ визначається через кон'юнкцію елементарних фактів. Тому властивість (3.43) визначає еквівалентність однієї й тієї ж множини елементарних фактів, які є істинними при реалізації альтернативних варіантів процесу управління у різні моменти часу.

Властивість симетричності задає еквівалентність фактів $\Phi_{i,j}$ та $\Phi_{n,j}$ на різних послідовностях V_i та V_n :

$$(\forall i \forall n) (\Phi_{i,j} \sim \Phi_{n,j}) \Rightarrow (\Phi_{n,j} \sim \Phi_{i,j}). \quad (3.44)$$

Оскільки послідовності фактів V_i та V_n відповідають послідовностям станів із різних варіантів вирішення однієї й тієї ж задачі у різні періоди часу, то властивість симетричності задає еквівалентність фактів незалежно від часу їх виникнення.

Властивість транзитивності для еквівалентних фактів визначається традиційно:

$$(\forall i \forall n \forall h) (\Phi_{i,j} \sim \Phi_{n,j}) \wedge (\Phi_{n,j} \sim \Phi_{h,j}) \Rightarrow (\Phi_{i,j} \sim \Phi_{h,j}). \quad (3.45)$$

Дана властивість вказує на можливість оперативно доповнювати множину еквівалентних фактів при реалізації нової альтернативи вирішення однієї й тієї ж задачі. Таке швидке доповнення виконується шляхом порівняння одного із відомих еквівалентних фактів $\Phi_{n,j}$ із новим фактом $\Phi_{h,j}$, що став істинним в результаті поточної реалізації управлінського рішення.

Сукупність розглянутих властивостей відношення еквівалентності свідчить про можливість однозначно порівнювати факти із різних

послідовностей V_i та V_n й формувати множини, або класи еквівалентних фактів.

Визначимо клас еквівалентності $[\Phi_j]$, який узагальнює всі відомі факти $\Phi_{i,j}$ із різних послідовностей V_i , таким чином:

$$[\Phi_j] = \{\Phi_{i,j} : (\forall i) \Phi_j \sim \Phi_{i,j}\}. \quad (3.46)$$

У відповідності до даного визначення, знання про виникнення стану s_j об'єкту управління задаються у темпоральній БЗ єдиним класом фактів $[\Phi_j]$, елементи якого є істинними у різні моменти часу $\tau_{i,j}$ на різних послідовностях станів Π_i , представлених у БЗ послідовностями фактів V_i .

Згідно (3.46), вся множина фактів Φ , що містить знання про всі відомі стани об'єкту управління $S = \{s_j\}$, розбивається на підмножини непересічних класів еквівалентності $[\Phi_j]$:

$$\Phi = \bigcup_{j=1}^{|\Phi|} [\Phi_j], \quad (3.47)$$

$$(\forall j \neq n) [\Phi_j] \cap [\Phi_n] = \emptyset. \quad (3.48)$$

Таким чином, факти $\Phi_{i,j}$ виникнення стану s_j на послідовностях V_i , що належать до класу $[\Phi_j]$, доцільно розглядати як реалізації факту Φ_j існування стану s_j для різних альтернатив управлінського рішення.

Даний підхід реалізує концепцію об'єктно-орієнтованого проектування, де $[\Phi_j]$ відповідає класу у програмі, а $\Phi_{i,j}$ – екземпляру цього класу. Реалізація

такої концепції дає можливість виділити патерни в рамках представлення знань та заповнити ці патерни темпоральними знаннями у процесі автоматизованого поповнення темпоральної бази знань при вирішенні задачі підтримки управлінського рішення.

Виділення непересічних множин еквівалентних фактів дає можливість побудувати темпоральні правила r_m^j на множині послідовностей фактів $V = \{V_i\}$, визначаючи темпоральний порядок для фактів з різних класів еквівалентності $[\Phi_j]$ та $[\Phi_m]$:

$$(\forall m \forall j) \exists r_m^j : [\Phi_j] \cap [\Phi_m] = \emptyset, \quad (3.49)$$

де r_m^j – темпоральне правило, що задає послідовність у часі для пари фактів із різних класів еквівалентності $[\Phi_m]$ та $[\Phi_j]$.

Виділення правил, що задають темпоральний порядок для фактів з різних класів еквівалентності, дає можливість визначити клас еквівалентності таких правил.

Визначення 3.13. Клас еквівалентності темпоральних правил $[r_m^j]$ задає порядок у часі для кожної пари фактів $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m})$, що належать до однієї послідовності V_i та до різних класів еквівалентності $[\Phi_j]$ й $[\Phi_m]$:

$$[r_m^j] = \{r_{i,m}^{i,j} : (\forall i) r_m^j \sim r_{i,m}^{i,j}, [\Phi_j] \cap [\Phi_m] = \emptyset\}. \quad (3.50)$$

де $r_{i,m}^{i,j}$ – реалізація правила r_m^j для фактів $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m})$ на послідовності V_i .

У відповідності до визначення (3.50), пари фактів $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m})$, що входять до складу темпорального правила r_m^j , можуть належати до різних

послідовностей $V_i \in V$. Відповідні правила $r_{i,m}^{i,j}$ належать до одного класу еквівалентності $[r_m^j]$.

Властивість рефлексивності визначає еквівалентність правила r_m^j для всіх послідовностей V_i , на яких воно існує:

$$\forall [r_m^j] \exists V_i : r_{i,m}^{i,j} \sim r_{i,m}^{i,j}. \quad (3.51)$$

Властивість симетричності задає еквівалентність кожного правила $r_{i,m}^{i,j}$ та $r_{n,m}^{n,j}$ на послідовностях V_i та V_n незалежно від періоду часу, коли виконувались ці послідовності:

$$\left(\forall V_i \forall V_n : \tau_{i,j} \neq \tau_{n,j} \right) \left(r_{i,m}^{i,j} \sim r_{n,m}^{n,j} \right) \Rightarrow \left(r_{n,m}^{n,j} \sim r_{i,m}^{i,j} \right), \quad (3.52)$$

де $\tau_{i,j}$ та $\tau_{n,j}$ – моменти виникнення j – стану ОУ, тобто істинності фактів $\Phi_{i,j}$ та $\Phi_{n,j}$.

Властивість симетричності відображає відносну темпоральну упорядкованість фактів $\Phi_{i,j}$ та $\Phi_{i,m}$ для правил r_m^j .

Властивість транзитивності для еквівалентних правил $r_{i,m}^{i,j}$, $r_{h,m}^{h,j}$ та $r_{n,m}^{n,j}$ задається для різних послідовностей фактів V_i , V_n та V_h :

$$\begin{aligned} & \left(\forall V_i \forall V_n \forall V_h : \tau_{i,j} \neq \tau_{n,j} \neq \tau_{h,j} \right) \\ & \left(r_{i,m}^{i,j} \sim r_{n,m}^{n,j} \right) \wedge \left(r_{n,m}^{n,j} \sim r_{h,m}^{h,j} \right) \Rightarrow \left(r_{i,m}^{i,j} \sim r_{h,m}^{h,j} \right), \end{aligned} \quad (3.53)$$

де $\tau_{i,j}$, $\tau_{n,j}$ та $\tau_{h,j}$ – моменти виникнення j – стану ОУ, тобто істинності фактів $\Phi_{i,j}$, $\Phi_{n,j}$ та $\Phi_{h,j}$.

Дана властивість забезпечує можливість циклічного доповнення множини еквівалентних правил на основі порівняння нового правила $r_{h,m}^{h,j}$ з одним із відомих правил $r_{i,m}^{i,j}$.

Таким чином, клас еквівалентності $[r_m^j]$ задає узагальнене правило r_m^j , яке реалізується на послідовностях V_i у вигляді $r_{i,m}^{i,j}$. Тобто квантори А(All) та Е(Exist) можуть бути застосовані лише до узагальненого правила r_m^j , а не до його реалізації.

Представлене визначення класів еквівалентності темпоральних правил дає можливість представити логічну складову знань у вигляді графу, вершинами якого є факти, а дугами – темпоральні правила.

Факти - вершини графу отримують значення із множини $\{True, False\}$ після підстановки значень атрибутів (властивостей типових об'єктів-артефактів) у відповідні елементарні факти. Факти та темпоральні правила задаються за допомогою формул логіки і тому їх можна розглядати як обмеження на множині можливих станів ОУ та послідовностей дій у складі управлінського рішення. Ймовірнісна складова представлення знань задається через вагу темпоральних правил. Вага правила встановлює важливість обмежень щодо послідовності станів ОУ або послідовності управляючих дій. Чим вищою є вага правила, тим більш жорстко виконуються обмеження, які це правило встановлює.

При максимальному значенні ваги в ∞ , управлінське рішення має обов'язково задовільнити обмеження, що визначені темпоральним правилом. Це означає, що відповідне темпоральне правило r_m^j має реалізації $r_{i,m}^{i,j}$ на всіх відомих послідовностях $V_i \in V$ і його вага є максимальною:

$$\left(\forall r_m^j \forall V_i \right) \exists r_{i,m}^{i,j} \Rightarrow w_m^j = \infty, \quad (3.54)$$

де w_m^j – вага темпорального правила-обмеження r_m^j .

Правило-обмеження має виконуватись на всіх отриманих в результаті виводу в базі знань нових послідовностях фактів V_i^{new} :

$$(\forall i)V_i^{new} |_{=r_m^j} w_m^j = \infty. \quad (3.55)$$

де w_m^j – вага темпорального правила r_m^j .

Згідно (3.55), використання обмежень при формування нових реалізацій управлінського рішення дає можливість знизити розмірність задачі підготовки УР. Всі варіанти реалізації управлінського рішення, що не задовольняють обмеженням, мають бути виключені з подальшого розгляду.

Використання ймовірнісної складової дає можливість пом'якшити обмеження на допустимі послідовності дій з тим, щоб була можливість сформувати більш ефективні послідовності дій із реалізації УР. Чим частіше порушуються темпоральні правила при реалізації управління, тим меншою є ймовірність реалізації відповідного темпорального правила та послідовності фактів V_i .

У випадку, якщо правило було виконано хоча б один раз та було порушено на всіх інших послідовностях фактів, то його вага буде малою, але все ж відрізнятиметься від нуля. Використання такого темпорального правила в базі знань дає можливість сформувати малоймовірні, але, можливо, ефективні у певних ситуаціях альтернативні варіанти УР. Такі ситуації можуть виникати, наприклад при зміні визначеного порядку дій виконавцями у процесі управління. Виконавці можуть використовувати свої персональний досвід та знання і, з урахуванням поточного стану предметної області, відкоригувати послідовність дій з тим, щоб підвищити ефективність або результативність управління.

У запропонованому представленні знань логічна складова виступає в якості шаблону, який доповнюється вагами правил, що мають ймовірнісний характер.

Визначення ваг правил базується на марківській властивості, згідно якої майбутні значення змінних залежать лише від їх поточних значень, та не залежить від дій, що привели до виникнення поточних значень. Дана властивість є характерною для послідовностей V_i згідно представленого у попередньому підрозділі визначення фактів. Дійсно, факт задається через кон'юнкцію елементарних фактів, кожен з яких задає значення одного із атрибутів. Сукупність атрибутів відображає стан об'єкту управління на момент завершення відповідної управляючої дії, що привела до переходу від стану $s_{i,j-1}$ до стану $s_{i,j}$. Тобто значення атрибутів містять інформацію про виконані управляючі дії. Тому кожен факт $\Phi_{i,j}$ на послідовності V_i залежить лише від факту $\Phi_{i,j-1}$.

Таким чином, послідовності фактів V_i мають марківську властивість. Кожен факт Φ_j існування стану s_j при виконанні управлінських рішень, що відповідає класу еквівалентності $[\Phi_j]$, може стати істинним в різні моменти часу на різних V_i , причому взаємний вплив між змінними, що визначають істинність елементарних фактів, не є доступним для формалізації. Тому узагальнений факт існування стану Φ_j може розглядатись як ймовірнісна змінна. Узагальнені правила r_m^j , що представляють класи еквівалентності $[r_m^j]$ та задають зв'язки між фактами існування станів, теж мають ймовірнісний характер. Множина реалізацій темпоральних правил визначає зв'язки між всіма фактами у складі кожної послідовності V_i . Тому сукупна важливість (вага) правил визначає потенціал реалізації послідовності управляючих дій, що задаються цими знаннями.

Розглянуті особливості темпоральних правил дають можливість використати для представлення невизначеності темпоральних знань підхід на основі марківських логічних мереж [233], [234]. Згідно даного підходу, ймовірнісний розподіл послідовностей фактів V_i для всіх можливих альтернатив управлінського рішення може бути представлений у такому вигляді:

$$P(v = V_i) = \frac{1}{Z} \prod_j \psi_{i,j}, \quad (3.56)$$

де $\psi_{i,j}$ – сукупний потенціал реалізацій правил $r_{i,m}^{i,j}$ на послідовності фактів V_i ;

Z – функція, яка використовується для нормалізації здобутку факторів.

У відповідності до (3.56), сукупний потенціал темпоральних знань $\psi_{i,j}$ визначає ймовірність реалізації послідовності V_i , що описується цими знаннями.

Функція Z визначає сукупний потенціал всіх правил на всіх послідовностях V_i :

$$Z = \sum_i \left(\prod_j \psi_{i,j} \right). \quad (3.57)$$

Сукупність потенціалів $\Psi = \{\Psi_i\}$, $\Psi_i = \{\psi_{i,1}, \dots, \psi_{i,j}, \dots, \psi_{i,|\Psi|}\}$ визначає спільний розподіл послідовностей фактів V_i , що задаються за допомогою темпоральних знань. Такий розподіл визначає ймовірність кожної альтернативи V_i управлінського рішення.

Потенціал $\psi_{i,j}$, згідно запропонованого в роботах [159], [235] підходу, визначається через ваги ймовірнісних змінних. Потенціал реалізації послідовностей V_i визначається через ваги темпоральних правил з урахуванням темпоральних обмежень.

Чим більше сумарна вага правил, що описують послідовність фактів V_i (за винятком темпоральних обмежень), тим вище ймовірність реалізації цієї послідовності:

$$\psi_{i,j} = \exp\left(\sum_m (w_m^j | \exists r_{i,m}^{i,j}, w_m^j \neq \infty)\right), \quad (3.58)$$

де w_m^j – вага правила r_m^j , що має реалізацію $r_{i,m}^{i,j}$ на послідовності фактів V_i .

Вага обмежень задається як $w_m^j = \infty$. Правила з такою вагою виключаються із обчислення потенціалу.

Ймовірнісний розподіл для альтернатив у складі багатоваріантного управлінського рішення згідно (3.56) та (3.58), а також з урахуванням темпоральних обмежень має вигляд:

$$P(v = V_i) = \frac{1}{Z} \exp\left(\sum_j \sum_m (w_m^j | \exists w_{i,m}^{i,j}, w_{i,m}^{i,j} \neq \infty)\right). \quad (3.59)$$

Даний розподіл задає ймовірності для можливих альтернативних варіантів у складі багатоваріантного управлінського рішення. Кожна з цих альтернатив формується на основі знань, представлених правилами r_m^j з вагою w_m^j . Множина темпоральних правил задає упорядковану у часі послідовність фактів V_i , яка відображає у БЗ послідовність станів Π_i об'єкту управління.

Таким чином, ймовірнісна складова запропонованого представлення знань задається через вагу темпоральних правил. Ймовірність реалізації послідовності управляючих дій у заданому контексті залежить від сумарної ваги правил r_m^j , що описують цю послідовність, а також наявних обмежень з вагою $w_m^j = \infty$.

Контекст визначається поточними значеннями атрибутів артефактів, що входять до складу об'єкту управління.

Запропоноване логіко-ймовірнісне представлення темпоральних знань Kr має такий вигляд:

$$Kr = \{ \mathcal{F}, \mathcal{R}, \mathcal{V}, H : (\forall V_i \in \mathcal{V}) \exists r_m^j \in \mathcal{R} : P(V_i) > 0 \}, \quad (3.60)$$

де $\mathcal{F} = \{ \Phi_j \}$ – множина фактів Φ_j існування станів s_j , що представляють

класи еквівалентності $[\Phi_j]$;

$\mathcal{R} = \{ (r_m^j, w_m^j) \}$ – множина зважених темпоральних правил, що

представляють класи еквівалентності $[r_m^j]$;

$\mathcal{V} = \{ V_i : (\forall i \forall j) \exists r_{i,m}^{i,j} \sim r_m^j \}$ – підмножина послідовностей фактів виникнення

станів ОУ, що може бути повністю описана правилами r_m^j із множини \mathcal{R} ;

H – набір операцій поєднання, перетину, а також різниці фактів;

$P(V_i)$ – ймовірність реалізації послідовності станів V_i , що обчислюється згідно виразу (3.59).

Дана модель забезпечує можливість формування у реальному часі послідовності дій у складі управлінського рішення відносно поточного стану ОУ. Оцінкою кожної альтернативи управлінського рішення є ймовірність переходу від поточного до цільового стану об'єкту управління з урахуванням темпоральних обмежень.

Для прогнозування ймовірності досягнення цільового стану необхідно сформулювати підмножину актуальних послідовностей фактів $\mathcal{V} = \{V_i\}$, визначити темпоральні правила, що описують ці послідовності, та обчислити ймовірність кожної V_i згідно виразу (3.59). Такі дії можуть бути повторені для кожного нового факту $\Phi_{i,j}$, що відображає виникнення відповідного стану $s_{i,j}$ об'єкту управління.

Це дає можливість вирішити задачу формування багатоваріантного управлінського рішення у випадку виникнення аномальної ситуації, тобто при непередбачуваній зміні поточного стану ОУ внаслідок, наприклад, нетипових дій виконавців.

Виникнення нових станів ОУ потребує уточнення знань, а саме множини фактів, що відображають нові, актуальні стани об'єкту управління, а також множини темпоральних правил та їх ваг. Таким чином, логіко-ймовірнісне представлення знань забезпечує можливість автоматизованого поповнення темпоральних знань по мірі появи нових станів об'єкту управління. В результаті побудова й оцінка ймовірності реалізації кожної з альтернатив управлінського рішення виконується на основі актуальних знань як щодо стану ОУ (уточнена множина фактів), так і щодо процесу управління (уточнена множина темпоральних правил).

При доповненні бази знань на основі нових фактів можуть виникнути дві альтернативні ситуації: новий факт $\Phi_{i,j}$ належать або не належить до класу еквівалентності Φ_j .

Перший випадок свідчить про реалізацію відомого процесу управління і знання поповнюються, як було представлено вище. Якщо ж новий факт $\Phi_{i,j}$ не належать до класу еквівалентності Φ_j , то це є ознакою можливої нетипової (аномальної) ситуації, що потребує вирішення задачі підтримки управлінських рішень.

Темпоральна БЗ формується на основі представлення знань (3.60) та охоплює декларативні й процедурні знання, а також методи побудови темпоральних знань та виводу на знаннях.

Декларативні знання задані фактами та послідовностями фактів. Процедурні знання задаються темпоральними правилами. Також БЗ містить засоби (методи, алгоритми) побудови, уточнення та використання темпоральних знань.

Модель темпоральної бази знань має вигляд:

$$Kb = \langle Kr, \Phi, V, R, W, Ad, Wd \rangle. \quad (3.61)$$

де Kr – представлення знань, що задає «шаблони» для побудови фактів та темпоральних правил на основі даних щодо станів об'єкту управління;

Φ – множина фактів існування станів Φ_j об'єкту управління, що представляють відповідні класи еквівалентності $[\Phi_j]$;

$V = \{V_i\}$ – множина послідовностей фактів $\Phi_{i,j}$ виникнення станів ОУ при реалізації задач управління;

R – множина реалізованих темпоральних правил;

W – множина зважених темпоральних правил;

Ad – засоби автоматизованої побудови та поповнення бази знань;

Wd – засоби виводу на темпоральних знаннях.

Представлена модель орієнтована на відображення багатоваріантної поведінки об'єкту управління в межах розробленого представлення темпоральних знань, а також поповнення цих знань по мірі реалізації процесу управління та виводу на знаннях для формування нової послідовності управлінських рішень з метою досягти цільового стану ОУ у випадку виникнення аномального стану об'єкту управління.

Висновки до розділу 3

1. Вперше запропоновано модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень, яка містить множину фактів, що відображають знання щодо виникнення станів об'єкту управління, з заданими темпоральними операторами, які визначають послідовність пар фактів у часі, та визначеними операціями поєднання, перетину, а також різниці фактів. Модель дає можливість побудувати двохаспектний опис темпоральних знань, який у темпоральному аспекті відображає послідовність станів об'єкту управління, а в об'єктному аспекті представляє його організаційну ієрархію.

2. Запропоновано ансамбль моделей темпоральних правил. Правила містять знання щодо порядку у часі для пар фактів виникнення станів об'єкту управління, а також станів базових об'єктів-артефактів. Для правил враховуються моменти виникнення інших станів об'єкту управління. Розроблені моделі дають можливість сформувати такі нові послідовності станів, що забезпечують досягнення цільового стану об'єкту управління при вирішенні задач підтримки управлінського рішення.

3. Розроблено логіко-ймовірнісну модель представлення темпоральних знань. Логічна складова моделі представлена темпоральними правилами, що задають порядок у часі для фактів виникнення станів об'єкту управління. Ймовірнісна складова задається через ваги темпоральних правил. Сума ваг темпоральних правил, що описують кожну альтернативу багатоваріантного управлінського рішення, визначає ймовірність реалізації цих альтернатив. Запропонована модель, на відміну від існуючих, враховує темпоральні обмеження, які мають виконуватись для всіх альтернатив управлінського рішення. Модель забезпечує умови для підтримки формування багатоваріантного управлінського рішення на основі ймовірнісного виводу в темпоральній базі знань.

4. Розроблено модель темпоральної бази знань, яка базується на логіко-ймовірнісному представленні знань та містить факти й правила, що представляють собою знання щодо процесів управління, а також засоби побудови та використання темпоральних знань. Модель дає можливість автоматизувати управління знаннями шляхом побудови темпоральних правил та подальшого використання цих знань для виявлення проблемних ситуацій у процесі управління й формування багатоваріантного управлінського рішення при виявленні таких ситуацій.

4 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ ТЕМПОРАЛЬНИХ БАЗ ЗНАНЬ

Запропоновані у розділі 3 моделі представлення темпоральних знань забезпечують можливість вирішення задачі побудови темпоральної бази знань. В рамках даної задачі виконується формування фактів виникнення та існування станів об'єкту управління, побудова темпоральних залежностей та темпоральних правил, що визначають упорядкованість цих фактів у часі, а також знаходження ваг темпоральних правил.

Ваги правил виявляються в залежності від ймовірностей послідовностей фактів, що відображають відомі, успішно реалізовані альтернативи управлінського рішення. Зважені правила дають можливість побудувати та обчислити ймовірності нових альтернатив управлінського рішення у процесі підтримки прийняття рішень.

При побудові темпоральної бази знань в якості вхідних даних використовуються упорядковані у часі послідовності станів об'єкту управління.

Для вирішення даної задачі необхідно розробити:

- метод побудови бази темпоральних знань для підтримки прийняття управлінських рішень;
- методи побудови темпоральних правил;
- удосконалити метод визначення ваг темпоральних правил з урахуванням відомих ймовірностей послідовностей станів об'єктів управління, отриманих в результаті реалізації управлінських рішень;
- розробити інформаційну технологію побудови темпоральної бази знань.

Розроблені у даному розділі методи базуються на роботах [159], [215], [233], [235]–[240] та розвивають результати, що були запропоновані у роботах [186]–[189], [241]–[256].

4.1 Розробка методів побудови бази темпоральних знань для підтримки прийняття управлінських рішень

Традиційні підходи до побудови баз знань вимагають значних витрат часу кваліфікованих фахівців для того, щоб формалізувати експертний досвід у вигляді причинно-наслідкових залежностей. Тому такі методи мало придатні для побудови баз знань для підтримки управлінських рішень.

В останнє десятиліття набули поширення методи, підходи й технології автоматизованої побудови баз знань. Ці методи призначені для виявлення знань у великих базах даних, доступних в мережі Інтернет. Однак зазначені підходи мають істотний недолік, який звужує сферу їх використання: вони орієнтовані на статичний опис залежностей предметної області.

У той же час, при використанні бази знань для підтримки прийняття управлінських рішень необхідно постійно, синхронно з процесом управління, оновлювати знання про факти щодо стану об'єкту управління та зв'язки між цими фактами. Також необхідно враховувати можливість розгляду фактів на різних рівнях деталізації з урахуванням відповідних рівнів організаційної ієрархії об'єкту управління, а також багатоваріантність зв'язків між цими фактами.

В розділах 2 та 3 було показано, що ключовим елементом процесу автоматизованої побудови темпоральної бази знань є побудова темпоральних правил, що використовуються для підтримки рішень з організаційного управління в умовах невизначеності. Невизначеність відображає неповноту інформації про поточний стан та динаміку стану відповідного підприємства як об'єкту управління, а також про поточні зовнішні впливи. Невизначеність щодо об'єкту та процесу управління пов'язана з неповнотою їх моделей. Остання є наслідком використання у процесі управління не лише явних знань, представлених формалізованими послідовностями управляючих дій, а й неявних контекстно-орієнтованих персональних знань виконавців. В рамках

процесу управління виконавці можуть вибрати або змінити послідовність управляючих дій з урахуванням персонального досвіду та знань у відповідності до інформації щодо поточного стану предметної області. Такі неформальні предметно-залежні знання, як правило, не відображені у моделях об'єкту та процесу управління, однак вони можуть бути представлені у вигляді темпоральних залежностей.

Темпоральні знання, як було показано у попередньому розділі, відображають темпоральну упорядкованість управляючих дій, а також результати реалізованих управляючих дій, представлених відповідними послідовностями станів об'єкту управління. Запропонований в розділі 3 підхід до представлення знань дає можливість враховувати ієрархічну структуру об'єкту управління і розглядати в якості стану ОУ не лише поточний стан підприємства в цілому, але і стан його окремих підрозділів. Такий підхід створює умови для формалізації темпоральної упорядкованості управляючих дій на різних рівнях організаційної ієрархії підприємства.

При вирішенні задач підтримки управлінських рішень база темпоральних знань має забезпечувати можливість виявлення нетипових станів ОУ в умовах невизначеності, а також подальшого формування набору альтернативних послідовностей управляючих дій із досягнення цільового стану об'єкту управління.

Згідно представленої у розділі 2 концепції автоматизованого управління темпоральними БЗ для підтримки управлінських рішень, при формуванні темпоральних знань необхідно врахувати особливості використання інформації на оперативному, тактичному та стратегічному рівнях організаційного управління.

На рівні оперативного управління за допомогою систем обробки транзакцій (TPS) вирішуються структуровані задачі з рутинної обробки даних за апіорно відомими алгоритмами із заданою структурою вхідних даних. В

результаті вирішення цих задач фіксується інформація про зміну стану окремих елементів об'єкту управління.

Частково структуровані задачі, що вирішуються з використанням ІУС (MIS) на рівні тактичного управління, поєднують формальні алгоритми управління на неформалізовані підходи до вибору цих алгоритмів. Такий неформалізований вибір здійснюється керівництвом середнього рівня з використанням персонального досвіду та знань та з урахуванням інформації щодо поточних зовнішніх впливів в межах підприємства. В результаті вирішення цих задач зберігаються дані про стани об'єкту управління на визначених рівнях ієрархії.

Неструктуровані задачі вирішуються на стратегічному рівні управління вищим керівництвом з використанням систем підтримки виконання рішень (ESS). При вирішенні задач, структура яких не є відомою, використовується персональний досвід, знання, а також інформація щодо стану підприємства та зовнішнього середовища.

Дана інформація надходить від інформаційних систем із тактичного та оперативного рівнів управління. З використанням статистичних алгоритмів та методів інтелектуального аналізу даних із такої інформації формуються залежності, що забезпечують можливість прийняття стратегічних управлінських рішень.

4.1.1 Метод побудови бази темпоральних знань для підтримки прийняття управлінських рішень

Запропоноване в попередньому розділі логіко-ймовірнісне представлення темпоральних знань поєднує логічний опис темпоральних правил та функцію розрахунку ймовірності можливих альтернативних рішень

$$V_i^{new}.$$

В цілому таке представлення знань дозволяє описати можливі послідовності управлінських дій у складі управлінського рішення, контекстну залежність цих дій з урахуванням ієрархії артефактів, а також визначити ймовірність реалізації вказаних послідовностей.

Побудова темпоральної бази знань з використанням такого представлення виконується за допомогою методу автоматизованої побудови та підтримки бази темпоральних знань. В якості вхідних даних використовуються послідовності Π_i , існуюча ієрархія контексту H_i та поріг ε відхилення фактичної та розрахункової ймовірності $P(V_i)$ [247].

Метод містить у собі такі етапи:

Етап 1. Вибір патернів представлення темпоральних залежностей. Такі залежності можуть бути представлені у вигляді темпоральних правил.

Етап 2. Побудова або уточнення ієрархічної моделі контексту виконання управляючих дій.

Дана модель має вигляд ієрархії артефактів. Контекстна ієрархія задає базову структуру декларативних знань у предметній області.

Етап 3. Відбір підмножини вхідних даних шляхом співставлення множини вхідних артефактів та контекстної ієрархії. Особливість даного етапу полягає у можливості деталізації даних для визначеного рівня ієрархії контексту.

Етап 4. Побудова фактів Φ_j , що представляють відповідні класи еквівалентності. Ці факти задаються на основі значень змінних, що характеризують стани S_j .

Етап 5. Побудова темпоральних правил r_m^j , що визначають відповідні класи еквівалентності $[r_m^j]$.

Крок 5.1. Побудова темпоральних правил типу «NeXt», які визначають порядок для пар послідовних у часі фактів.

Крок 5.2. Побудова темпоральних правил типу «Future», що визначають темпоральний порядок для пар фактів, між якими є інші факти.

Крок 5.3. Побудова темпоральних правил типу «Until», які визначають контекстно-орієнтований темпоральний порядок для пар фактів, що відображають задані властивості стану об'єкту управління.

Етап 6. Знаходження ваг темпоральних залежностей з урахуванням ймовірностей послідовностей фактів V_i .

4.1.2 Методи побудови темпоральних правил типів «NeXt» та «Future»

Розглянуті особливості використання даних на стратегічному, тактичному та оперативному рівнях організаційного управління обумовлюють такі можливості автоматизованої побудови темпоральних знань.

По-перше, на оперативному рівні для побудови темпоральних правил може бути використана інформація щодо вирішення окремих типових задач, що дає можливість сформуванню темпоральних правил без урахування ієрархічної організаційної структури підприємства.

По-друге, на тактичному рівні організаційного управління темпоральні правила можуть бути інтегровані з урахуванням організаційної ієрархії підприємства на основі ієрархічних зв'язків між артефактами у складі ОУ.

По-третє, узагальнення правил тактичного рівня дає можливість сформуванню темпоральних залежностей для підтримки управлінських рішень на рівні стратегічного управління.

В-четверте, розробка темпоральних правил передбачає формування незважених правил та подальше обчислення їх ваги із урахуванням рівня організаційної ієрархії, оскільки факти виникнення станів ОУ для різних ієрархічних рівнів враховують різні підмножини атрибутів артефактів.

Для побудови незважених темпоральних правил використовується інформація щодо змін значень окремих атрибутів підмножини артефактів у

складі ОУ у часі, а також дій, що привели до вказаних змін. Як було показано у розділі 3, поява у атрибуту a_k значення $v_{k,l}$ свідчить про істинність елементарного факту $\varphi_{k,l}$. Відповідно, істинність набору елементарних фактів у момент часу τ_j визначає факт $\Phi_{i,j}$ настання стану $s_{i,j}$ для однієї з реалізацій управлінського рішення Π_i . Ланцюжок фактів $V_i = \langle \Phi_{i,1}, \dots, \Phi_{i,j}, \dots \rangle$ відображає у базі знань послідовність результатів виконання операцій при вирішенні типової задачі на оперативному рівні в моменти часу $\tau_1, \dots, \tau_j, \dots$. У випадку, якщо підмножина атрибутів b_k містить інформацію про операції, то V_i доцільно розглядати як послідовність дій з вирішення задачі оперативного рівня.

Узагальнену послідовність побудови темпоральних правил типів «NeXt» та «Future» наведено на рисунку 4.1.

Методи побудови таких правил визначають темпоральний порядок для пар фактів. У різних вхідних послідовностях V_i представлені істинні факти $\Phi_{i,j}$, які визначають настання одних і тих же станів ОУ при виконанні альтернативних варіантів управлінського рішення. Вказані методи узагальнюють істинні факти із різних послідовностей, формуючи класи еквівалентності фактів. Після узагальнення метод формує реалізовані темпоральні правила для пар фактів із різних класів еквівалентності по кожній реалізованій альтернативі управлінського рішення. В подальшому отримані правила узагальнюються в рамках відповідних класів еквівалентності.

Для узагальнених правил визначаються темпоральні квантори.

У випадку, якщо правило є істинним на усіх альтернативах управлінського рішення, то дане правило містить темпоральних квантор A – All, тобто включається до підмножини обмежень. Якщо ж дане правило є істинним на підмножинах послідовностей фактів, що відповідають окремим альтернативам управлінського рішення, то правило містить квантор E (Exist).

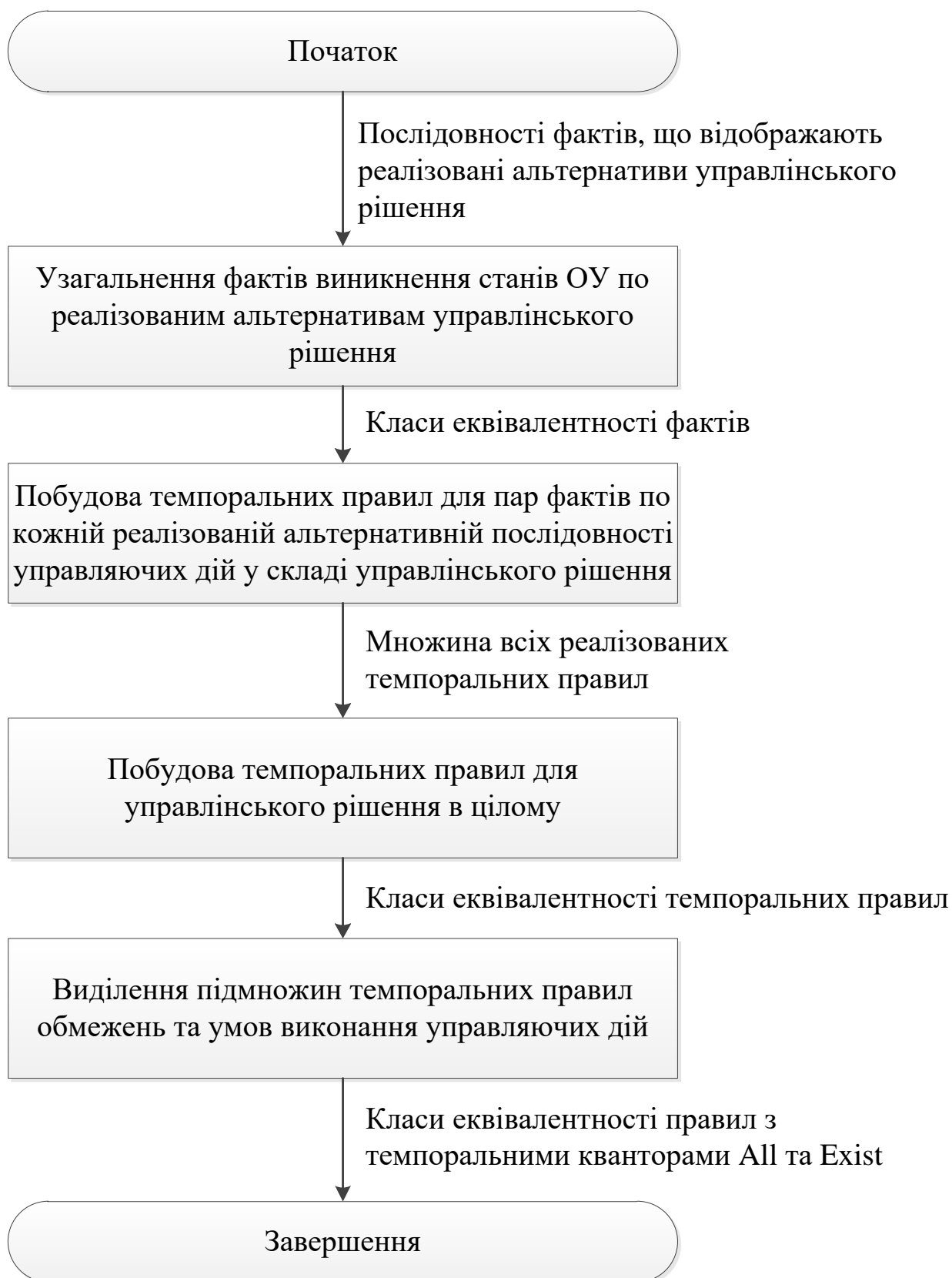


Рисунок 4.1 – Узагальнена послідовність етапів побудови темпоральних правил типів «NeXt» та «Future»

Дане правило включається до підмножини ймовірних умов виконання управляючих дій у складі управлінського рішення.

Метод побудови темпоральних правил типу «NeXt» дає можливість визначити темпоральну упорядкованість для пар послідовних станів об'єкту управління, що відображені у базі знань парами послідовних у часі фактів (Φ_j, Φ_{j+1}) . Метод в якості вхідних даних використовує множину послідовностей фактів $V = \{V_i\}$.

Метод побудови темпоральних правил типу «NeXt» містить такі етапи.

Етап 1. Побудова класів еквівалентності $[\Phi_j]$ для фактів $\Phi_{i,j}$ із вхідних даних. На поточному етапі об'єднуються факти, для яких виконується умова еквівалентності. Згідно даній умові стани $s_{i,j}$ для різних варіантів реалізації управлінського рішення, настання яких представлено фактами $\Phi_{i,j}$, є еквівалентними у випадку, коли мають ідентичні значення $c_{k,l}$ для всіх атрибутів b_k .

Етап 2. Побудова множини реалізацій $\{X_i\}$ темпоральних правил типу «NeXt» для пар фактів на послідовностях V_i :

$$X_i = \{x_{i,1}^{i,0}, \dots, x_{i,j+1}^{i,j}, \dots, x_{i,|X_i|}^{i,|X_i|-1}\}. \quad (4.1)$$

де $x_{i,j+1}^{i,j}$ – NeXt – правило для пари послідовних фактів $(\Phi_{i,j}, \Phi_{i,j+1})$.

На даному етапі формуються реалізації правила x_{j+1}^j для кожної відомої альтернативи управлінського рішення, представленою послідовністю фактів V_i .

Етап 3. Побудова класів еквівалентності правил $[r_{j+1}^j]$ для пар послідовних фактів із різних класів еквівалентності:

$$\left[x_{j+1}^j \right] = \left\{ x_{i,j+1}^{i,j} : (\forall i) \Phi_{i,j} \in \left[\Phi_j \right], \Phi_{i,j+1} \in \left[\Phi_{j+1} \right] \right\}. \quad (4.2)$$

На даному етапі виконується об'єднання реалізацій $x_{i,j+1}^{i,j}$ правил із альтернатив V_i в єдине правило x_{j+1}^j . Умова об'єднання – факт-консеквент та факт-антецедент відповідно належать до одних і тих же класів еквівалентності $\left[\Phi_j \right]$ та $\left[\Phi_{j+1} \right]$.

Етап 4. Визначення темпоральних правил-обмежень та ймовірних умов виконання управляючих дій.

Правила-обмеження, як було показано в розділі 3, мають виконуватись для всіх альтернативних послідовностей управляючих дій. Дані правила містять квантор A (*All*) і мають вигляд Ax_{j+1}^j :

$$\left[Ax_{j+1}^j \right] = \left\{ x_{i,j+1}^{i,j} : i = \overline{1, |V|}, (\forall i) \left(\exists \Phi_{i,j} \in \left[\Phi_j \right] \right) \wedge \left(\Phi_{i,j+1} \in \left[\Phi_{j+1} \right] \right) \right\}. \quad (4.3)$$

Обмеження існують для всіх послідовностей із V , тобто клас еквівалентності для обмежень $\left[Ax_{j+1}^j \right]$ містить таку ж кількість елементів, як і множина V :

$$\left| \left[Ax_{j+1}^j \right] \right| = |V|. \quad (4.4)$$

Темпоральні правила, що задають ймовірні умови виконання дій, містять квантор E (*Exist*) та, відповідно, мають реалізацію на підмножині послідовностей V_i :

$$\left[Ex_{j+1}^j \right] = \left\{ x_{i,j+1}^{i,j} : (\exists i) : \left(\Phi_{i,j} \in \left[\Phi_j \right] \right) \wedge \left(\Phi_{i,j+1} \in \left[\Phi_{j+1} \right] \right) \right\}. \quad (4.5)$$

Темпоральні правила – умови виконуються лише на окремих послідовностях фактів V_i . Відповідно, клас еквівалентності для умов містить менше елементів, ніж множина V :

$$\left| \left[Ex_{j+1}^j \right] \right| < |V|. \quad (4.6)$$

Результатом виконання методу є множина X NeXt –правил, яка складається із обмежень та ймовірних умов виконання дій в рамках управлінського рішення:

$$X = \left\{ \left\{ Ax_{j+1}^j \right\}, \left\{ Ex_{j+1}^j \right\} \right\}, \quad (4.7)$$

де Ax_{j+1}^j – обмеження, що представлено класом еквівалентності $\left[Ax_{j+1}^j \right]$

темпоральних правил, реалізованих на всіх альтернативних послідовностях фактів V_i ;

Ex_{j+1}^j – умова, яка представлена класом еквівалентності $\left[Ex_{j+1}^j \right]$ для правил, реалізованих на окремих V_i .

Метод побудови темпоральних правил типу «Future» призначений для побудови темпоральних знань, що визначають упорядкованість у часі для пар станів об'єкту управління, між якими є інші стани. Такі пари станів відображаються у базі знань парами фактів, для яких виконується умова:

$$\forall (\Phi_{i,m}, \Phi_{i,j}) \in V_i \exists \Phi_{i,m+1} : (\forall i) \tau_{i,m} < \tau_{i,m+1} < \tau_{i,j}, \quad (4.8)$$

де $\tau_{i,m}, \tau_{i,m+1}, \tau_{i,j}$ – моменти часу, коли відповідні факти $\Phi_{i,m}, \Phi_{i,m+1}, \Phi_{i,j}$ стають істинними на у послідовності V_i .

Метод в якості вхідних даних використовує множину послідовностей фактів $V = \{V_i\}$.

Метод побудови правил типу «Future» містить у собі такі етапи.

Етап 1. Побудова класів еквівалентності $[\Phi_j]$ для фактів $\Phi_{i,j}$ із набору вхідних послідовностей V .

Етап 2. Побудова множини реалізацій $\{F_i\}$ темпоральних правил типу «Future» для пар фактів на послідовностях V_i :

$$F_i = \left\{ f_{i,m}^{i,j} : m - j > 1, j = \overline{0, |V_i| - 3}, m = \overline{2, |V_i| - 1} \right\}, \quad (4.9)$$

де $f_{i,j}^{i,m}$ – реалізація правила «Future» для пари фактів $(\Phi_{i,m}, \Phi_{i,j})$ на послідовності V_i .

Умова $m - j > 1$ показує, що на даному етапі визначаються такі залежності між фактами на послідовностях V_i , між якими міститься щонайменше один проміжний факт.

Етап 3. Побудова класів еквівалентності $[f_m^j]$ темпоральних правил для пар послідовних фактів із різних класів еквівалентності:

$$[f_m^j] = \left\{ f_{i,m}^{i,j} : (\forall i) \Phi_{i,j} \in [\Phi_j], \Phi_{i,m} \in [\Phi_m] \right\}. \quad (4.10)$$

На даному етапі об'єднуються правила $f_{i,j}^{i,m}$, що реалізовані на різних альтернативах V_i , за умови, що факт-умова $\Phi_{i,m}$ і факт-результат $\Phi_{i,j}$ темпорального правила належать до одних і тих же класів еквівалентності $[\Phi_m]$ та $[\Phi_j]$ відповідно. Результуючий клас еквівалентності представляє об'єднане правило f_m^j .

Етап 4. Формування класів правил-обмежень та правил-ймовірних умов виконання управляючих дій.

Правила-обмеження мають виконуватись для всіх відомих послідовностей фактів, що відповідають реалізованим послідовностям управляючих дій.

Правила-обмеження – це правила Af_m^j з квантором A (*All*). Клас еквівалентності для обмежень має вигляд:

$$\left[Af_m^j \right] = \left\{ f_{i,m}^{i,j} : i = \overline{1, |V|}, (\forall i) \exists (\Phi_{i,m} \in [\Phi_m]) \wedge (\Phi_{i,j} \in [\Phi_j]) \right\}, \quad (4.11)$$

Обмеження за визначенням є істинними для всіх послідовностей V_i . Відповідно, для класу еквівалентності $\left[Af_m^j \right]$ виконується умова рівності кількості елементів із множиною V :

$$\left| \left[Af_m^j \right] \right| = |V|. \quad (4.12)$$

Темпоральні правила, які відображають можливі (в сенсі порядку у часі) умови виконання дій, містять квантор E (*Exist*). Клас правил-умов типу «Future» визначається наступним чином:

$$\left[Ef_m^j \right] = \left\{ f_{i,m}^{i,j} : (\exists i) : (\Phi_{i,m} \in [\Phi_m]) \wedge (\Phi_{i,j} \in [\Phi_j]) \right\}. \quad (4.13)$$

Згідно (4.13) умови виконуються щонайменше на одній послідовності фактів V_i , але не на усіх послідовностях. Відповідно, для класу еквівалентності для умов виконується нерівність:

$$\left| \left[Ef_m^j \right] \right| < |V|. \quad (4.14)$$

Результатом виконання методу є множина правил типу «Future». Дана множина складається із підмножин обмежень та умов виконання управляючих дій:

$$F = \left\{ \left\{ Af_m^j \right\}, \left\{ Ef_m^j \right\} \right\}, \quad (4.15)$$

де Af_m^j – обмеження, які задаються класами еквівалентності $\left[Af_m^j \right]$ темпоральних правил, реалізованих на всіх альтернативних послідовностях фактів V_i ;

Ef_m^j – умова, яка реалізована на підмножині послідовностей V_i і представлена класом еквівалентності $\left[Ef_j^m \right]$.

4.1.3 Метод побудови темпоральних правил типу «Until»

Метод побудови темпоральних правил типу «Until» орієнтований на формування темпоральних знань, що визначають контекстно-орієнтовану упорядкованість у часі для пар станів об'єкту управління. Контекстно-орієнтована упорядкованість визначає такі пари станів, для яких змінюється значення заданої підмножини атрибутів. Така підмножина атрибутів може, наприклад, відображати властивості одного із артефактів у складі об'єкту управління. Для пар фактів у складі темпорального правила типу «Until» виконується умова:

$$\forall (\Phi_{i,m}, \Phi_{i,j}) \in V_i \exists k : \varphi_{i,m}^{k,q} \wedge \varphi_{i,j}^{k,l}, \quad (4.16)$$

де $\varphi_{i,m}^{k,q}, \varphi_{i,j}^{k,l}$, – елементарні факти у складі $\Phi_{i,m}$ та $\Phi_{i,j}$. моменти часу.

Наявність елементарного факту $\varphi_{i,m}^{k,q}$ у складі $\Phi_{i,m}$ свідчить про те, що атрибут a^k має значення $\alpha^{k,q}$. Для факту $\Phi_{i,j}$ цей атрибут змінює значення на $\alpha^{k,l}$. Така зміна свідчить про виконання умови істинності правила типу «Until».

У випадку, якщо правило «Until» відображає зміну стану артефакту, то умова (4.16) приймає вигляд:

$$\forall (\Phi_{i,m}, \Phi_{i,j}) \in V_i \exists at_h = \{a_h^k\} : \forall k \varphi_{i,m}^{k,q} \wedge \varphi_{i,j}^{k,l}, \quad (4.17)$$

де at_h – артефакт, зміну стану якого відображає темпоральне правило.

Узагальнену послідовність побудови темпоральних правил типу «Until» наведено на рисунку 4.2.

Метод побудови таких правил визначають темпоральний порядок для послідовної у часі підмножини фактів. Дана підмножина фактів відображає таку послідовність станів, які характеризується зміною значення одного з атрибутів лише для останнього стану. Загальна схема виконання методу передбачає виділення вказаних підмножин фактів із вхідних послідовностей. В подальшому метод узагальнює факти, формуючи класи еквівалентності, виділяє реалізовані темпоральні правила на різних послідовностях фактів, узагальнює правила, формуючи їх класи еквівалентності.

Також метод виділяє підмножини темпоральних правил для контекстно-орієнтованих обмежень та умов виконання управляючих дій.

Вхідними даними методу формування темпоральних правил типу «Until» є:

– множина послідовностей фактів $V = \{V_i\}$;

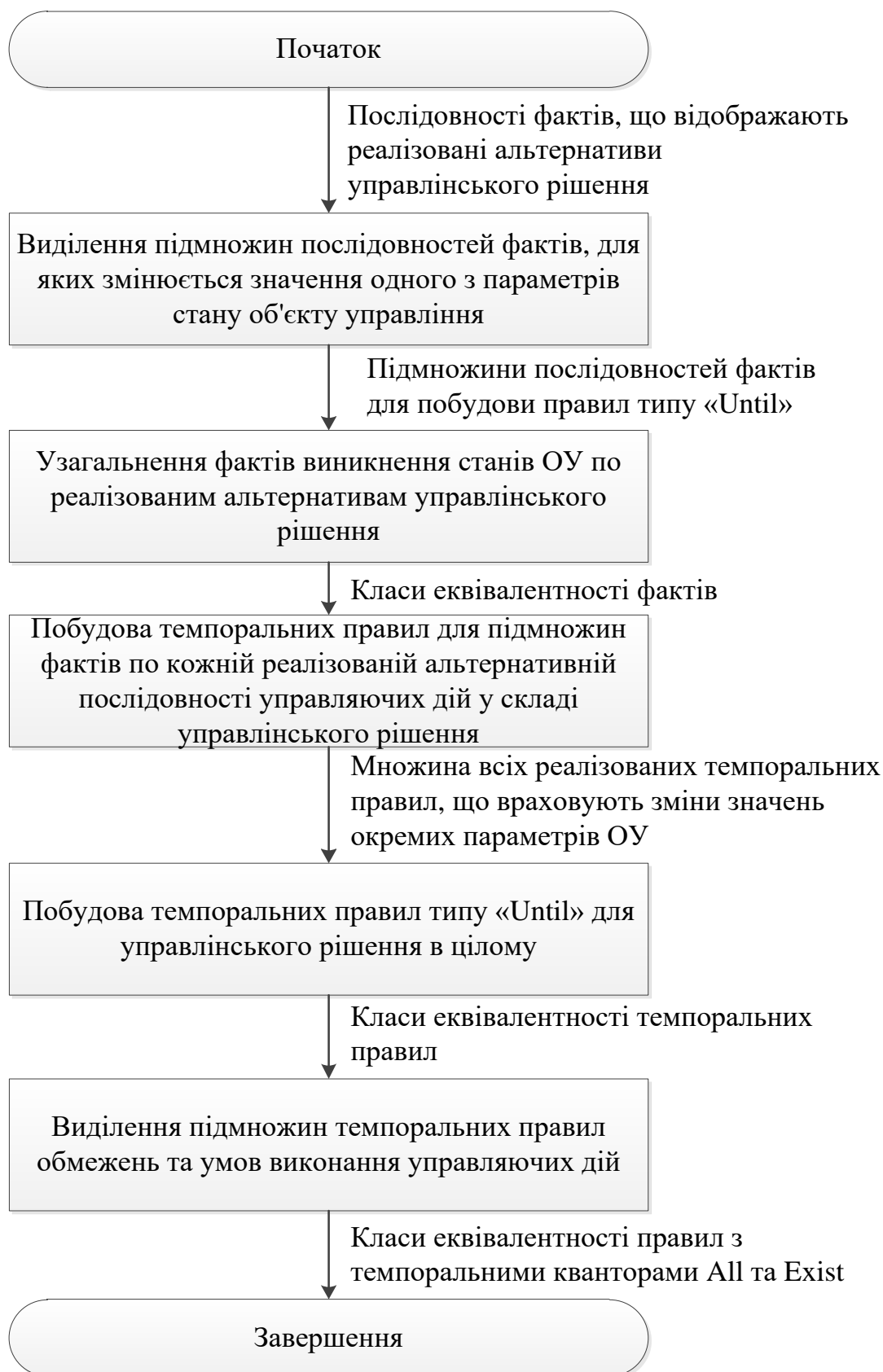


Рисунок 4.2 – Узагальнена послідовність побудови темпоральних правил типів «Until»

– множина параметрів, зміну значень яких відображає темпоральне правило;

– множина артефактів af_n , зміну станів яких які контролює темпоральне правило.

Метод побудови правил типу «Until» містить у собі наступні етапи.

Етап 1. Відбір підмножин послідовностей фактів $V_i^n \in V_i$, в яких у останньому факті $\Phi_{i,j}$ стає істинним один елементарний факт $\varphi_{i,j}^{k,l}$:

$$V_i^n = \langle \Phi_{i,m}^n, \Phi_{i,m+1}^n, \dots, \Phi_{i,j}^n : \forall i \exists k : \varphi_{i,m}^{k,q} = \varphi_{i,m+1}^{k,q} = \dots = true \wedge \varphi_{i,j}^{k,l} = true \rangle, \quad (4.18)$$

де $\varphi_{i,m}^{k,q}$, $\varphi_{i,j}^{k,l}$ – елементарні факти, які є істинними відповідно для значень $c^{k,q}$ та $c^{k,l}$ атрибуту b^k .

В результаті виконання етапу формується набір послідовностей $V^n = \{V_i^n\}$.

Етап 2. Побудова класів еквівалентності $[\Phi_j^n]$ для фактів $\Phi_{i,j}$ із набору послідовностей V^n .

На відміну від методів формування правил «NeXt» та «Future» в даному випадку узагальнення фактів виконується для тих фрагментів послідовностей V_i^n , кінцевий факт яких фіксує зміну значення атрибуту b^k .

Етап 3. Формування набору реалізацій $\{U_i\}$ правил типу «Until» для пар фактів на підпослідовностях V_i^n :

$$U_i = \{u_{i,m}^{i,j} : \Phi_{i,j}^n, \Phi_{i,m}^n \in V_i^n\}, \quad (4.19)$$

де $u_{i,m}^{i,j}$ – реалізація правила «Until» для пари фактів $\Phi_{i,m}^n, \Phi_{i,j}^n$ на підпоследовності V_i^n .

Етап 4. Побудова класів еквівалентності $[u_m^j]$ правил типу «Until» для пар послідовних фактів із різних класів еквівалентності:

$$[u_m^j] = \left\{ u_{i,m}^{i,j} : (\forall i) \Phi_{i,j}^n \in [\Phi_j^n], \Phi_{i,m}^n \in [\Phi_m^n] \right\}. \quad (4.20)$$

Об'єднання правил $u_{i,m}^{i,j}$ виконується аналогічно попереднім методам за умови, що обидва факти темпорального правила належать до одних і тих же класів еквівалентності. Результатом етапу є множина класів еквівалентності, кожен із яких представлений об'єднаним правилом u_m^j .

Етап 4. Формування класів правил-обмежень та правил-ймовірних умов виконання управляючих дій в залежності від зміни контексту.

Правила-обмеження мають виконуватись для всіх відомих последовностей фактів, що відповідають реалізованим последовностям управляючих дій.

Правила-обмеження – це правила Au_m^j з квантором All , які виконуються на всіх вхідних последовностях фактів, тобто на всіх реалізованих последовностях станів, що виникли в результаті виконання відповідних последовностей управляючих дій. Отриманий клас еквівалентності має такий вигляд:

$$[Au_m^j] = \left\{ u_{i,m}^{i,j} : i = 1, \overline{|V^n|}, (\forall i) (\Phi_{i,m}^n \in [\Phi_m^n]) \wedge (\Phi_{i,j}^n \in [\Phi_j^n]) \right\}, \quad (4.21)$$

Оскільки обмеження Au_m^j за визначенням є істинними для всіх последовностей V_i^n , то для класу еквівалентності $[Au_m^j]$ виконується умова:

$$\| [Au_m^j] \| \geq |V|. \quad (4.22)$$

У відповідності до (4.22), кількість еквівалентних правил може перевищувати кількість вхідних послідовностей фактів V_i . Такий підхід дає можливість відображати за допомогою правил «Until» циклічні зміни стану об'єкту управління.

Темпоральні правила, які відображають можливі контекстно-орієнтовані умови виконання управляючих дій (відповідної зміни станів об'єкту управління), містять квантор E (*Exist*):

$$[Eu_m^j] = [u_m^j] \setminus [Au_m^j] = \left\{ u_{i,m}^{i,j} : (\exists i) : (\Phi_{i,m}^n \in [\Phi_m^n]) \wedge (\Phi_{i,j}^n \in [\Phi_j^n]) \right\}. \quad (4.23)$$

Отримана в результаті виконання методу множина правил типу «Until» складається із контекстно-орієнтованих обмежень та умов виконання управляючих дій:

$$U = \left\{ \{ Au_m^j \}, \{ Eu_m^j \} \right\}, \quad (4.24)$$

де Au_m^j – обмеження, задані класами еквівалентності $[Au_m^j]$ правил;

Eu_m^j – умови, представлені класами еквівалентності $[Ef_m^j]$.

Отримані темпоральні правила дають можливість сформулювати можливі альтернативи в рамках управлінського рішення.

Для ймовірнісної оцінки таких рішень необхідно визначити ваги темпоральних правил.

4.2 Розробка удосконаленого методу визначення ваг темпоральних правил

Темпоральні знання, як було показано у розділі 3, призначені для опису багатоваріантної поведінки об'єкту управління, а також альтернативних послідовностей дій, що визначають відповідну послідовність станів ОУ. Темпоральні правила враховують логічний та ймовірнісний аспекти [233], [235]–[238] послідовностей управляючих дій, що і визначає їх можливості не лише для опису, але й для порівняння альтернативних варіантів управлінського рішення.

Логічний опис послідовності управляючих дій з використанням темпоральних операторів дає можливість формалізувати темпоральну упорядкованість цих дій і, тим самим визначити умови та обмеження для їх виконання.

Ймовірнісна оцінка дає можливість знайти найбільш прийнятний варіант отриманого рішення [235] і, відповідно, може бути використана для упорядкування можливих послідовностей управляючих дій. Ймовірнісна оцінка визначається на основі ваг залежностей [238].

Існуючі підходи до обчислення ваг залежностей між наборами змінних використовують градієнтний спуск. В якості вхідних даних використовуються ймовірності появи наборів значень змінних. Наприклад, ймовірність одночасної появи значень змінних температури та швидкості у вигляді: «температура вище 15 градусів та швидкість вище 10 м/с». Отримані в результаті градієнтного спуску ваги мають забезпечувати такі ж (або близькі) ймовірності наборів значень змінних, що й апріорно задані при обчисленні ваг [239].

Однак відомі алгоритми знаходження ваг є ресурсоемними, навіть з при спрощенні пошуку з використанням додаткової інформації щодо відсутності зміни градієнту [159]. Складність обчислення ваг зростає експоненційно в

залежності від кількості залежностей між наборами змінних. Такий недолік ускладнює використання відомих підходів знаходження ваг при вирішенні задачі підтримки управлінських рішень внаслідок обмежень на час прийняття рішень. Тому для розрахунку ваг темпоральних правил доцільно використати додаткову інформацію щодо структури об'єкту управління в якості обмежень з тим, щоб зменшити множину можливих рішень щодо ваг i , тим самим, зменшити обчислювальні витрати при реалізації градієнтного спуску.

Таким чином, існує потреба у подальшому розвитку методів розрахунку ваг темпоральних правил з урахуванням особливостей та обмежень розглянутих задач виявлення проблемних ситуацій та формування множини альтернативних варіантів управлінського рішення.

В якості вхідних даних метод розрахунку ваг темпоральних правил використовує:

– множину $V = \{V_i\}$ послідовностей реалізованих фактів $V_i = \langle \Phi_{i,0}, \dots, \Phi_{i,j}, \dots, \Phi_{i,J} \rangle$, що відображають відомі варіанти виконання управлінського рішення, представлені послідовностями реалізованих станів $\Pi_i = \langle s_{i,0}, \dots, s_{i,j}, \dots, s_{i,J} \rangle$;

– часові обмеження щодо актуальності відомих варіантів управлінського рішення; обмеження представлені граничним часом τ_0 для кожного першого реалізованого факту $\Phi_{i,0}$ на послідовності V_i ;

– множина темпоральних правил $R^{input} = \{r_m^j\}$, що описують можливий порядок у часі для пар довільних фактів $\langle \Phi_m, \Phi_j \rangle$, які реалізовані на послідовностях V_i ;

– множина Af артефактів із заданими теоретико-множинними відношеннями H , що визначає структуру об'єкту управління:

$$Ab = \{Af, B\}, \quad (4.25)$$

де $H = \{\cup, \cap, \setminus\}$ – множина відношень між артефактами, що відображає спільність їх атрибутів.

В розділі 3 було показано, що артефакти $af_n \in Af$ є представленням у БЗ базових об'єктів у складі ОУ, які пов'язані із виконанням управляючих дій у складі управлінського рішення. Кожен артефакт у базі знань представляється набором його атрибутів: $af_n = \{b_{n,k}\}$, які є суттєвими для опису стану об'єкту управління в цілому. Тобто атрибути артефактів $b_{n,k}$ є атрибутами стану об'єкту управління. Ці атрибути використовуються при визначенні елементарних фактів $\phi_{k,l}$, які входять до складу фактів Φ_j .

Ієрархічно організовані артефакти містять у собі спільні атрибути. Наприклад, артефакт «підрозділ» може містити атрибути (роль, посаду, тощо) виконавців із цього підрозділу. Відповідно, ієрархія станів ОУ представляється теоретико-множинними операціями об'єднання (або перетину чи виключення) множин атрибутів артефактів. Такий підхід дає можливість на основі теоретико-множинного представлення зв'язків між артефактами сформуванню ієрархії фактів Φ_j , істинність яких на послідовностях V_i що відображає у базі знань виникнення станів $s_{i,j}$ об'єкту управління.

Метод розрахунку ваг темпоральних правил містить у собі такі етапи.

Етап 1. Уточнення множини вхідних послідовностей реалізованих фактів згідно обмеження актуальності. Результуюча множина послідовностей має вигляд:

$$V = \{V_i : (\forall i) \tau_{i,0} \geq \tau_0\}, \quad (4.26)$$

де $\tau_{i,0}$ – момент істинності першого реалізованого факту $\Phi_{i,0}$ із послідовності V_i .

Етап 2. Узагальнення реалізованих на послідовності V_i фактів $\Phi_{i,j} \in [\Phi_j]$ для заданого рівня ієрархії об'єкту управління. Рівень ієрархії задається підмножиною артефактів $Af_h \subset Af$, $Af_h = \{af_n\}$.

Узагальнення виконується таким чином:

$$\Phi_{i,j}^{Af_h} = \bigwedge_k (\varphi_{k,l} | b_{n,k} \in af_n), \quad (4.27)$$

де $b_{n,k}$ – k – атрибут артефакту af_n ;

$\varphi^{k,l}$ – елементарний факт: атрибут $b_{n,k}$ набуває l – значення.

Етап 3. Уточнення множини вхідних правил для множини реалізованих послідовностей фактів V .

Результуюча множина правил R містить лише ті правила r_m^j , які мають реалізацію $r_{i,m}^{i,j}$ послідовностях V_i :

$$R = \{r_m^j : (\forall r_{i,m}^{i,j}) \Phi_{i,j}, \Phi_{i,m} \in V_i\}. \quad (4.28)$$

Етап 4. Виключення обмежень із множини правил:

$$R^{cond} = \{r_m^j : w_m^j \neq \infty\}. \quad (4.29)$$

Вага обмежень не розраховується, а встановлюється максимальною $w_m^j = \infty$, оскільки вони виконуються на всіх послідовностях V_i .

Етап 5. Розрахунок ймовірностей реалізації $P(V_i)$ для послідовностей реалізованих фактів V_i .

Результатом етапу є множина P^* ймовірностей реалізації послідовностей V_i :

$$P^* = \left\{ P_i : P_i = \frac{|V_i|}{|V|} \right\}. \quad (4.30)$$

Етап 6. Знаходження ваг темпоральних правил із підмножини R^{cond} на основі градієнтного спуску з використанням гіпотези

$$P(V_i) = \frac{1}{Z} \exp \left(\sum_j \sum_m (w_m^j | \exists w_{i,m}^{i,j}) \right) \quad (4.31)$$

та функції втрат

$$Y(w_m^j) = \frac{1}{2|V|} \sum_{i=1}^{|V|} (P(V_i) - P_i)^2. \quad (4.32)$$

Результатом застосування методу є множина ваг темпоральних правил $W = \{w_m^j\}$.

4.3 Розробка інформаційної технології побудови темпоральної бази знань

Запропонована інформаційна технологія (рис. 4.3) призначена для побудови темпоральних залежностей, що визначають можливі послідовності управляючих дій (або відповідних послідовностей станів об'єкту управління) у складі управлінського рішення.

В якості вхідних даних використовуються результати роботи систем обробки транзакцій, які можуть зберігати стани організації за результатами моніторингу.

Технологія містить такі етапи:

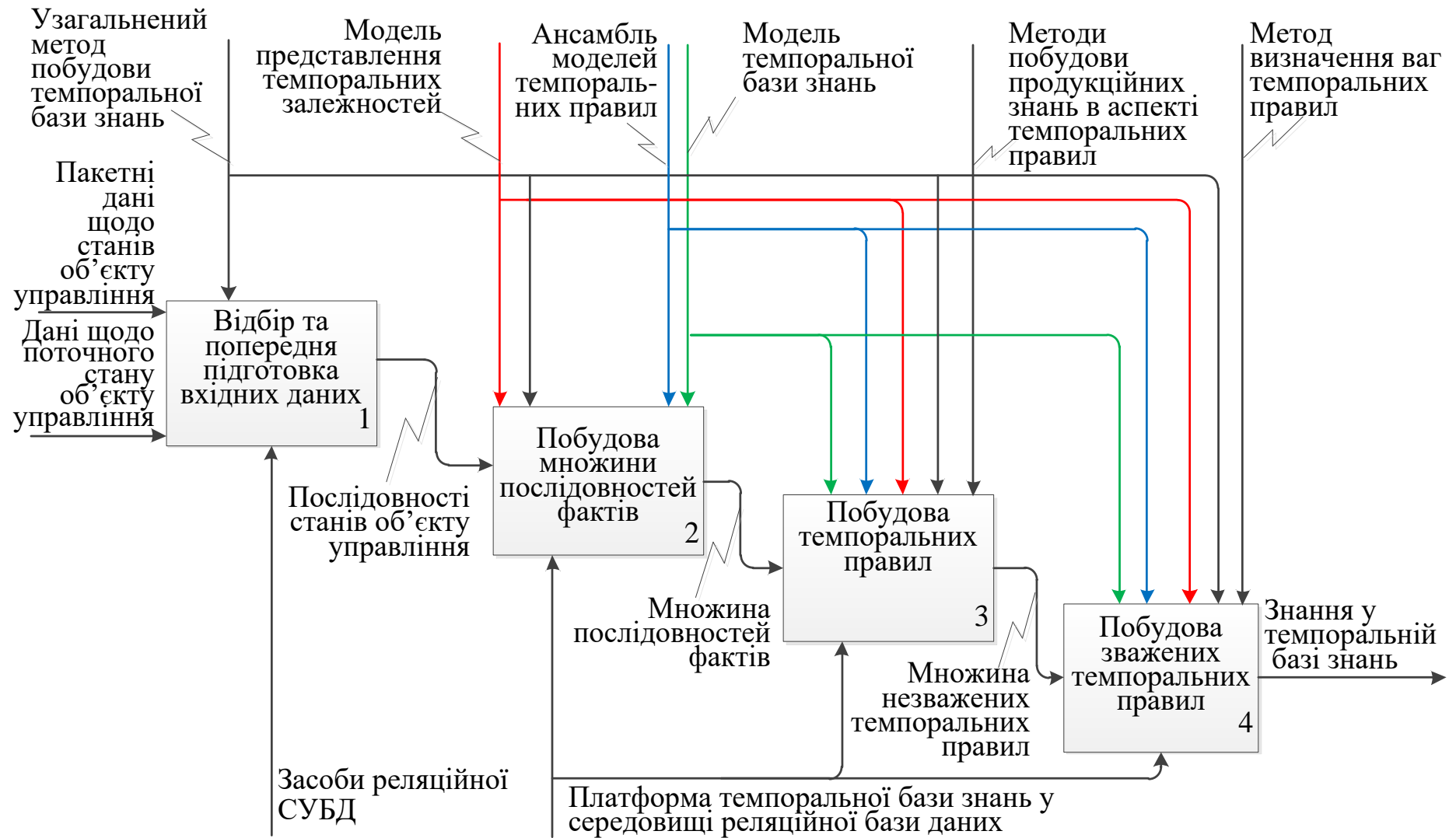


Рисунок 4.3 – Інформаційна технологія побудови темпоральної бази знань

Етап 1. Відбір та попередня підготовка вхідних даних.

На даному етапі формується множина послідовностей станів, що відображають реалізовані управлінські рішення, а також поточна послідовність станів. Відбір вхідних даних виконується з урахуванням визначеного рівня деталізації та за темпоральною ознакою, з урахуванням заданого інтервалу часу.

Відбір даних для заданого темпорального інтервалу виконується за міткою часу.

Наступні етапи технології використовують розроблені моделі представлення знань у вигляді темпоральних правил.

Важливість даного етапу пов'язана із тим, що послідовність вирішення задач може змінюватись по мірі еволюції вимог та цілей організації.

Етап 2. Побудова множини фактів.

На даному етапі формуються послідовності фактів V_i та класи еквівалентності фактів Φ_j . Використовується узагальнений метод побудови та підтримки темпоральної бази знань.

Етап 3. Побудова продукційних знань в аспекті темпоральних правил.

На даному етапі використовуються методи побудови темпоральних правил типів Next, Future, Until.

Етап 4. Визначення ваг отриманих темпоральних правил.

На даному етапі використовується метод, що був представлений у підрозділі 4.3.

Розглянемо ілюстративний приклад реалізації етапів технології.

Дано такі вхідні послідовності станів та інтервали часу їх виконання:

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \langle s_{1,1}, s_{1,2}, s_{1,4}, s_{1,5} \rangle, 01.09.18 - 15.09.18, \\ \Pi_2 &= \langle s_{2,1}, s_{2,2}, s_{2,3}, s_{2,4}, s_{2,5} \rangle, 15.09.18 - 31.10.18, \\ \Pi_3 &= \langle s_{3,1}, s_{3,2}, s_{3,6}, s_{3,5} \rangle, 01.10.18 - 15.12.18. \end{aligned} \quad (4.33)$$

Ієрархічний опис об'єкту управління представлений розподілом станів по двом підрозділам організації, відповідно:

$$\begin{aligned} & \{s_{1,1}, s_{1,2}, s_{2,1}, s_{2,2}, s_{2,3}, s_{3,1}, s_{3,2}\}, \\ & \{s_{1,3}, s_{1,4}, s_{1,5}, s_{2,4}, s_{2,5}, s_{3,6}, s_{3,5}\}. \end{aligned} \quad (4.34)$$

Необхідно побудувати базу знань з темпоральними правилами типів X та F для задач, що вирішувались 1.08.17–31.09.18 у другому підрозділі.

Для правил заданих типів розглядається стан об'єкту управління в цілому, без врахування окремих атрибутів. Тому уточнені послідовності вхідних даних мають вигляд:

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \langle s_{1,3}, s_{1,4}, s_{1,5} \rangle, \\ \Pi_2 &= \langle s_{2,4}, s_{2,5} \rangle, \\ \Pi_3 &= \langle s_{3,6}, s_{3,5} \rangle. \end{aligned} \quad (4.35)$$

З урахуванням темпоральних обмежень отримуємо:

$$\begin{aligned} \Pi_1 &= \langle s_{1,3}, s_{1,4}, s_{1,5} \rangle, \\ \Pi_2 &= \langle s_{2,4}, s_{2,5} \rangle. \end{aligned} \quad (4.36)$$

Відповідні послідовності фактів мають вигляд:

$$\begin{aligned} V_1 &= \langle \Phi_{1,3}, \Phi_{1,4}, \Phi_{1,5} \rangle, \\ V_2 &= \langle \Phi_{2,4}, \Phi_{2,5} \rangle. \end{aligned} \quad (4.37)$$

Для них формуються такі темпоральні правила:

$$\begin{aligned}
 \Phi_4 &\xrightarrow{AX} \Phi_5, \\
 \Phi_3 &\xrightarrow{EF} \Phi_5, \\
 \Phi_3 &\xrightarrow{EX} \Phi_4.
 \end{aligned}
 \tag{4.38}$$

Перше правило виконується на обох послідовностях і тому є обмеженням. Згідно [248] його вага становить ∞ .

Вага інших двох правил є однаковою з урахуванням $P(V_1) = P(V_2) = 0,5$, розраховується наведеним у попередньому підрозділі методом, і становить 4,1. Згідно вхідних даних отримані правила належать до рівня ієрархії другого підрозділу.

На етапі уточнення ваг правило $\Phi_4 \xrightarrow{AX} \Phi_5$ замінить правило виду $\Phi_4 \xrightarrow{EX} \Phi_5$ у випадку його наявності в базі знань. У представленому прикладі три правила повністю визначають послідовності фактів V_1 та V_2 , оскільки вони описують всі залежності між трьома станами. Тому уточнення ваг буде потрібне лише у випадку, коли в базі знань вже існують правила $\Phi_3 \xrightarrow{EF} \Phi_5$ або $\Phi_3 \xrightarrow{EX} \Phi_5$ з іншими вагами.

Ключова перевага запропонованої технології полягає в можливості отримання темпоральних правил без використання комунікативних методів інженерії знань. Це дозволяє поповнювати базу знань оперативно, по мірі появи інформації про черговий стан об'єкту управління.

Також, ймовірніше представлення темпоральних знань дає можливість сформуванню набір всіх ймовірних послідовностей станів об'єкту управління від поточного до цільового стану. Побудова множини всіх альтернатив у складі управлінського рішення свідчить про формування раціонального рішення. В даному випадку ОПР має можливість зробити вибір із підмножини альтернатив із найбільшими значеннями ймовірності, що створює умови для підвищення організаційної ефективності процесу підтримки й прийняття рішень.

Висновки до розділу 4

1. Розроблено метод побудови бази темпоральних знань для підтримки прийняття управлінських рішень. Метод передбачає формування та перевірку зважених темпоральних правил з урахуванням рівня деталізації опису станів об'єкту управління. Метод забезпечує можливість оперативного коригування бази темпоральних знань у відповідності до зміни станів об'єкту управління з часом, що забезпечує умови для формування актуального рішення у процесі підтримки управлінських рішень.

2. Удосконалено методи побудови продукційних знань в аспекті темпоральних правил. Удосконалені методи містять етапи побудови класів еквівалентності фактів, що відображають знання про стан об'єкту управління, й класів еквівалентності темпоральних правил, які представляють знання про процес управління. На наступних етапах з отриманих правил виділяються класи правил-обмежень й правил-ймовірних умов виконання управляючих дій. Розроблені методи дають можливість побудувати темпоральні знання з використанням даних про послідовність станів об'єкту управління, що створює умови для знання-орієнтованої підтримки управлінських рішень при вирішенні частков структурованих та неструктурованих задач.

3. Удосконалено метод визначення ваг темпоральних правил на основі значень ймовірності послідовностей фактів, темпоральні знання щодо яких відображають відомі реалізації управлінського рішення. Метод, на відміну від існуючих, враховує темпоральні обмеження щодо альтернативних варіантів управлінського рішення. Удосконалений метод дає можливість упорядкувати альтернативи при формуванні управлінського рішення з використанням уточнених при зміні стану об'єкту управління ваг темпоральних правил.

4. Виконано інтеграцію моделей представлення темпоральних знань, а також методів побудови темпоральної бази знань, формування темпоральних правил, знаходження ваг темпоральних правил в рамках єдиної інформаційної

технології побудови темпоральної бази знань. Інформаційна технологія забезпечує можливість побудови зважених темпоральних правил на основі виявлення залежностей у вхідних послідовностях станів об'єкту управління. Це дає можливість оперативно виявляти характерні для предметної області нові темпоральні залежності та вносити їх в базу знань.

5 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ТА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕМПОРАЛЬНИХ ЗНАНЬ

Розроблені у розділі 4 методи та інформаційна технологія побудови темпоральної бази знань створюють умови для вирішення задачі підготовки управлінського рішення. Остання містить у собі підзадачі виявлення проблемної ситуації та підготовки багатоваріантного рішення з використанням темпоральних знань.

Вирішення першої підзадачі базується на виявленні аномального стану об'єкту управління. Такий нетиповий стан може бути розглянутий у двох аспектах. По перше, цей стан може бути представлений аномальними значеннями властивостей об'єкту управління. По друге, аномальність стану може бути відображена в темпоральному аспекті, при його несвоєчасному виникненні.

Вирішення другої підзадачі потребує формування множини послідовностей станів, від поточного аномального і до цільового стану об'єкту управління. Сукупність цих послідовностей представляє собою розглянуте у розділі 2 багатоваріантне управлінське рішення. Для формування вказаних послідовностей використовується вивід на темпоральних знаннях, оскільки останні задають темпоральну упорядкованість для пар станів об'єкту управління та відповідних управляючих дій.

В якості вхідних даних та знань при вирішенні підзадач виявлення проблемної ситуації та підготовки багатоваріантного рішення використовуються поточна послідовність станів об'єкту управління, а також темпоральні знання, що отримані в результаті аналізу успішно реалізованих управлінських рішень та представлені згідно розроблених у розділі 3 моделей.

Для вирішення задачі підготовки управлінського рішення необхідно розробити:

- метод виявлення аномального стану об'єкту управління на основі темпоральних правил;
- темпорально-орієнтовані методи виявлення аномального стану об'єкту управління в результаті шилінг-атак в системах електронної комерції;
- метод ймовірнісного виводу на продукційних правилах з урахуванням темпорального аспекту знань;
- інформаційну технологію підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань.

Розроблені у даному розділі методи базуються на роботах [257], [239], [258]–[261], [233], [262]–[266], [259], [267]–[269], [261], [270]–[272], [235], [273]–[277] та розвивають результати, що були запропоновані у роботах [169], [180], [181], [190], [190], [250], [278]–[285].

5.1 Розробка методу виявлення аномальних станів об'єкту управління з використанням темпоральних правил

Розглянута у першому розділі підзадача виявлення проблемних ситуацій при підтримці управлінського рішення належить до класу задач виявлення викидів – «outliers detection» [257]. Такі задачі вирішуються при виявленні несанкціонованих втручань в роботу інформаційних систем, шахрайських фінансових транзакцій, у медичній діагностиці, при аналізі та прогнозуванні погоди, тощо.

При вирішенні задач даного класу використовується модель типової поведінки об'єкту дослідження або управління. Відхилення поведінки від типової розглядається як виникнення викидів. Поведінка ОУ представляється у вигляді послідовності станів, кожен із яких задається через значення множини змінних. Відповідно, проблемна ситуація представляється підмножиною змінних, що характеризують поточний стан або послідовність станів об'єкту управління у часі. Традиційно викиди, які характеризуються

нетиповими зв'язками між даними, розглядаються як аномалії, [257] або умовні аномалії [258]. Тому задача виявлення проблемної ситуації може бути розглянута як задача виявлення нетипового, аномального стану ОУ.

Для вирішення цієї задачі запропоновано метод виявлення аномальних станів ОУ, який враховує динаміку значень змінних, що характеризують поточний стан об'єкту управління. Ключова особливість даного методу полягає в тому, що аномальні стани ОУ визначаються на основі обчислення розбіжностей для очікуваних та фактично отриманих темпоральних залежностей між станами об'єкту управління або між управляючими діями, що привели до виникнення цих станів.

Використання темпоральних залежностей, як було показано у розділі 3, дає можливість абстрагуватись від специфіки предметної області та порівнювати патерни типової й аномальної ситуацій на основі відмінностей у змінах станів ОУ у часі.

Запропонований метод має наступні відмінності від відомих підходів до виявлення викидів та аномалій:

- враховуються як властивості стану ОУ, так і порядок у часі для дискретної послідовності станів об'єкту управління;
- використовуються темпоральні знання щодо виникнення поточного стану ОУ для побудови патернів аномалій;
- застосовується комбінація бінарної та ймовірнісної оцінок для виявлення проблемних ситуацій.

Перша особливість запропонованого методу полягає у визначенні відхилень від нормальної поведінки об'єкту управління з урахуванням змін контексту виконання управляючих дій. Контекст визначає умови та обмеження на виконання таких дій. Зміни контексту задаються через послідовність станів ОУ.

Кожен стан у послідовності характеризується множиною значень змінних, що відображають властивості об'єкту управління. Елементи

послідовності станів об'єкту управління відрізняються значеннями цих змінних.

Вхідна інформація про послідовність станів для виявлення знань щодо аномалій може бути отримана із таких джерел:

- логи роботи інформаційної системи;
- журнали дій користувачів інформаційної системи;
- інформація про виконані користувачами інформаційної системи транзакції.

Логи інформаційної системи містять записи про функціонування її елементів, а також про дії, що виконують ці елементи. Наприклад, журнали в операційній системі можуть містити інформацію про функціонування її служб в фоновому режимі, про мережну взаємодію, тощо. Аналіз такої інформації дає можливість виявити втручання в роботу інформаційної системи, наприклад мережні атаки [239], [258], [259].

Журнали дій користувачів містять записи про їх взаємодію з інформаційною системою з мітками часу. Така послідовність записів відображає алгоритм вирішення функціональних задач ІС. Відхилення від типового алгоритму дій може свідчити про виникнення аномалії. Наприклад, для Web -сайту системи електронної комерції журнал дій користувачів може містити дані про послідовність перегляду сторінок з інформацією про товари та послуги, а також дані про виставлені цим користувачем рейтинги для розглянутих предметів.

Аналіз журналів дій користувачів дає можливість виявити аномальну поведінку користувачів, представлену, наприклад фальшивими користувацькими профілями, що змінюють рейтинги товарів та послуг з метою усунення конкурентів [223]–[225], [247].

Інформація про послідовність транзакцій в базі даних інформаційної системи відображає алгоритми реалізації функціональних задач або послідовність робіт для бізнес-процесів. Така інформація, зокрема,

використовується для виявлення шахрайства у банківських системах [260], [261].

Кожна подія в логах та журналах, а також транзакція в базі даних містить інформацію про окремі властивості поточного стану об'єкту управління. Змінні у складі подій або транзакцій мають мітки часу і тому вони є темпорально упорядкованими.

Множину цих змінних з однаковою міткою часу в рамках події або транзакції доцільно розглядати як опис стану ОУ, а набір множин з різними мітками часу – як послідовність описів станів об'єкту управління. Тобто кожна подія свідчить про настання нового стану об'єкту управління.

У загальному випадку набір змінних, що описує стан ОУ, може відрізнитись для різних подій із вхідних даних, що ускладнює оперативне їх порівняння та виявлення змін у стані об'єкту управління при вирішенні задачі підтримки управлінських рішень.

Задача виявлення аномалій у таких послідовностях традиційно вирішується через виявлення нетипових послідовностей значень змінних [257], тобто нетипових послідовностей станів об'єкту управління. Можливими є два варіанти нетипових послідовностей:

- позиція поточного стану у послідовності станів є нетиповою;
- комбінація позицій станів є нетиповою.

В першому випадку виявляється відхилення позиції фактичного поточного стану у послідовності станів від позиції, що була передбачена в моделі процесу або об'єкту управління (з урахуванням контексту виконання управляючих дій). Для вирішення задачі виявлення аномалій у даному випадку використовуються Марківські моделі [233], [257], [262], [263].

У другому випадку порівнюється поточна i – послідовність станів з іншими відомими послідовностями з тим, щоб встановити їх схожість або визначити частоту виникнення поточної послідовності. Схожість також може бути визначена на фрагментах цих послідовностей. Для вирішення задачі

виявлення аномалій у випадку нетипової послідовності позицій станів використовуються методи на основі схожості, частотні методи, а також приховані марковські моделі [264]–[266]. Такі методи використовують три базові концепції.

Концепція виявлення аномалій на основі схожості послідовностей станів базується на знаходженні найближчих сусідів до поточної послідовності. Для цього обчислюються відстані поточної послідовності станів об'єкту управління від аналогічних найближчих послідовностей станів – сусідів. Отримане значення відстані є показником типовості чи не типовості поточної підпослідовності.

Частотна концепція виявлення аномалій базується на визначенні частоти появи відомих послідовностей подій (або станів) у порівнянні з частотою виникнення послідовності, що перевіряється. У випадку, якщо частота появи поточної послідовності відрізняється від розподілу частот для типових послідовностей, то поточна послідовність вважаються аномальною.

Використання прихованої Марківської моделі дає можливість визначити недоступну для спостереження послідовність подій на основі знань, що пов'язують відомі події з прихованими. Приховані послідовності подій з низькою ймовірністю реалізації, що згенеровані Марківською мережею, розглядаються як аномалії [257], [265].

Запропонований метод використовує комбінацію розглянутих концепцій з урахуванням характерних особливостей проблемної ситуації.

Зазначене дає можливість виділити такі характеристики проблемної ситуації, що є суттєвими для задачі підтримки управлінських рішень:

- виникнення помилкового стану ОУ;
- несвоєчасне виникнення нормального стану об'єкту управління;
- нетипова послідовність управляючих дій та відповідна нестандартна послідовність станів, що передують поточному стану ОУ.

Відповідність цих характеристик та ознак аномальної послідовності станів наведено в табл. 5.1.

Таблиця 5.1 – Відповідність ознак аномальної послідовності подій та характеристик проблемної ситуації

Ознаки аномальної послідовності станів	Характеристики проблемної ситуації
1. Нетипова позиція поточного стану у послідовності станів об'єкту управління	1. Виникнення помилкового стану об'єкту управління; 2. Несвоєчасне виникнення нормального стану ОУ
2. Нетипова комбінація позицій станів ОУ	3. Нетипова послідовність управляючих дій та відповідна нестандартна послідовність станів, що передують поточному стану ОУ

Вхідні дані для виявленні аномалій у вигляді журналів подій або транзакцій зазвичай містять інформацію про значення ключових змінних і лише частково описують динаміку стану об'єкту управління. Неповнота вхідних даних ускладнює автоматизоване виявлення помилкового стану об'єкту управління без урахування послідовності подій, що привели до цього стану.

Ознака помилкового стану не враховує відношення між змінами станів ОУ та відповідними управляючими діями. Відповідно, використання першої характеристики проблемної ситуації потребує розробки детальної, з урахуванням знань про предметну область, моделі об'єкту управління. Тому розроблений методу орієнтований в першу чергу на використання комбінації другої та третьої характеристик проблемної ситуації. Згідно другої характеристики проблемної ситуації, поточний стан ОУ може бути аномальним навіть у випадку типовості значень змінних, що його характеризують. Ознакою аномальності є несвоєчасне виникнення такого стану.

Згідно третьої характеристики, при виявленні проблемної ситуації необхідно враховувати послідовність управляючих дій, що привели до виникнення поточного стану. Послідовність дій з низькою ймовірністю може свідчити про виникнення такої ситуації.

Таким чином, для оперативного виявлення проблемної ситуації в задачі підтримки управлінських рішень необхідно врахувати:

- темпоральний аспект виникнення поточного стану об'єкту управління в сенсі упорядкованості станів у часі;
- ступінь близькості між поточною послідовністю управляючих дій (або відповідною послідовністю станів) та типовими послідовностями станів, що відповідають вирішенню тієї ж самої функціональної задачі;
- частоту появи типових послідовностей станів ОУ;
- знання про зв'язки між відомими подіями та недоступними для спостереження змінними, що характеризують стан об'єкту управління.

В рамках даного методу поєднання цих аспектів виконується шляхом використання темпоральних правил, що обумовлюється їх суттєвими з точки зору виявлення аномалій перевагами.

По-перше, темпоральні правила відображають упорядкованість управляючих дій, станів або подій у часі і тому містять знання про своєчасність виникнення поточного стану ОУ.

По-друге, із представленого в розділі 3 формального опису темпоральних правил видно, що співпадіння множин таких правил свідчить про однаковість дискретних послідовностей станів ОУ. Чим більше відрізнятимуться правила, тим більше відрізнятимуться послідовності станів. Тому виявлення аномальної ситуації за ступенем близькості послідовностей станів об'єкту управління може бути виявлено на основі порівняння відповідних множин темпоральних правил.

По-третє, темпоральні правила мають вагу, яка відповідає частоті їх появи у відомих реалізаціях управлінських рішень. Наявність параметра ваги

свідчить про можливість реалізації частотного підходу на основі темпоральних правил.

По-четверте, темпоральні правила містять ймовірнісні знання про залежності між відомими станами. Такі відношення у часі між станами виникають внаслідок прихованих причинно-наслідкових зв'язків між складовими об'єкту управління, що визначають послідовність його функціонування при реалізації функціональних задач. Тому застосування темпоральних правил дає можливість використати доступні для спостереження темпоральні залежності для побудови послідовності управляючих дій із прихованими (в сенсі недоступності вхідних даних) каузальними зв'язками.

Наступна особливість запропонованого методу полягає у використанні комбінації бінарної та ймовірнісної оцінок відхилень поведінки об'єкту управління від типової. Наявність аномалії підтверджується бінарною оцінкою, яка показує: типовою чи нетиповою є поведінка об'єкту управління у поточній ситуації. На відміну від бінарної, числова оцінка встановлює ступінь відхилення поточної поведінки об'єкту від «нормальної» або типової. При використанні комбінації бінарної та ймовірнісної числової оцінок, числовий показник дозволяє упорядкувати ситуації, що аналізуються, за ступенем їх відхилення від типової послідовності станів ОУ. Тобто числова оцінка визначає ймовірність реалізації поточної ситуації при нормальному функціонуванні підприємства.

Використання ймовірнісної числової оцінки пов'язано із ймовірнісним характером темпоральних правил. Ймовірність виникнення ситуації, що аналізується, може бути обчислена на основі ваг цих правил. Бінарна оцінка формується на основі ймовірнісної числової з використання порогового значення ймовірності виникнення такої ситуації. Якщо числове значення є допороговим, то ситуація вважається аномальною. Визначення порогового значення ймовірнісної оцінки є прерогативою ОПР.

Перевага ймовірнісної оцінки полягає в тому, що вона є незалежною від типу даних, що використовуються для опису об'єкту та процесу управління.

Таким чином, запропонований метод виявлення аномальних ситуацій базується на порівнянні темпоральних знань, що задають ймовірний порядок у часі для послідовностей станів об'єкту управління.

Узагальнену схему виявлення аномальних станів об'єкту управління за допомогою темпоральних правил представлено на рис. 5.1.

При виконанні методу порівнюються темпоральні правила для поточної послідовності станів $\Pi_{current}$, для якої виконується аналіз поточної ситуації, із правилами для альтернативних послідовностей станів $\Pi = \{\Pi_i : i \neq current\}$, що відображають вирішення однієї й тієї ж функціональної задачі або реалізацію одного й того ж бізнес-процесу.

Метод формує ймовірнісну оцінку поточного стану об'єкту управління у вигляді сумарної ваги темпоральних правил, що обумовлюють як дану $\Pi_{current}$, так і альтернативні послідовності Π_i , від початкового $S_{i,0}$ до поточного стану $S_{i,current}$.

Кожна послідовність Π_i відображається в базі знань послідовністю фактів $V_i = \langle \Phi_{i,0}, \Phi_{i,1}, \dots, \Phi_{i,m}, \dots, \Phi_{i,j}, \dots, \Phi_{i,J} \rangle$.

Темпоральні знання про таку послідовність фактів задаються множиною $R_i = \{r_m^j : (\forall j \forall m) \exists r_{i,m}^{i,j}\}$ правил r_m^j , що містить реалізації цих правил $r_{i,m}^{i,j}$. Кожна з $r_{i,m}^{i,j}$ є реалізацією NeXt -правила x_m^j , або Future - правила f_m^j , або Until-правила u_m^j з відповідними кванторами.

Поточна послідовність станів $\Pi_{current}$ відображається упорядкованою множиною фактів $V_{current} = \langle \Phi_{current,0}, \dots, \Phi_{current,current} \rangle$. В подальшому при описі підмножин темпоральних правил будуть використані такі позначення:

– $R_{current}$ для поточної множини фактів $V_{current}$;

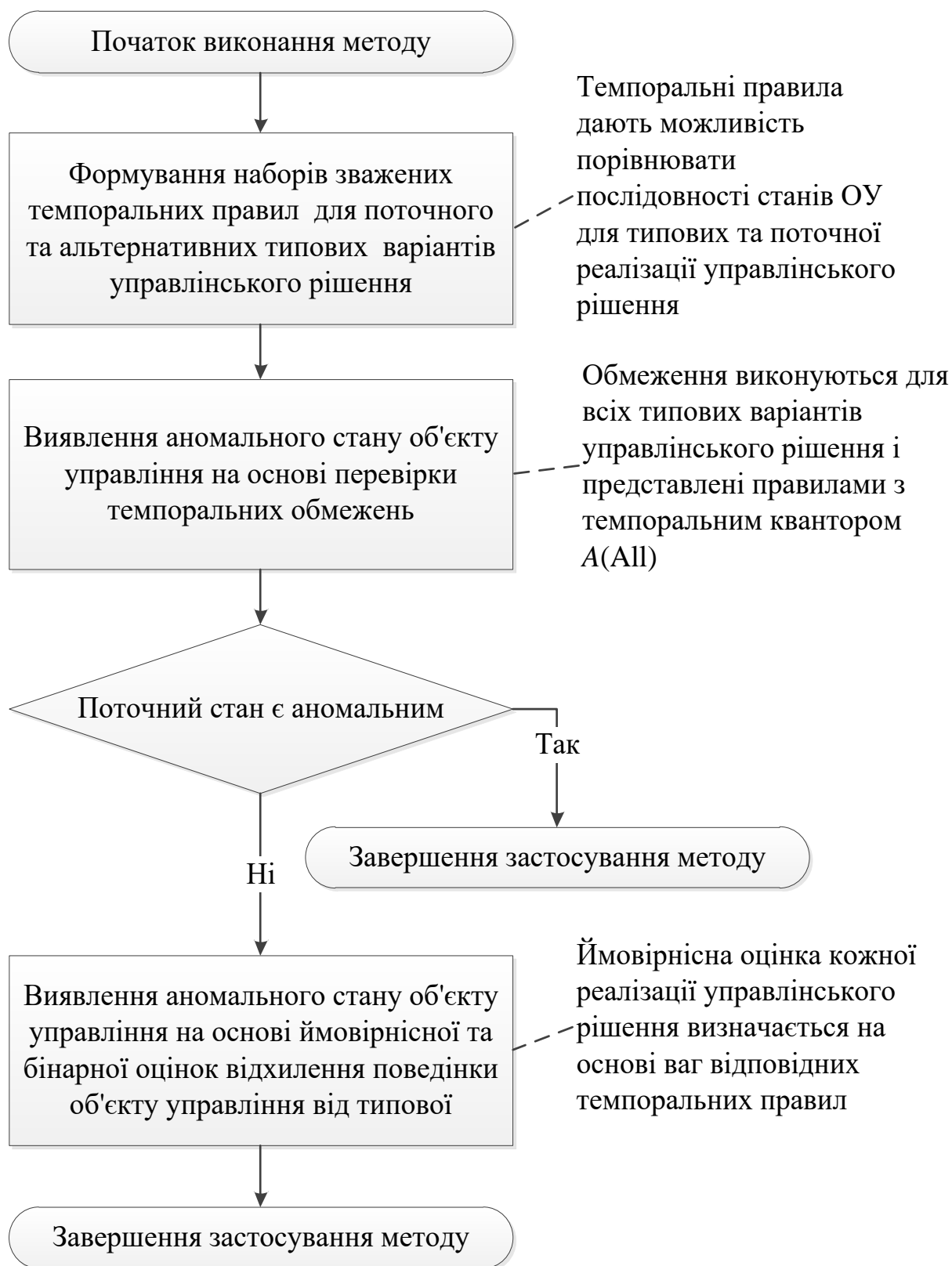


Рисунок 5.1 – Узагальнена схема виявлення аномальних станів об'єкту управління з використанням темпоральних правил

– $R = \{R_i : i \neq current\}$ для множин фактів, що відображають альтернативні реалізації УР.

Типові послідовності управляючих дій, реалізація яких призводить до типових послідовностей станів Π_i , зазвичай апріорно задаються в моделі процесу управління. Вони можуть бути представлені, наприклад, у вигляді послідовності робіт (workflow) у складі моделі бізнес-процесу.

В попередніх розділах було показано, що сумарна вага темпоральних правил використовується для обчислення ймовірності реалізації відповідної альтернативи управлінського рішення. Значення ваги W_i реалізацій темпоральних правил $r_{i,m}^{i,j}$ для послідовності фактів V_i є сумою ваг відповідних правил із множини R_i :

$$W_i = \sum_{j=0}^{m-1} w_m^j \mid \exists r_{i,m}^{i,j}, w_m^j \neq \infty. \quad (5.1)$$

де w_m^j – вага темпорального правила r_m^j з класу еквівалентності $[r_m^j]$, що має реалізацію $r_{i,m}^{i,j}$.

Вираз (5.1) має таку семантику: чим більше сумарна вага W_i , тим більш типовою є послідовність фактів V_i та відповідна реалізація управлінського рішення Π_i . Значення ваги можуть бути використані для побудови ймовірнісної оцінки відхилень поточного стану і послідовності $V_{current}$ від аналогічних типових послідовностей $V = \{V_i : (\forall i) i \neq current\}$.

Ймовірнісна оцінка відхилення поведінки об'єкту управління від типової $\Delta W_{current}$ визначається як відмінність ваги поточної реалізації управлінського рішення $V_{current}$ від середньої ваги альтернативних нормальних реалізацій, що відповідають вирішенню тієї ж функціональної задачі:

$$\Delta W_{current} = W_{current} - \frac{\sum_i W_i}{|V|}. \quad (5.2)$$

де $W_{current}$ – сумарна вага темпоральних правил, що визначають поточну реалізацію процесу управління.

В попередніх розділах було показано, що ймовірність реалізації послідовності фактів V_i визначається у відповідності до сумарної ваги темпоральних правил. Тому оцінку (5.2) доцільно розглядати як ймовірнісну.

Бінарна оцінка відхилення поведінки об'єкту управління від типової ω формується на основі ймовірнісної оцінки (5.2) традиційно, шляхом порівняння з пороговим значенням ваги ε :

$$\omega = \begin{cases} true, & \text{if } |\Delta W_{current}| \geq \varepsilon, \\ false, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5.3)$$

Порогове значення ваги залежить від предметної області, а також кількості відомих альтернативних реалізацій управлінського рішення та задається ОПР.

Вхідними даними методу є множина типових послідовностей фактів $V = \{V_i\}$, а також поточна послідовність фактів $V_{current}$. Методи та технологія формування цих послідовностей фактів на основі даних про послідовність станів ОУ були розглянуті в розділі 4.

Метод містить у собі такі етапи.

Етап 1. Формування множини реалізацій темпоральних правил, що визначають упорядкованість у часі станів $\Phi_{current,j}$ для поточної послідовності $V_{current} = \langle \Phi_{current,0}, \Phi_{current,1}, \dots, \Phi_{current,current} \rangle$. Результатом етапу є множина реалізацій темпоральних правил $R_{current} = \{r_{current,j}^{current,m}\}$.

В реалізаціях правил не використовуються темпоральні квантори, оскільки в даному випадку задається відношення лише для однієї послідовності фактів.

Етап 2. Уточнення множини послідовностей V з урахуванням факту поточного стану $\Phi_{current,current}$.

Перелік послідовностей уточнюється з урахуванням першої ознаки аномальної послідовності подій або станів (табл. 5.1). В рамках задачі підтримки управлінських рішень перша ознака пов'язана із виникненням аномального стану ОУ, або несвоечасним переходом до типового стану.

Крок. 2.1. Побудова підмножини послідовностей фактів $V^{(1)}$, що містять у собі факт $\Phi_{current,current}$ виникнення поточного стану, та закінчуються цим фактом:

$$V^{(1)} = \{V_i^{(1)} : \forall i \exists \Phi_{i,j} \in [\Phi_{current}]\}, \quad (5.4)$$

$$V_i^{(1)} = \langle \Phi_{i,1}, \Phi_{i,2}, \dots, \Phi_{i,j} : \Phi_{i,j} \in [\Phi_{current}] \rangle. \quad (5.5)$$

Результуюча підмножина $V^{(1)}$ містить у собі послідовності фактів, що дають можливість побудувати темпоральні правила для виявлення несвоечасного виникнення поточного стану $\Phi_{current,current}$.

В тому випадку, якщо факт $\Phi_{current,current}$ ще невідомий, тобто відсутній в базі знань, то виконується крок 2.2.

Крок 2.2. Визначення підмножини послідовностей фактів $V^{(2)}$, що містять у собі факт $\Phi_{current,current-1}$, попередній до поточного стану. Даний крок виконується за умови:

$$V^{(1)} = \emptyset. \quad (5.6)$$

Результатом кроку є підмножина $V^{(2)}$, елементи якої мають наступні властивості:

$$V^{(2)} = \{V_i^{(1)} : \forall i \exists j : \Phi_{i,j} \in [\Phi_{current-1}]\}, \quad (5.7)$$

Кожна послідовність $V_i^{(2)} \in V^{(2)}$, що відповідає типовим реалізаціям управлінського рішення, містить передостанній факт $\Phi_{i,j-1}$, який співпадає з фактом $\Phi_{current,current-1}$ для поточної реалізації УР:

$$V_i^{(2)} = \langle \Phi_{i,1}, \Phi_{i,2}, \dots, \Phi_{i,j-1}, \Phi_{i,j} : \Phi_{i,j-1} = \Phi_{current,current-1} \rangle. \quad (5.8)$$

Підмножина $V^{(2)}$ містить у собі лише ті послідовності фактів, що дозволяють виявити помилковий стану ОУ. Цей крок базується на особливості використання методу виявлення аномальних станів. Даний метод застосовується ітеративно, при зміні стану об'єкту управління внаслідок реалізації відповідної управляючої дії. Істинність умови (5.6) свідчить про те, що факт $\Phi_{current,current}$ ще не зустрічався при вирішенні відповідної задачі управління. Виникнення такого факту може свідчити як про новий варіант реалізації тієї ж функціональної задачі, так і про досягнення помилкового стану. Істинність умови (5.6) не дає можливість сформулювати правила для типових реалізацій процесу управління, що не дозволяє оцінити аномальність поточного стану. Однак в силу ітеративного застосування методу, попередній стан, відображений фактом $\Phi_{current,current-1}$, на попередній ітерації був визначений як типовий для даного процесу управління. Тому темпоральні правила для альтернативних типових послідовностей $V^{(2)}$ можуть бути сформовані на основі попереднього стану ОУ у поточній реалізації процесу управління.

Крок 2.3. Визначення підмножини послідовностей фактів $V^{(3)}$ для виявлення аномалій за першою ознакою згідно табл. 5.1:

$$V^{(3)} = \begin{cases} V^{(2)}, & \text{if } V^{(1)} = \emptyset, \\ V^{(1)}, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5.9)$$

Етап 3. Відбір темпоральних правил та обмежень для множини послідовностей фактів $V^{(3)}$, що відповідає типовим реалізаціям управлінського рішення.

На даному етапі із правил, що були сформовані в базі знань для повної множини V альтернативних реалізацій процесу управління відбираються лише правила, що реалізовані на послідовностях $V_i^{(3)} \in V^{(3)}$. Для отриманої підмножини правил уточнюються квантори, оскільки кількість елементів у множині $V^{(3)}$ менше, ніж у множини V . Результатом етапу є множина темпоральних правил $R^{(3)}$, що визначають як умови, так і обмеження при виконанні управляючих дій. Обмеження представлені правилами з квантором A(All) та виконуються для всіх послідовностей фактів $V_i^{(3)}$. Умови представлені правилами з квантором E(Exist):

Етап 4. Виявлення аномального стану об'єкту управління на основі темпоральних обмежень.

Ознака аномального стану γ за темпоральними обмеженнями визначається таким чином:

$$\gamma = \begin{cases} \text{false, if } (\forall Ar_m^j) \in R^{(3)} \exists r_{current,m}^{current,j}, \\ \text{true, otherwise.} \end{cases} \quad (5.10)$$

де Ar_m^j – темпоральні обмеження;

$r_{current,j}^{current,m}$ – реалізація темпорального обмеження на поточній послідовності фактів $V_{current}$.

Згідно (5.10), якщо хоча одно з обмежень не виконано, тобто не має реалізації $r_{current,j}^{current,m}$ на поточній послідовності фактів, то бінарна оцінка приймає значення «true». Істинність даної оцінки свідчить про те, що послідовність фактів $V_{current}$ не задовольняє щонайменше одному темпоральному обмеженню, що виконується для всіх типових послідовностей фактів.

У випадку $\gamma = true$ факт $\Phi_{current,current}$ відображає виникнення аномального поточного стану, що є ознакою проблемної ситуації, тобто поточний стан $s_{current,current}$ належить до підмножини аномальних станів S^{abn} : $\gamma = true \Rightarrow s_{current,current} \in S^{abn}$. Оскільки проблемна ситуація виявлена, то виконання методу завершується.

У випадку задоволення обмежень, тобто $\gamma = false$ виявлення аномалій продовжується за ймовірнісною оцінкою шляхом порівняння темпоральних правил, що визначають послідовність та умови виконання управляючих дій у складі управлінського рішення.

Етап 5. Видалення обмежень із повної множини правил $R^{(3)}$.

На етапі 4 було встановлено, що послідовність $V_{current}$ задовольняє обмеження, тому вони виключаються з подальшого розгляду та обчислення ймовірнісної оцінки на основі ваг правил. Результатом етапу є множина $R^{(4)}$ темпоральних правил $Er_m^j: R^{(4)} = \{Er_m^j\}$.

Етап 6. Розрахунок сумарної ваги W_i для фактів $\Phi_{i,m} \in [\Phi_{current}]$ виникнення альтернативних станів згідно (5.1) та сумарної ваги темпоральних правил $W_{current}$ для факту $\Phi_{current,current}$ виникнення поточного стану:

$$W_{current} = \sum_{j=0}^{current-1} w_{current}^j \mid \exists r_{current,current}^{current,j}, w_{current}^j \neq \infty. \quad (5.11)$$

Етап 7. Виявлення аномального стану об'єкту управління на основі темпоральних правил.

Крок 7.1. Обчислення згідно (5.2) ймовірнісної оцінки відхилення як різниці у вагах темпоральних правил для поточної $V_{current}$ та типових $V^{(3)}$ послідовностей фактів.

Крок 7.2. Обчислення згідно (5.3) бінарної оцінки виникнення аномального стану на основі відхилень у поведінці ОУ.

У випадку істинності представленої виразом (5.3) оцінки ω , факт $\Phi_{current,current}$ свідчить про виникнення нетипового стану $s_{current,current}$:

$$\left(\forall \Phi_{current,current} \right) \omega = true \Rightarrow s_{current,current} \in S^{abn}, \quad (5.12)$$

де S^{abn} – множина аномальних станів об'єкту управління.

Результатом застосування методу є оцінка належності поточного стану $s_{current,current}$ до підмножини аномальних станів S^{abn} .

Таким чином, використана в рамках представленого методу комбінація ймовірнісної та бінарної оцінок дає можливість виявити проблемну ситуацію на основі нетипової сукупності темпоральних відношень між послідовностями станів при реалізації управлінського рішення, що привели до виникнення аномального стану або ж до несвоєчасного переходу до нормального стану об'єкту управління.

Даний метод реалізує загальну концепцію виявлення аномальних станів на основі темпоральних знань. Метод може бути адаптований з урахуванням особливостей реалізації задачі підтримки прийняття рішень в рамках відповідної інформаційної системи.

5.2 Розробка темпоральних методів виявлення аномальних станів об'єкту управління внаслідок шилінг-атак в системах електронної комерції

Даний підрозділ присвячений застосуванню темпоральних знань при вирішенні проблеми фальсифікації вхідних даних в задачах підтримки прийняття рішень з вибору товарів та послуг в системах електронної комерції (СЕК).

Призначенням систем електронної комерції є продаж інформації, товарів та послуг в мережі Інтернет. Такі системи мають ряд ключових переваг перед традиційними торговими мережами:

- пропонується широкий вибір товарів та послуг, який не забезпечується в традиційних торгових мережах;
- використовується рекомендаційна підсистема, яка спрощує вибір користувача;
- скорочуються витрати часу споживачів на покупку товарів та послуг.

Дані переваги забезпечили стрімкий розвиток СЕК в останнє десятиріччя. Ключовою підсистемою СЕК, яка забезпечую підтримку вибору користувача, є рекомендаційна підсистема. Вона формує рекомендований перелік товарів та послуг, що відповідає інтересам та вимогам споживача і, відповідно, скорочує витрати часу та зусиль на вибір серед широкої номенклатури товарів та послуг системи електронної комерції.

В якості вхідних даних рекомендаційні алгоритми використовують інформацію про історію вибору товарів цільовим користувачем, схожими користувачами, та враховують виставлені споживачами рейтинги товарів і послуг [286]. В результаті рекомендаційні алгоритми мають вразливість до спотворення вхідних даних від користувача, тобто до шилінг-атак [259].

Сутність шилінг-атаки полягає у штучній зміні рейтингів цільових товарів або послуг користувачами-зловмисниками. Атака реалізується через створення профілів неіснуючих користувачів системи електронної комерції та

подальше модифікування рейтингів за допомогою цих профілів. Рейтинги штучно підвищуються для цільових товарів, збільшення продажів яких очікує зловмисник.

Аналогічно, рейтинги зменшуються для конкуруючих товарів та послуг. В результаті шилінг-атаки змінюється рекомендований перелік товарів та послуг. Така рекомендація враховує не лише інтереси цільового споживача, а й інтереси атакуючого [259], [267].

При побудові рекомендацій використовуються результати явного та неявного зворотного зв'язку від споживача. Явний зв'язок передбачає виставлення рейтингів покупок користувачем. Неявний зв'язок представлений безпосередньо покупками товарів, послуг, інформації.

Існуючі підходи до виявлення шилінг-атак засновані на використанні явного зворотного зв'язку шляхом побудови патернів формування рейтингів атакуючими користувачами [268]. При побудові таких патернів використовуються статистичні методи, а також методи машинного навчання з учителем [268] та без учителя [269]. Останні є ефективним для спеціалізованих шилінг-атак, однак не дають можливості виявити комбіновані атаки [287].

Для ефективного виявлення комбінації шилінг-атак різних типів використовується глибоке навчання конволюційної мережі [261]. Однак глибоке навчання потребує значних витрат часу, що ускладнює виявлення шилінг-атак при зміні інтересів користувачів.

Методи навчання без учителя [269] орієнтовані на кластеризацію патернів шилінг-атак в умовах незмінних інтересів звичайних споживачів. Однак при періодичній зміні вимог користувачів (наприклад, сезонній або внаслідок зміни статусу, місця роботи та проживання, тощо) дані методи не відділяють «періодичних» споживачів від атакуючих. Для подолання цього недоліку рейтинги розбивають на підмножини за мітками часу [270].

В підсумку, ключове обмеження розглянутих методів виявлення шилінг-атак полягає в тому, що вони не використовують можливості неявного

зворотного зв'язку. Останній визначає об'єктивну оцінку товарів та послуг в системі електронної комерції, оскільки має фінансове підтвердження.

Використання темпоральних знань дає можливість виконати виявлення аномального стану ОУ після шилінг-атак на основі порівняння результатів явного та неявного зв'язку від споживача.

З одного боку, темпоральні знання можуть бути використані для опису патерну поведінки користувача (або групи користувачів) у часі. Такий патерн складається із набору представлених у розділі 3 правил, які визначають послідовність покупок товарів, послуг, або послідовність виставлення рейтингів по цим об'єктам. Темпоральний опис процесу вибору об'єктів дає можливість врахувати зміни поведінки споживача, зокрема циклічність вибору.

З іншого боку, порівняння темпоральних патернів для рейтингів та покупок дає можливість виявити невідповідність між ними. Оскільки покупки є об'єктивною, а рейтинги – суб'єктивною оцінкою інтересів споживача, то така розбіжність є ознакою потенційної шилінг-атаки.

При порівнянні знань про покупки та рейтинги можуть бути використані два підходи:

- порівняння окремих темпоральних правил з метою знайти невідповідність між окремими парами покупок та рейтингів для груп споживачів;

- порівняння процесів зміни явних та неявних уподобань користувачів протягом заданого періоду часу.

В першому випадку порівнюються окремі правила для визначеного інтервалу часу з поступовою деталізацією групи споживачів з тим, щоб виділити з неї атакуючих користувачів рекомендаційної підсистеми.

В другому випадку порівнюється дві множини темпоральних правил. Перша множина є описом процесу покупок і відображає зміну неявних уподобань користувачів (тобто вподобань, що отримані на основі неявного

зворотного зв'язку). Друга множина містить темпоральні знання про процес рейтингування, тобто відображає явну зміну вимог користувачів системи електронної комерції.

5.2.1 Метод виявлення шилінг-атак на основі порівняння темпоральних правил

Запропонований метод виявлення шилінг-атак передбачає формування темпоральних правил, що описують залежності у часі між вибором користувача в системах електронної комерції. Правила окремо формуються для послідовності покупок товарів або послуг, а також для подій виставлення рейтингів цих об'єктів. Потім порівнюються правила для одного періоду часу. Наявність відмінності між темпоральними правилами для явного та неявного зворотного зв'язку свідчить про можливу атаку на рейтинги.

В розробленому методі використовуються адаптовані правила Ex_m^j (Next-правила) з квантором E (Exist), що були представлені у підрозділі 3.2.

Факти покупки або рейтингування одного й того ж об'єкту $y_z \in Y$ визначаються для двох послідовних інтервалів часу $\Delta\tau_{n-1}$ та $\Delta\tau_n$. Квантор E використаний для того, щоб позначити можливість вибору j – об'єкту не пустою підмножиною користувачів $u_k : \{u_k\} \neq \emptyset$.

Адаптоване темпоральне правило не лише задає порядок у часі для пари фактів послідовних у часі фактів, але й описує характер зміни інтересів користувачів (збільшення, зменшення) до цільового предмету:

$$\Phi_{n-1} \xrightarrow{EX\delta_j} \Phi_n, \quad (5.13)$$

де δ_j – логічний показник зміни інтересів користувачів до цільового об'єкту у на інтервалі $\Delta\tau_n$ у порівнянні з попереднім інтервалом $\Delta\tau_{n-1}$;

Φ_{n-1}, Φ_n – факти продажу цільового об'єкту користувачам на послідовних інтервалах часу $\Delta\tau_{n-1}$ та $\Delta\tau_n$ відповідно;

E – темпоральний квантор існування Exist;

X – темпоральний оператор Next, що пов'язує два послідовних у часі факти.

Показник δ_j є істинним у випадку підвищення продажів (або збільшення рейтингів) на інтервалі часу $\Delta\tau_n$ у порівнянні з інтервалом $\Delta\tau_{n-1}$.

Зважене темпоральне правило додатково до виразу (5.13) містить вагу w_n . Оскільки дане правило є Next-правилом, то і вага правила w_n і незважене правило Ex_n в подальшому представляється лише з індексом другого інтервалу n .

Правила (5.13) формуються окремо для кожного об'єкту y . З метою спрощення та без втрати спільності індекс об'єкту в цих правилах не відображається.

Метод використовує такі вхідні дані:

– множина записів L про продажі в системі електронної комерції з часовими мітками;

– множина записів Q з часовими мітками про рейтинги об'єктів в системі електронної комерції;

– об'єкт y , щодо якого виявляється шилінг-атака;

– множина користувачів $Us = \{us_k\}$, що вибирали об'єкт y_z , або виставляли рейтинг цього об'єкту;

– інтервал деталізації часу $\Delta\tau_n$ (день, місяць, рік, тощо).

Кожен запис про продажі $l_j \in L$ містить у собі інформацію про покупця, об'єкту продажу, час продажу, а також кількість куплених об'єктів:

$$l_j = \{us_k, y_z, \tau_j, g_{k,z}\}, \quad (5.14)$$

де us_k – користувач, що придбав об'єкт y_z ;

τ_j – момент часу продажу (часова мітка продажу);

$g_{k,z}$ – кількість проданих об'єктів y_z .

Кожен елемент $q_m \in Q$ містить інформацію про отриманий від користувача рейтинг об'єкту y_z за умови визначення граничних значень рейтингу:

$$q_m = \left\{ (us_k, y_z, \tau_m, \rho_{k,z}) : \rho_{\max} > \rho_{k,z} > 0 \right\}, \quad (5.15)$$

де τ_m – момент виставлення рейтингу (часова мітка рейтингу);

$\rho_{k,z}$ – значення рейтингу об'єкту y_z ;

ρ_{\max} – максимально можливе значення рейтингу товару або послуги в системі електронної комерції.

Метод складається з такої послідовності етапів:

Етап 1. Формування множини R^α зважених Next-правил, що містять темпоральні знання щодо неявного зворотного зв'язку від користувача по об'єкту y_z .

Крок 1.1. Відбір упорядкованої у часі підмножини $L_1 \subseteq L$ записів $l_{1,j}$ щодо продажів вхідного об'єкту y_i .

$$L_1 = \left\langle l_{1,1}, \dots, l_{1,j-1}, l_{1,j}, \dots, l_{1,|L_1|} : (\forall j) \tau_{j-1} < \tau_j, y_z \in l_{1,j}, g_{k,z} > 0 \right\rangle. \quad (5.16)$$

Крок 1.2. Об'єднання записів із множини L_1 згідно заданого рівня деталізації часу $\Delta \tau_n$ з метою формування фактів темпоральних правил.

Результатом даного кроку є множина $L_2 = \{l_{2,n}\}$, кожен елемент якої містить інформацію про сумарну кількість проданого товару або послуги для всіх користувачів $us_k \in Us$ на інтервалі $\Delta\tau_n$:

$$L_2 = \left\langle l_{2,1}, \dots, l_{2,n}, \dots, l_{2,|L_2|} : l_{2,n} = (y_z, g_{z,n}, \Delta\tau_n), (\forall n) g_{z,n} = \sum_{l_{1,j}: \tau_j \in \Delta\tau_n} g_{k,z} \right\rangle. \quad (5.17)$$

Елементи $l_{2,n}$ містять дані для фактів Φ_n^α темпорального правила із семантикою виду «кількість продажів об'єкту y_z на інтервалі $\Delta\tau_n$ становить $g_{z,n}$ ».

Крок 1.3. Формування множини R_1^α прототипів модифікованих темпоральних правил.

Результатом даного кроку є правила, що визначають послідовність пар фактів на базі послідовності об'єднаних продажів $l_{2,n-1}$ та $l_{2,n}$:

$$R_1^\alpha = \{Ex_n^\alpha : \forall \Phi_n^\alpha \exists l_{2,n}, \forall \Phi_{n-1}^\alpha \exists l_{2,n-1}\}. \quad (5.18)$$

де Φ_{n-1}^α та Φ_n^α – факти продажів на інтервалах часу $\Delta\tau_{n-1}$ та $\Delta\tau_n$ відповідно;

Ex_n^α – темпоральне правило для послідовних інтервалів $\Delta\tau_n$ та $\Delta\tau_{n-1}$.

Отже, отримані на даному кроці прототипи є незваженими темпоральними правилами, що були запропоновані в розділ 3.

Крок 1.4. Побудова множини R_2^α прототипів зважених темпоральних правил для неявного зворотного зв'язку.

Ваги темпоральних правил w_n^α обраховуються на даному кроці як нормована різниця кількості продажів цільового об'єкту на суміжних інтервалах $\Delta\tau_n$ та $\Delta\tau_{n-1}$:

$$w_n^\alpha = \frac{g_{z,n} - g_{z,n-1}}{\max_n(g_{z,n})}, \quad (5.19)$$

де $g_{z,n}$, $g_{z,n-1}$ – кількість продажів цільового об'єкту відповідно на інтервалах $\Delta\tau_n$ та $\Delta\tau_{n-1}$.

Результатом даного кроку є множина темпоральних правил з абсолютними значеннями їх ваг:

$$R_2^\alpha = \left\{ \left(Ex_n^\alpha, |w_n^\alpha| \right) \right\}. \quad (5.20)$$

Крок 1.5. Формування множини R^α адаптованих темпоральних правил. Кожне правило r_n^α з множини R^α задається трійкою (незважене правило Ex_n^α , вага правила w_n^α , показник зміни інтересів користувачів δ_n^α).

Логічний показник δ_n^α зміни інтересів користувачів відображає збільшення або зменшення інтересів споживачів до заданого об'єкту. Ці зміни інтересів в рамках неявного зворотного зв'язку представлені змінами продажів w_n^α :

$$\delta_n^\alpha = \begin{cases} true, & \text{if } w_n^\alpha > 0, \\ false, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5.21)$$

Результуюча множина R^α має вигляд:

$$R^\alpha = \left\{ r_n^\alpha \right\}, \quad r_n^\alpha = \left(Ex_n^\alpha, |w_n^\alpha|, \delta_n^\alpha \right), \quad (5.22)$$

де r_n^α – адаптоване темпоральне правило.

Показник δ_n^α об'єктивно, на фінансовий основі, відображає зміну інтересу користувачів до товару, послуги, інформації.

Етап 2. Побудова підмножини множини R^B зважених темпоральних Next-правил для явного зворотного зв'язку по об'єкту y_i на основі рейтингів користувача.

Крок 2.1. Відбір упорядкованої у часі підмножини $Q_1 \subseteq Q$ записів $q_{1,m}$ щодо рейтингів вхідного об'єкту y_z :

$$Q_1 = \left\langle q_{1,1}, \dots, q_{1,m}, \dots, q_{1,|Q_1|} : (\forall m) \tau_{m-1} < \tau_m, y_z \in q_{1,m} \right\rangle. \quad (5.23)$$

де τ_m – момент часу виставлення рейтингу;

Крок 2.2. Формування набору даних $Q_2 = \{q_{2,n}\}$ для побудови фактів темпоральних правил щодо явного зворотного зв'язку згідно заданого рівня деталізації часу $\Delta\tau_n$.

На даному кроці виконується об'єднання записів $q_{1,m}$ на основі усереднення рейтингів об'єкту y_z із множини Q_1 по інтервалам часу $\Delta\tau_n$. Кожен отриманий про об'єднанні елемент $q_{2,n}$ задається трійкою (об'єкт, усереднений рейтинг, інтервал):

$$q_{2,n} = (y_z, \rho_{z,n}, \Delta\tau_n) : (\forall n) \rho_{z,n} = \frac{\sum_{q_{1,m} | \tau_m \in \Delta\tau_n} \rho_{k,z}}{\left| \{q_{1,m} : \tau_m \in \Delta\tau_n\} \right|}, \quad (5.24)$$

де $\rho_{z,n}$ – усереднений рейтинг об'єкту y_z на інтервалі часу $\Delta\tau_n$;

τ_m – момент встановлення рейтингу об'єкту y_z .

Результатом даного кроку є множина Q_2 упорядкованих у часі елементів $q_{2,n}$ із середнім рейтингом об'єкту y_z на інтервалі $\Delta\tau_n$:

$$Q_2 = \left\langle q_{2,1}, \dots, q_{2,n-1}, q_{2,n}, \dots, q_{2,|Q_2|} \right\rangle. \quad (5.25)$$

Елементи $q_{2,n-1}$ та $q_{2,n}$ містять дані для фактів Φ_{n-1}^β та Φ_n^β темпорального правила. Наприклад, факт Φ_n^β має семантику виду «середній рейтинг об'єкту y_z на інтервалі $\Delta\tau_n$ становить $\rho_{z,n}$ ».

Крок 2.3. Формування множини R_1^β прототипів незважених темпоральних правил для явного зворотного зв'язку.

Результатом даного кроку є правила, що визначають послідовність пар фактів Φ_{n-1}^β та Φ_n^β щодо рейтингів на суміжних інтервалах часу $\Delta\tau_n$ та $\Delta\tau_{n-1}$:

$$R_1^\beta = \left\{ Ex_n^\beta : \forall \Phi_n^\beta \exists q_{2,n}, \forall \Phi_{n-1}^\beta \exists q_{2,n-1} \right\}. \quad (5.26)$$

де Φ_{n-1}^β та Φ_n^β – факти визначення рейтингу на інтервалах часу $\Delta\tau_n$ та $\Delta\tau_{n-1}$ відповідно;

Ex_n^α – темпоральне правило для послідовних інтервалів $\Delta\tau_n$ та $\Delta\tau_{n-1}$.

Крок 2.4. Побудова множини R_2^β прототипів зважених темпоральних правил для явного зворотного зв'язку.

Ваги темпоральних правил w_n^β визначаються як нормована зміна рейтингів цільового об'єкту для пари суміжних інтервалів $\Delta\tau_n$ та $\Delta\tau_{n-1}$:

$$w_n^\beta = \frac{\rho_{z,n} - \rho_{z,n-1}}{\rho_{\max}} \quad (5.27)$$

де $\rho_{i,s}, \rho_{i,s-1}$ – рейтинги об'єкту y_i на інтервалах $\Delta\tau_n$ та $\Delta\tau_{n-1}$ відповідно;

ρ_{\max} – максимальне значення рейтингу.

Результатом даного кроку є множина темпоральних правил, що відображають зміни рейтингу заданого об'єкту у часі з абсолютними значеннями їх ваг:

$$R_2^\beta = \left\{ \left(Ex_n^\beta, |w_n^\beta| \right) : |w_n^\beta| \neq 0 \right\}. \quad (5.28)$$

Крок 2.5. Формування множини R^β адаптованих темпоральних правил r_n^β для явного зворотного зв'язку.

Адаптоване правило, на відміну від результатів кроку 2.4, містить показник δ_n^β зміни суб'єктивних інтересів користувачів. Даний показник обчислюється аналогічно виразу (5.21) для δ_n^α .

Результуюча множина темпоральних правил R^β відображає зміни рейтингу заданого об'єкту:

$$R^\beta = \{ r_n^\beta \}, r_n^\beta = \left(Ex_n^\beta, |w_n^\beta|, \delta_n^\beta \right). \quad (5.29)$$

де r_n^β – адаптоване темпоральне правило.

Етап 3. Побудова підмножини $R_{attacked}^\beta \subseteq R^\beta$ темпоральних правил для явного зворотного зв'язку, які що відображають можливі шилінг-атаки.

Крок 3.1. Знаходження підмножини правил R_3^β , які відповідають можливій шилінг-атаці.

На даному кроці визначається невідповідність φ_n між показниками δ_n^β та δ_n^α для правил r_n^β щодо рейтингів та r_n^α щодо продажів:

$$\varphi_n = \delta_n^\alpha \oplus \delta_n^\beta \quad (5.30)$$

Результатом даного кроку є множина правил R_3^β , для яких показник δ_n^β те відповідає показчику δ_n^α :

$$R_3^\beta = \left\{ \left(Ex_n^\beta, |w_n^\beta|, \delta_n^\beta \right) : \varphi_n = true \right\}. \quad (5.31)$$

Наявність такої невідповідності свідчить про те, що зміни інтересу користувачів на основі явного та неявного зворотного зв'язку є протилежними. Наприклад, рейтинг збільшується при зменшенні продажів. Таке протиріччя і є індикатором можливої проблемної ситуації щодо рекомендацій внаслідок шилінг-атаки.

Крок 3.2. Розрахунок різниці ваг темпоральних правил w_n^α і w_n^β для за умови можливої шилінг-атаки.

На даному кроці визначається різниця ваг за умови $\varphi_n = true$, тобто для випадку, коли, наприклад, продажі збільшуються, а рейтинг зменшується:

$$\Delta w_n = |w_n^\alpha| + |w_n^\beta| \mid \varphi_n = true. \quad (5.32)$$

Значення різниці Δw_n ваг темпоральних правил дає можливість задати пріоритет можливої шилінг-атаки.

Чим більше значення Δw_n , тим більше невідповідність об'єктивної та суб'єктивної оцінки змін інтересів користувачів. Відповідно, більшим має бути і пріоритет потенційної атаки.

Крок 3.3. Побудова упорядкованої за зменшенням Δw_n підмножини $R_{attacked}^\beta$ правил для рейтингів, які описують можливу шилінг-атаку:

$$R_{attacked}^{\beta} = \langle r_1^{\beta}, \dots, r_{n-1}^{\beta}, r_n^{\beta}, \dots : (\forall n) \Delta w_n < \Delta w_{n-1} \rangle. \quad (5.33)$$

Упорядкована множина $R_{attacked}^{\beta}$ містить правила для найбільш ймовірних шилінг-атак на початку списку. Користувачі (або профілі користувачів) в інформаційній системі електронної комерції, які виставляли рейтинг на інтервалах $\Delta \tau_n$ або $\Delta \tau_{n-1}$, для яких існують правила r_n^{β} із множини $R_{attacked}^{\beta}$, є потенційними атакуючими.

З метою уточнення переліку атакуючих профілів користувачів даний метод може бути реалізований ітеративно у вигляді наступної послідовності фаз.

Фаза 1. Реалізація методу виявлення шилінг-атак на основі порівняння темпоральних правил.

Фаза 2. Уточнення переліку користувачів – можливих атакуючих.

Уточнення проводиться шляхом видалення користувачів, які не виставляли рейтинги для правил із множини $R_{attacked}^{\beta}$ і тому не могли виконати атаку на рейтинг.

Результуюча множина користувачів $Us_{filtered}$ – потенційних атакуючих має вигляд:

$$Us_{filtered} = \{us_k : (\forall r_n^{\beta} \in R_{attacked}^{\beta}) \exists \rho_{k,z} > 0\}. \quad (5.34)$$

В подальшому на фазі 1 у вхідних даних використовується множина $U_{filtered}$.

Умовою завершення ітеративної реалізації є відсутність користувачів, що виставляли рейтинги, які були використані для побудов правил із множини $R_{attacked}^{\beta}$.

5.2.2 Метод виявлення шилінг-атак на основі порівняння темпорального опису процесів зміни уподобань користувачів

Запропонований метод призначений для виявлення проблемної ситуації в системах електронної комерції на основі порівняння моделей процесів зміни уподобань користувачів. Метод використовує опис таких процесів у вигляді множин темпоральних правил. В рамках методу порівнюються процеси продажів, як такі, що отримані на основі даних щодо неявного зворотного зв'язку, та рейтингування, що базуються на даних, отриманих в результаті явного зворотного зв'язку від користувачів.

Для опису вказаних процесів використовуються зважені Next та Future – правила. Сукупність таких правил дає можливість виділити всі можливі залежності у часі між фактами продажів/ рейтингування для заданого рівня деталізації часу. Множина покупок цільового об'єкту, наприклад, за одну годину, розглядається як один факт, за наступну годину – інший факт і т.п.

Метод формує кількісну оцінку розходжень між цими процесами. Остання визначається як різниця оцінок процесів продажів та рейтингування. Кількісні оцінки цих процесів визначаються на основі ваг темпоральних правил.

Вага правила розраховується аналогічно попередньому методу, на основі різниці покупок (рейтингів) цільового об'єкту на двох різних інтервалах згідно рівня деталізації часу.

З використанням такої оцінки виявляються інтервали часу, на яких рейтинги товарів та послуг могли бути спотворені внаслідок шилінг-атак.

Метод використовує такі вхідні дані:

– упорядкована за часовими мітками множина записів L , що містить інформацію про продажі в системі електронної комерції; кожен запис має вигляд (5.14);

– упорядкована за часом множина записів Q , що містить виставлені користувачами рейтинги об'єктів в системі електронної комерції; кожен запис має вигляд (5.15);

– об'єкт (товар або послуга) y_z , який піддається шилінг-атаці;

– множина користувачів, $Us = \{us_k\}$, що містить профілі потенційних атакуючих у СЕК;

– рівень деталізації часу для СЕК (день, місяць, рік, тощо), представлений інтервалом $\Delta\tau_n$;

– період аналізу T , який складається із множини непересічних інтервалів $\Delta\tau_n$, тобто $T = \langle \Delta\tau_1, \dots, \Delta\tau_n, \dots, \Delta\tau_{|T|} \rangle$.

Метод використовує опис процесу зміни вподобань користувачів системи електронної комерції у вигляді послідовності оцінок W_n . Кожна з оцінок W_n відображає зміни інтересу користувача до об'єкту y_z на підмножині інтервалів часу, від першого інтервалу $\Delta\tau_1$ до інтервалу $\Delta\tau_n$. Оцінка W_n використовує ваги w_n^m темпоральних правил та розраховується таким чином:

$$W_n = \frac{\sum_{m=1}^{s-1} w_n^m}{\max_s \left(\sum_{m=1}^{s-1} w_{m,s} \right)}. \quad (5.35)$$

Даний метод містить у собі такі етапи.

Етап 1. Формування фактів для темпоральних правил, що описують процеси продажів та рейтингування для об'єкту y_z за період часу T .

На даному етапі, аналогічно методу виявлення шилінг-атак на основі порівняння темпоральних правил, формуються факти продажів та виставлення рейтингів у відповідності до заданого рівня деталізації часу $\Delta\tau_n$.

Крок 1.1. Формування фактів продажів Φ_n^β для рівня деталізації часу $\Delta\tau_n$ на основі сумування кількості покупок цільового об'єкту згідно виразів (5.16) та (5.17);

Крок 1.2. Формування фактів рейтингування Φ_n^α для рівня деталізації часу $\Delta\tau_n$ на основі усереднення рейтингу цільового об'єкту згідно виразів (5.23) та (5.24).

Етап 2. Побудова елементів опису процесів продажів та рейтингування у формі упорядкованих множин ваг темпоральних правил W^α та W^β відповідно.

Крок 2.1 Формування множин R^α та R^β темпоральних правил для процесів продажів та рейтингування відповідно.

Крок 2.2 Побудова упорядкованих множин R^α та R^β темпоральних правил для процесів продажів та рейтингування відповідно.

$$R^\alpha = \langle \alpha_2^1, \dots, \alpha_n^1, \alpha_3^2, \dots, \alpha_n^2, \dots, \alpha_n^{n-1} \rangle, \quad (5.36)$$

де $\alpha_2^1, \dots, \alpha_n^{n-1}$ – ваги темпоральні правила для продажу об'єктів для пар інтервалів від $(\Delta\tau_1, \Delta\tau_2)$ до $(\Delta\tau_{n-1}, \Delta\tau_n)$.

Ваги правил (5.36) розраховуються аналогічно (5.19), як нормована різниця кількості продажів на відповідних інтервалах.

Множина R^β має аналогічний вигляд:

$$R^\beta = \langle \beta_2^1, \dots, \beta_n^1, \beta_3^2, \dots, \beta_n^2, \dots, \beta_n^{n-1} \rangle, \quad (5.37)$$

де $\beta_2^1, \dots, \beta_n^{n-1}$ – ваги правил рейтингування.

Ваги правил (5.37) розраховуються відповідно до (5.27) як нормована зміна рейтингів об'єкту на відповідних інтервалах.

Етап 3. Побудова опису процесів продажів та рейтингування у вигляді послідовності вагових оцінок змін уподобань користувачів.

Кожна вагова оцінка W_n^α визначається як нормалізована сума ваг темпоральних правил продажів від початкового інтервалу i до поточного інтервалу:

$$W_n^\alpha = \frac{\sum_{m=1}^{n-1} \alpha_n^m}{\max_n \left(\sum_{m=1}^{n-1} \alpha_n^m \right)}. \quad (5.38)$$

Оцінка W_n^β для опису процесу рейтингування визначається аналогічно оцінці W_n^α .

Результатом етапу є послідовності W^α та W^β вагових оцінок для процесів продажів та рейтингування, що відповідають послідовностям правил (5.36) і (5.37). Опис процесу продажів має вигляд:

$$W^\alpha = \left\langle W_1^\alpha, \dots, W_n^\alpha, \dots, \alpha_n^2, \dots, W_{|W^\alpha|}^\alpha \right\rangle, \quad (5.39)$$

Опис процесу рейтингування є аналогічним до (5.39), тобто кількість оцінок для двох процесів має співпадати.

Етап 4. Виявлення інтервалів можливої шилінг-атаки на основі порівняння описів W^α та W^β .

Крок 4.1. Формування множини W_1^α кількісних оцінок невідповідностей між процесами продажів та рейтингування.

Кількісна оцінка d_n для інтервалу $\Delta\tau_n$ визначається як сума абсолютних значень оцінок W_n^α та W_n^β в тому випадку, вони мають різні знаки. Для вагових оцінок із одним знаком значення d_n дорівнює нулю.

$$d_n = \begin{cases} |W_n^\alpha| + |W_n^\beta| & \text{if } (W_n^\alpha \geq 0 \wedge W_n^\beta < 0) \vee (W_n^\alpha \leq 0 \wedge W_n^\beta > 0), \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5.40)$$

Крок 4.2. Формування множини $A = \{a_n\}$ ознак виникнення аномального стану внаслідок шилінг-атак зниження та підвищення рейтингу.

Атака на зниження рейтингу представлена значенням -1 ознаки a_n дорівнює, на підвищення – значенням 1 :

$$a_n = \begin{cases} -1 & \text{if } |d_n| \neq 0 \wedge W_n^\beta < 0 \wedge W_n^\beta \neq W_{n-1}^\beta, \\ 1 & \text{if } |d_n| \neq 0 \wedge W_n^\beta > 0 \wedge W_n^\beta \neq W_{n-1}^\beta, \\ 0 & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (5.41)$$

Перевірка нерівності рейтингів $W_n^\alpha \neq W_{n-1}^\beta$ на двох суміжних інтервалах $\Delta\tau_{n-1}$ та $\Delta\tau_n$ дає можливість не визначати аномальний стан в результаті атаки у випадку, якщо рейтинги на поточному інтервалі $\Delta\tau_n$ не виставлялись або не змінювались.

Даний метод, аналогічно запропонованому у підрозділі 5.2.1, також може бути використаний ітеративно з метою уточнення множини атакуючих користувачів.

У процесі уточнення переліку користувачів на кожній ітерації із множини $Us = \{us_k\}$ видаляються ті користувачі, які не виставляли рейтинги на інтервалах $\Delta\tau_n$, що мають ознаку $a_n \neq 0$.

5.3 Розробка методу зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних правилах для підготовки комплексного управлінського рішення

Ймовірнісний логічний вивід в темпоральній базі знань орієнтований на вирішення задачі підготовки управлінського рішення шляхом формування множини ймовірних альтернативних послідовностей управляючих дій, що дають можливість досягти цільового стану об'єкту управління.

Розроблений метод базується на загальному підході до ймовірнісного виводу, представленому в роботі [233]. Даний підхід реалізує двохаспектний пошук рішення визначеної користувачем задачі на основі логіко-ймовірнісного представлення знань. Логічний аспект представлення знань дає можливість отримати рішення задачі, а ймовірнісний – оцінити релевантність даного рішення для кінцевого користувача. Відмінність між ймовірнісним та логічним виводом полягає в тому, що в першому випадку формуються всі ймовірні (альтернативні) варіанти вирішення задачі.

Традиційно ймовірнісний вивід використовує логіко-ймовірнісне представлення знань у вигляді семантичної мережі, яка складається із трійок «об'єкт-відношення-суб'єкт». Вивід здійснюється шляхом визначення всіх шляхів обходу графу семантичної мережі, що дозволяють отримати результат із заданим рівнем ймовірності. Апріорний результат вирішення задачі при такому виводі не задається. Наприклад, в інформаційно-пошуковій системі ймовірнісний вивід, на відміну від пошуку за ключовими словами, дає можливість отримати результати, що мають семантичний зв'язок із запитом [271], [272].

Задача ймовірнісного логічного виводу в темпоральній базі знань передбачає послідовне вирішення двох підзадач:

– побудова множини можливих альтернативних варіантів реалізації управлінського рішення;

– оцінка отриманих альтернатив та їх упорядкування за результатами цієї оцінки.

Базова концепція ймовірнісного виводу на темпоральних правилах полягає у побудові знання-орієнованого опису кожної альтернативи управлінського рішення у вигляді упорядкованої множини темпоральних правил, що визначають послідовність станів ОУ (або відповідну послідовність управляючих дій) від аномального стану $s_{current,abnormal}$ до цільового стану s_{aim} .

Як було показано у першому підрозділі, аномальний стан $s_{current,abnormal} \in$ останнім станом $s_{current,J}$ об'єкту управління для поточної послідовності станів $\Pi_{current}$:

$$s_{current,abnormal} \equiv s_{current,J}, s_{current,J} \in \Pi_{current}, j = \overline{1, J}. \quad (5.42)$$

Задача ймовірнісного виводу полягає в тому, щоб сформуванати всі можливі послідовності фактів $V_i^{new} = \{V_i^{new}\}$ від $\Phi_{abnormal}$ до Φ_{aim} , що відображають перехід від стану $s_{abnormal}$ до стану s_{aim} :

$$V_i^{new} = \langle \Phi_{abnormal}, \dots, \Phi_{i,m}, \Phi_{i,m+1}, \dots, \Phi_{aim} : \forall m > J \Phi_{i,m-1} \xrightarrow{x} \Phi_{i,m} \rangle. \quad (5.43)$$

де $\Phi_{abnormal}, \Phi_{i,m}, \Phi_{i,m+1}, \Phi_{aim}$ – факти виникнення станів $s_{abnormal}, s_{i,m}, s_{i,m+1}, s_{aim}$ відповідно.

Кожна послідовність фактів V_i^{new} формується за допомогою множини R^{new} темпоральних правил r_m^j типів x_m^j, f_m^j або u_m^j :

$$r_m^j = x_m^j \vee f_m^j \vee u_m^j. \quad (5.44)$$

Такі правила використовуються з відповідними кванторами. Темпоральні правила Ax_m^j , Af_m^j та Au_m^j з квантором All виступають в якості обмежень і тому мають виконуватись для всіх V_i^{new} .

При побудові кожної альтернативної послідовності фактів V_i^{new} у процесі вирішення задачі формування багатоваріантного управлінського рішення необхідно спочатку із множини правил R^{new} задати множину темпоральних відношень R_i^{new} для цієї послідовності:

$$R_i^{new} = \{r_{i,m}^{i,j} : r_{i,m}^{i,j} = x_{i,m}^{i,j} \vee f_{i,m}^{i,j} \vee u_{i,m}^{i,j}\}, \quad (5.45)$$

де $x_{i,m}^{i,j}$, $f_{i,m}^{i,j}$, $u_{i,m}^{i,j}$ – темпоральні відношення на основі правил типу NeXt, Future та Until для послідовності фактів V_i^{new} .

Темпоральні відношення $x_{i,m}^{i,j}$, $f_{i,m}^{i,j}$ та $u_{i,m}^{i,j}$ є реалізацією темпоральних правил x_m^j , f_m^j та u_m^j на послідовності фактів V_i^{new} . Множина темпоральних відношень R_i^{new} визначає порядок фактів у часі для нового варіанту управлінського рішення V_i^{new} на основі темпорального порядку для пар фактів Φ_j, Φ_m , які включені до цієї послідовності:

$$R_i^{new} = \{r_{i,m}^{i,j} : \forall j \forall m \exists r_m^j \in R^{new} : \exists (\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m})\}, \quad (5.46)$$

де $\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m}$ – пара фактів Φ_j, Φ_m , що належить до послідовності V_i^{new} :

$$\Phi_{i,j} \equiv \Phi_j \in V_i^{new}. \quad (5.47)$$

Таким чином, реалізацією $r_{i,m}^{i,j}$ правила r_m^j є темпоральне відношення, істинне для конкретної пари фактів на послідовності V_i^{new} . Наприклад, реалізація правил Af_m^j або Ef_m^j на V_i^{new} послідовності V_i^{new} представляється відношенням типу Future між фактами Φ_j та Φ_m з цієї послідовності:

$$f_{i,m}^{i,j} \equiv \Phi_{i,j} \xrightarrow{F} \Phi_{i,m}. \quad (5.48)$$

Реалізація правила не містить кванторів, оскільки вона є істинною лише для однієї послідовності V_i^{new} .

Схему формування нової послідовності V_i^{new} із реалізацій правил r_m^j , що ілюструє концепцію зворотного ймовірнісного виводу у темпоральній базі знань, представлено на рис. 5.2. Згідно даної схеми, поточна послідовність фактів $V_{current}$ закінчується фактом виникнення аномального стану: $V_{current} = \langle \Phi_0, \dots, \Phi_{J-1}, \Phi_{abnormal} \rangle$. Внаслідок аномальності цього стану відсутній подальший перехід до послідовності, що завершується фактом виникнення цільового стану Φ_{aim} . Тобто відповідне правило типу «NeXt» відсутнє в темпоральній базі знань.

На рис. 5.2 відсутність темпорального відношення між фактами з послідовностей $V_{current}$ та V_i^{new} відображена штриховою стрілкою.

Нова послідовність фактів $V_i^{new} = \langle \Phi_{abnormal}, \Phi_{i,1}, \Phi_{i,2}, \dots, \Phi_{aim} \rangle$, яка приводить до цільового стану об'єкту управління, може бути сформована з використанням множини реалізацій темпоральних правил $R_i^{new} = \{r_{i,1}^0, r_{i,2}^0, \dots, r_{i,aim}^0, \dots, r_{i,1}^{J-1}, r_{i,2}^{J-1}, \dots, r_{i,aim}^{J-1}, r_{i,2}^{i,1}, \dots, r_{i,aim}^{i,1}, \dots\}$.

Відсутнє темпоральне відношення $\Phi_{abnormal} \longrightarrow \Phi_{i,1}$ задається за рахунок реалізацій $r_{i,1}^0, \dots, r_{i,1}^{J-1}$ темпоральних правил.

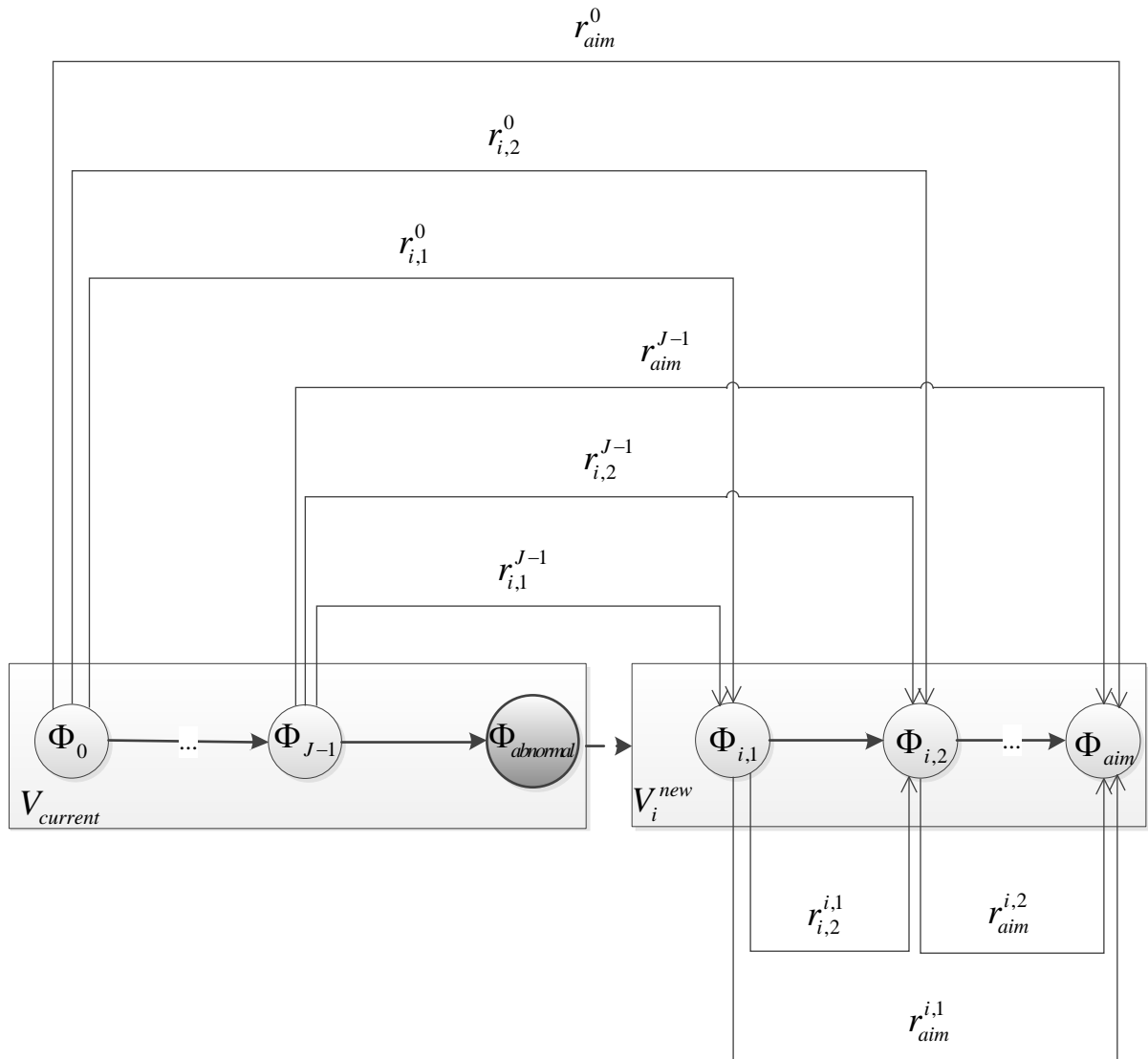


Рисунок 5.2 – Формування послідовності фактів V_i^{new} з використанням реалізацій темпоральних правил r_m^j

Послідовність фактів у множині V_i^{new} визначається як реалізаціями правил $r_{i,2}^0, \dots, r_{i,aim}^{J-1}$, що пов'язують відомі факти з поточної послідовності $V_{current}$, так і темпоральними відношеннями $r_{i,2}^{i,1}, \dots, r_{i,aim}^{i,1}$ для нових фактів $\Phi_{i,1}, \dots, \Phi_{aim}$ із запропонованого варіанту управлінського рішення V_i^{new} .

Упорядкування отриманих варіантів V_i^{new} комплексного управлінського рішення виконується за ймовірністю їх реалізації. Остання визначається на

основі сумарної ваги всіх правил, реалізація яких входить до складу R_i^{new} . Вага кожного темпорального правила визначається в залежності від ймовірності його застосування у складі успішно виконаних реалізацій управлінських рішень.

Як було показано в попередньому розділі, правила r_m^j будуються на основі відомих послідовностей фактів V_i , що представляють в базі знань реалізовані послідовності станів Π_i . Ці послідовності станів відображають відповідні послідовності управляючих дій. Кожна з таких послідовностей була сформована в результаті одноразового вирішення відповідної управлінської задачі. Чим більшою є кількість успішних реалізацій, для яких темпоральне правило r_m^j є істинними, тим вище вага цього правила. Тобто правило r_m^j з більшою кількістю реалізацій $r_{i,m}^{i,j}$ має більшу вагу. Варіант УР у вигляді послідовності фактів V_i^{new} , отриманий за допомогою таких правил, також матиме більшу вагу. Такий варіант матиме більшу оцінку ймовірності його реалізації для підтримки управлінського рішення.

Метод зворотного ймовірнісного виводу в темпоральній базі знань використовує такі вхідні дані:

- множина послідовностей фактів $V = \{V_i\}$, для всіх успішних в сенсі досягнення цільового стану s_{aim} реалізацій відповідної задачі управління (в рамках функціональної задачі або бізнес-процесу);
- множина правил R з вирішення задачі управління;
- послідовність фактів $V_{current}$, що відображає поточну реалізацію задачі управління; останній факт Φ_j із цієї послідовності відображає виникнення аномального стану об'єкту управління: $\Phi_j \equiv \Phi_{abnormal}$;
- інтервал часу T актуальності фактів із вхідних послідовностей V_i .

Метод зворотного ймовірнісного виводу складається з двох фаз:

- уточнення темпоральних знань з урахуванням їх актуальності на момент формування управлінського рішення;
- побудова множини ймовірних послідовностей фактів, що визначають альтернативні послідовності станів для комплексного управлінського рішення.

В рамках першої фази виконуються етапи відбору вхідних даних для заданого інтервалу часу, а також уточнення темпоральних умов та обмежень на допустимі послідовності станів (управляючих дій) з урахуванням лише актуальних вхідних даних.

На другій фазі реалізовано етапи побудови множини альтернативних варіантів управлінського рішення, а також оцінки та упорядкування отриманих альтернатив.

Метод зворотного ймовірнісного виводу у темпоральній базі знань складається з наступних етапів.

Етап 1. Відбір підмножин актуальних вхідних даних.

На даному етапі виконується відбір послідовностей фактів для визначеного інтервалу часу.

Необхідність фільтрації обумовлюється надмірністю даних, що розміщені в базах даних інформаційно-управляючих систем та систем обробки транзакцій. Із таких БД можуть бути отримані всі відомі послідовності фактів про реалізацію задачі управління. Однак внаслідок удосконалення технологічних процесів та відповідних бізнес-процесів на підприємстві частина таких послідовностей стає застарілою. Вказані послідовності не відповідатимуть поточним вимогам до управління підприємством, що і визначає потребу у їх виключенні із набору вхідних даних.

Відбір підмножини V^{actual} актуальних послідовностей фактів V_i^{Actual} виконується згідно наступної умови:

$$V^{actual} = \{V_i^{actual} : \forall \Phi_{i,j} \in V_i^{actual} \tau_{i,j} \in T\}, \quad (5.49)$$

де $\Phi_{i,j}$ – факт виникнення стану s_j об'єкту управління у послідовності станів Π_i ;

$\tau_{i,j}$ – момент істинності факту $\Phi_{i,j}$ на послідовності V_i ;

T – інтервал часу для актуальних вхідних даних.

Етап 2. Відбір множини актуальних темпоральних правил.

На даному етапі із множини правил R бази знань відбирається підмножина правил R^{actual} , які визначають темпоральні відношення налюбій послідовності V_i^{actual} .

Із вхідної множини R також видаляються правила, які містять факт виникнення аномального стану ОУ, тобто $\Phi_{abnormal}$:

$$R^{Actual} = \left\{ r_m^j : (\forall j \forall m \forall i) \exists (\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m} \in V_i^{actual}) \right\}. \quad (5.50)$$

де $r_{i,m}^{i,j}$ – реалізація правила r_m^j на послідовності фактів V_i^{actual} ;

O – темпоральний оператор.

Тобто на даному етапі формується множина правил, які відображають реалізовані на множині V^{actual} темпоральні відношення.

Етап 3. Виділення підмножин обмежень R^{const} та умов R^{cond} виконання управляючих дій із множини актуальних темпоральних правил.

В якості обмежень виступають такі правила, які реалізовані на всіх актуальних послідовностях станів:

$$R^{const} = \left\{ r_m^j : w_m^j = \infty \right\}, \quad (5.51)$$

Згідно умови (5.51), множина обмежень R^{const} містить лише правила з темпоральним квантором A :

$$R^{const} = \{Ar_m^j\}. \quad (5.52)$$

Всі інші правила є умовами реалізації відповідних управляючих дій:

$$R^{cond} = R^{Actual} \setminus R^{const}. \quad (5.53)$$

У відповідності до (5.53), множина темпоральних правил-умов виконання управляючих дій складається із залежностей з квантором E , які визначають темпоральну упорядкованість, починаючи з факту Φ_{J-1} . Даний факт свідчить про виникнення останнього стану, що відповідає нормальному режиму роботи об'єкту управління. Наступний за ним стан s_j є аномальним станом, факт Φ_j виникнення якого потребує формування управлінського рішення.

$$R^{cond} = \{Er_m^j : j \geq J-1, j \neq J\}. \quad (5.54)$$

Етап 4. Уточнення ваг правил-умов R^{cond} .

На даному етапі ваги правил уточнюються для обмеженого набору послідовностей фактів V^{actual} . Таке уточнення є необхідним тому, що сумарна вага правил для кожної послідовності V_i^{actual} визначає ймовірність її реалізації. Якщо кількість послідовностей в результаті виконання етапу 1 зменшилась, то зміняться і ймовірності реалізації кожної з цих послідовностей. Відповідно мають змінитись і ваги правил. На даному етапі використовується представлений у попередньому розділі метод розрахунку ваг темпоральних правил. Результатом етапу є множина W^{cond} ваг w_m^j правил r_m^j , що відповідає набору фактів V^{actual} :

$$W^{cond} = \{w_m^j : \forall w_m^j \exists r_m^j \in R^{cond}\}. \quad (5.55)$$

Вага обмежень Ar_m^j встановлюється рівною ∞ і не потребує уточнення.

Етап 5. Побудова множини нових послідовностей фактів $V^{new} = \{V_i^{new}\}$, що дають можливість перейти від аномального до цільового стану об'єкту управління.

Крок 5.1. Побудова можливих послідовностей фактів V_i^{new} із умов R^{Cond} .

На даному кроці із можливих комбінацій правил Er_m^j формується базові упорядкованості фактів у часі, що дають можливість отримати факт досягнення цільового стану Φ_{aim} .

Проміжні факти $\Phi_{i,j}$ виступають в якості консеквентів та антецедентів умов із R^{Cond} .

Крок 5.2. Уточнення послідовностей V_i^{new} з урахуванням обмежень Ar_m^j .

Ілюстративний приклад реалізації даного етапу при формуванні упорядкованості V_i^{new} із чотирьох фактів наведено на рис. 5.2. Для фактів задано такі умови із правил типу «NeXt» і «Future»: $R^{Cond} = \{Ex_2^1, Ex_4^3, Ef_3^1, Ef_4^2\}$ та обмеження: $R^{Const} = \{Ax_3^2\}$.

На кроці 5.1 у даному прикладі для формування послідовності фактів використана множина темпоральних правил. Результатом застосування цих правил є упорядкованість із двох послідовностей фактів.

Частковий темпоральний порядок для послідовностей $\langle \Phi_{1,1}, \Phi_{1,2} \rangle$ та $\langle \Phi_{1,3}, \Phi_{1,4} \rangle$ задається правилами типу «Future» Ef_3^1 та Ef_4^2 , як показано на рис. 5.3.

На кроці 5.2, після застосування обмеження R^{Const} , задається також темпоральний порядок для пари $(\Phi_{1,2}, \Phi_{1,3})$, як показано на рис. 5.3. Результат етапу для даного прикладу має вигляд: $V_1^{new} = \langle \Phi_{1,1}, \Phi_{1,2}, \Phi_{1,3}, \Phi_{1,4} \rangle$.

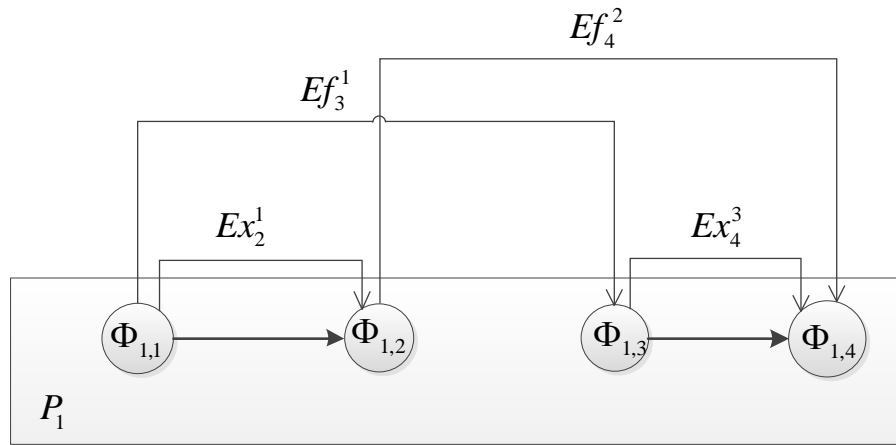


Рисунок 5.2– Приклад формування послідовності фактів із темпоральних правил-умов виконання управляючих дій

Етап 6. Обчислення потенціалу ψ_i^{new} для всіх послідовностей фактів $V_i^{new} \in V^{new}$.

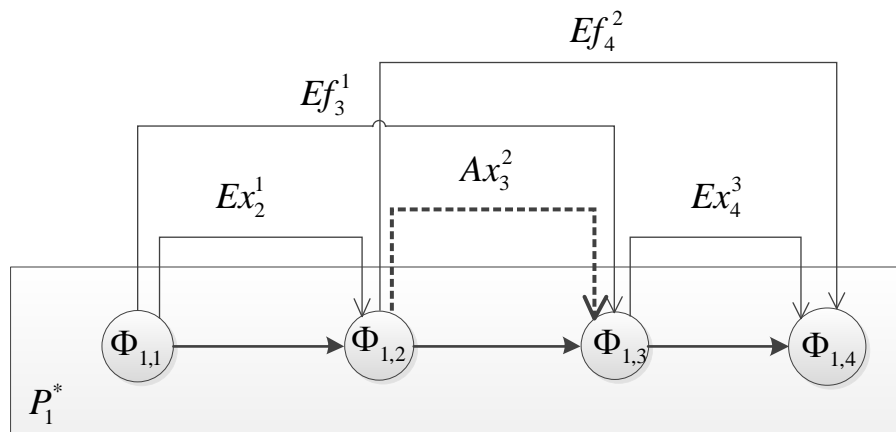


Рисунок 5.3– Приклад доповнення послідовності фактів із використанням темпорального обмеження на послідовність виконання управляючих дій

Потенціал, згідно робіт [158], [233], обчислюється як експонента зі ступенем, рівним сумі ваг всіх умов, що виконуються на даній послідовності:

$$\Psi_i^{new} = \exp \left(\sum_{r_m^j \in R_i^{Cond}} w_m^j \right), \quad (5.56)$$

де R_i^{Cond} – підмножина правил-умов, які визначають послідовність V_i^{new} .

Факти $\Phi_{i,j}, \Phi_{i,m}$, що входять до складу правил з R_i^{Cond} , належать до послідовності V_i^{new} :

$$R_i^{Cond} = \{ r_m^j : r_m^j \in R^{Cond} \wedge \Phi_{i,j}, \Phi_{i,m} \in V_i^{new} \}. \quad (5.57)$$

Потенціал послідовності фактів V_i^{new} визначає її придатність для вирішення відповідної задачі управління. Знання, що є більш важливими у даній предметній області, використовуються частіше, внаслідок такого використання мають більшу вагу, і тому забезпечують вищий потенціал відповідної послідовності V_i^{new} .

З іншого боку, знання які були використані одноразово, при вирішенні локальних підзадач, мають малу вагу і тому знижують потенціал отриманого рішення.

Етап 7. Обчислення ймовірностей реалізації кожної отриманої послідовності станів V_i^{new} . Обчислення згідно [158] виконується на основі потенціалу кожної послідовності:

$$P(V_i) = \frac{\Psi_i^{new}}{Z}, \quad (5.58)$$

$$Z = \sum_{i=1}^{|V^{new}|} \Psi_i^{new}. \quad (5.59)$$

Етап 8. Упорядкування множини послідовностей станів V^{new} за зменшенням значень ймовірності $P(V_i^{new})$:

$$V^{new} = \langle V_1^{new}, \dots, V_i^{new}, V_{i+1}^{new}, \dots, V_I^{new} : P(V_{i+1}^{new}) \leq P(V_i^{new}) \rangle. \quad (5.60)$$

Результатом застосування методу є упорядкована множина альтернатив V_i^{new} управлінського рішення V^{new} , кожна з яких містить упорядковані у часі факти виникнення станів об'єкту управління.

Запис про виникнення стану зазвичай містить інформацію про управляючу дію, що привела до цього стану. Тобто кожна V_i^{new} відображає послідовність управляючих дій.

Перший факт кожної послідовності є фактом виникнення аномального стану об'єкту $\Phi_{abnormal}$, а останній – фактом виникнення цільового стану Φ_{aim} , тому метод формує упорядковану множину альтернативних реалізацій управлінського рішення. Тобто метод вирішує підзадачу підготовки управлінського рішення [279].

Таким чином, запропонований метод зворотного виводу формує такі послідовності станів, які містять цільовий стан ОУ.

Відмінність методу зворотного ймовірнісного виводу від існуючих методів виводу з використанням темпоральних залежностей полягає в наступному. Існуючі методи реалізують прямий вивід шляхом побудови множини формул темпоральної логіки, які б описували поведінку заданого об'єкту. Така поведінка має задовольняти (або, навпаки, не задовольняти) заданим темпоральним обмеженням. Тобто мета існуючих підходів полягає у побудові формального опису «бажаної» та «небажаної» поведінки. Цільовий стан об'єкту перед виконанням ймовірнісного виводу не задається [235], [273]–[275].

5.4 Розробка інформаційної технології автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань

Запропонована технологія (рис. 5.4) інтегрує моделі представлення темпоральних знань, методи побудови темпоральної БЗ, виявлення аномального стану об'єкту управління й формування багатоваріантного управлінського рішення [216]–[218] та базується на узагальненні процесу прийняття управлінських рішень.

Процес прийняття управлінських рішень виконується в умовах невизначеності на стратегічному та тактичному рівнях управління підприємством. Цей процес складається із послідовного вирішення задач пошуку та вибору й імплементації рішень.

При вирішенні першої задачі необхідно виявити аномальний стан об'єкту управління та сформуванати набір альтернативних рішень для виходу з цієї ситуації.

Вибір раціонального або обмежено-раціонального рішення виконується ОПР згідно визначеного критерію оцінки та існуючих обмежень.

Імплементація рішення полягає у його впровадженні (узгодженні та виконанні), проведенні оцінки результатів, а також виконанні аналізу причини виникнення проблемної ситуації.

Технологія в якості вхідних знань використовує:

– темпоральні знання щодо успішно реалізованих управлінських рішень, представлених фактами щодо виникнення послідовностей станів об'єкту управління;

– знання щодо поточного процесу управління і поточного стану об'єкту управління.

Дані знання формуються на основі даних про зміни стану об'єкту управління за допомогою розробленої в попередньому розділі інформаційної технології побудови темпоральної бази знань.

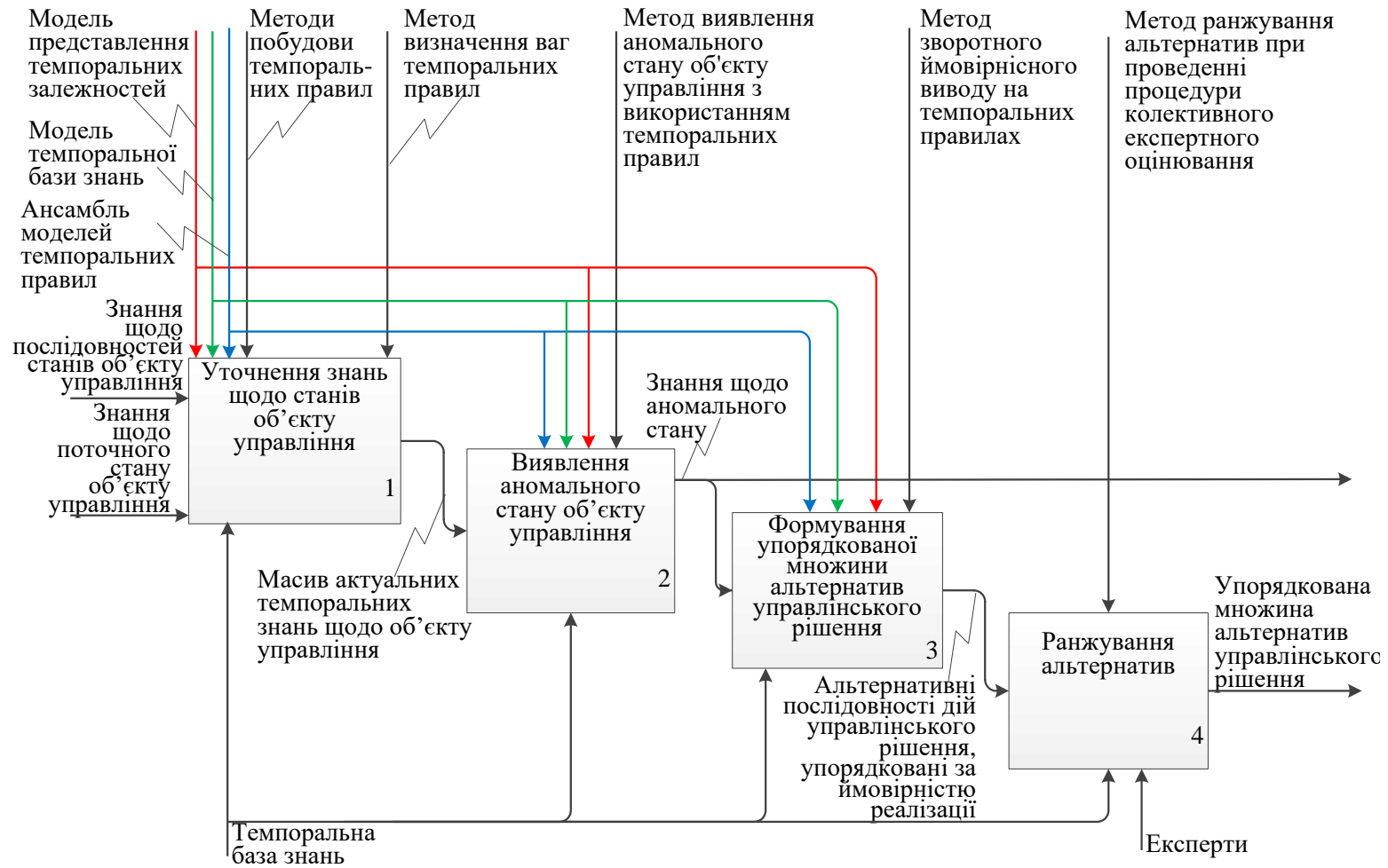


Рис. 5.4 – Інформаційна технологія автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної БЗ

Розроблена технологія орієнтована на високотехнологічні підприємства, що використовують сучасні інформаційні технології в своїй діяльності, а також розробляють програмні продукти, інформаційні технології та сервіси. Сучасний стан науково-технічного розвитку характеризується швидкою еволюцією таких технологій, що приводить до швидкого старіння відповідних знань. Тому вхідні знання мають бути відфільтровані за ознакою їх актуальності. Оскільки ці знання є темпоральними, то якості ознак актуальності знань можуть бути задані:

- період часу, для якого є актуальними реалізовані управлінські рішення;
- мінімальне (порогове) значення часу.

Всі знання за рамками визначеного періоду, або ті, які виникли до порогового значення часу, мають бути видалені із вхідної множини знань. Відмінність між двома ознаками полягає в тому, що в перший випадок є характерним для циклічного використання заданих програмних продуктів та інформаційних технологій. Другий випадок орієнтований на поступову зміну базових технологій, що приводить до втрати актуальності реалізованих управлінських рішень з часом.

Актуалізовані вхідні знання використовуються для виявлення проблемної ситуації, представленої аномальним станом об'єкту управління. Ключова ідея виявлення аномального стану полягає у порівнянні темпоральних знань, що описують послідовність досягнення поточного стану об'єкту управління, а також темпоральних знань для альтернативних послідовностей станів. Останні відображають досягнення стану, аналогічного поточному.

В рамках технології передбачено можливість порівнювати окремі темпоральні правила або визначені групи правил при виявленні аномальних станів об'єкту управління. Такий підхід базується на інтеграції фактів для

визначених інтервалів часу. Правила виділяються і порівнюються для таких інтегрованих фактів.

Даний підхід до виявлення аномальних станів об'єкту управління орієнтований на застосування в системах електронної комерції внаслідок характерної особливості СЕК: значна кількість однотипних процесів (продаж товарів та послуг), які виконується у довільні періоди часу, як паралельно, так і послідовно. Відповідно, прийняття рішень у даній сфері потребує інтеграції фактів окремих продажів. На відміну від підходу до структуризації фактів лише по артефактам, який було наведено в третьому розділі, в даному випадку факти визначаються для окремих артефактів та періодів часу. Наприклад, кількість продажів певного товару або групи товарів за один день, тиждень, тощо.

Ключова перевага такого підходу полягає у можливості уточнення наборів вхідних даних. Тобто у відповідності до характеристик отриманого аномального стану з'являється можливість актуалізувати набори вхідних даних. Наприклад, уточнити підмножину вхідних інтервалів часу. Після оновлення вхідних даних розроблена інформаційна технологія дає можливість отримати уточненні характеристики аномального стану. Уточнення результатів завершується, коли ознаки аномального стану перестають змінюватись.

Після виявлення аномального стану виконується формування множини альтернатив багатоваріантного управлінського рішення шляхом зворотного ймовірного виводу на темпоральних знаннях. Отримані альтернативи упорядковуються за ймовірністю їх реалізації. Остання визначається вагами темпоральних правил, що описують ці альтернативні варіанти послідовностей фактів.

Технологія містить у собі такі етапи.

Етап 1. Уточнення знань щодо послідовностей станів об'єкту управління.

Етап 2. Виявлення аномального стану об'єкту управління на основі порівняння темпоральних знань.

Крок 2.1. На даному кроці виконується перевірка аномальності поточного стану.

Головна ідея перевірки полягає в тому, щоб порівняти ваги темпоральних правил для поточної та альтернативних послідовностей станів. Поточна послідовність управляючих дій привела до поточного стану об'єкту управління. Альтернативні послідовності відображають можливі успішні реалізації управлінських рішень.

Даний крок виконується на тактичному рівні організаційного управління. За результатами цього кроку виконується етап 2.

Альтернативним даному кроку є крок 2.2.

Крок 2.2. Виявлення аномального стану об'єкту управління на основі порівняння окремих темпоральних правил, що сформовані для узагальнених фактів щодо стану ОУ.

Даний крок орієнтовано на підтримку рішень на стратегічному рівні організаційного управління.

Етап 3. Формування багатоваріантного управлінського рішення шляхом зворотного ймовірнісного виводу.

Етап 4. Додаткове ранжування альтернатив на основі колективного експертного оцінювання.

На даному етапі підмножина найбільш ймовірних альтернатив додатково упорядковується з урахуванням відповідності сформованих послідовностей управляючих дій існуючим процесам у предметній області.

Таким чином, розроблена технологія дає можливість побудувати багатоваріантне управлінське рішення у вигляді множини послідовностей управляючих дій або відповідних послідовностей станів об'єкту управління, що створює умови для автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень на стратегічному та тактичному рівнях організаційного управління.

Висновки до розділу 5

1. Вперше запропоновано метод виявлення аномального стану об'єкту управління на основі темпоральних правил. Метод містить етапи побудови темпоральних знань у вигляді множин темпоральних правил, а також порівняння цих знань. Отримані набори правил відображають знання про поточну та відомі реалізації управлінського рішення. Порівняння знань виконується на основі суми ваг темпоральних правил, яка відображає ймовірнісну оцінку стану об'єкту управління. При виявленні аномального стану об'єкту управління враховуються темпоральні обмеження. Метод дає можливість автоматизувати вирішення задачі виявлення проблемної ситуації у процесі підтримки управлінського рішення.

2. Вперше запропоновано темпорально-орієнтовані методи виявлення аномального стану об'єкту управління внаслідок шилінг-атак в системах електронної комерції. Розроблені методи передбачають порівняння наборів темпоральних правил, які відображають взаємодію користувача з рекомендаційною системою, з урахуванням явного та неявного зворотного зв'язку, що дає можливість виявити атаки на рейтинги споживачів на їх початковій стадії, при уточненні рекомендацій у процесі взаємодії з користувачем.

3. Вперше запропоновано метод зворотного ймовірнісного виводу на продукційних правилах з урахуванням темпорального аспекту знань. Розроблений метод використовує знання у формі зважених темпоральних правил. Метод формує упорядковану за ймовірністю реалізації множину впорядкованих у часі послідовностей фактів, що відображають перехід від поточного до цільового стану об'єкту управління. За рахунок упорядкування отриманих альтернатив метод дає можливість зменшити кількість можливих послідовностей дій, з яких ОПР здійснює раціональний вибір.

4. Розроблено технологію автоматизованої підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань. Технологія використовує модель багатоваріантного управлінського рішення, методи побудови темпоральних правил, метод виявлення аномальних станів, а також метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних правилах. Технологія дає можливість побудувати багатоваріантне управлінське рішення у вигляді множини послідовностей управляючих дій або відповідних послідовностей станів об'єкту управління з оцінкою ймовірності реалізації кожного із альтернативних варіантів управлінських рішень. Технологія забезпечує більш ефективне прийняття управлінських рішень в умовах невизначеності за рахунок вибору найбільш ймовірних послідовностей управляючих дій особою, що приймає рішення.

6 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МЕТОДІВ ТА АПРОБАЦІЯ РОЗРОБЛЕНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Запропоновані у розділах 4 та 5 методи та технології автоматизованого управління темпоральною базою знань при вирішенні задач підтримки управлінських рішень забезпечують можливості побудови темпоральних знань у формі зважених темпоральних правил, а також подальшого використання цих знань для виявлення аномальних станів об'єкту управління шляхом порівняння ваг темпоральних правил та для вирішення задачі формування управлінського рішення шляхом зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних знаннях.

Практичне використання запропонованих теоретичних результатів потребує вирішення таких задач:

- експериментальна перевірка ключових методів побудови, а також використання темпоральних баз знань для підтримки управлінських рішень;
- розробка базової платформи для імплементації темпоральної бази знань;
- апробація інформаційних технологій автоматизованого управління базами знань при вирішенні задач підтримки управлінських рішень.

Вирішення першої задачі базується на проведенні експериментів для підтвердження працездатності методів визначення ваг темпоральних правил, виявлення аномального стану об'єкту управління та зворотного ймовірнісного виводу.

Вирішення другої задачі пов'язано із обґрунтуванням вибору інструментальних засобів та розробкою за допомогою цих засобів типової платформи бази темпоральних знань для подальшої апробації і використання на високотехнологічних підприємствах, діяльність яких пов'язана переважно з розробкою та впровадженням інформаційних систем, сервісів та технологій.

Вирішення третьої задачі передбачає використання темпоральної бази знань для виявлення аномальних станів об'єкту управління та формування багатоваріантного управлінського рішення у вигляді упорядкованої за ймовірністю реалізацію множинною послідовностей фактів.

Виконані у даному розділі експериментальна перевірка та апробація розвивають результати, що були запропоновані у роботах [180], [190], [222], [225], [226], [247], [248], [250], [256], [278]–[280], [282], [284]

6.1 Експериментальна перевірка методів побудови та використання темпоральної бази знань

6.1.1 Експериментальна перевірка методу визначення ваг темпоральних правил

Представлений у підрозділі 4.2 метод визначення ваг темпоральних правил базується на використанні розподілу (3.59), що задає залежність ймовірностей реалізації послідовностей фактів від ваг правил. Послідовності фактів відображають знання про послідовності станів об'єкту управління. Останні є результатом успішно реалізованих послідовностей дій у складі управлінського рішення. Відповідно, ймовірність послідовностей фактів може бути обчислена на основі інформації про частоту виникнення послідовностей станів ОУ, що дає можливість знайти ваги темпоральних правил. Кожне темпоральне правило може виконуватись для декількох послідовностях фактів, тому для безпосереднього знаходження ваг на етапі 5 розробленого методу використовується градієнтний спуск.

Відмінність методу полягає в тому, що ваги правил можуть бути розраховані для різних рівнів деталізації знань щодо станів об'єкту управління. Така можливість забезпечується за рахунок використання моделі

представлення темпоральних залежностей (підрозділ 3.1), що враховує поєднання, перетин та різницю фактів.

При проведенні експериментальної перевірки методу ваги розраховувались для двох рівнів деталізації темпоральних правил з урахуванням заданих у вхідних даних класифікаційних ознак (табл. 6.1).

Таблиця 6.1 – Вхідні дані для розрахунку ваг темпоральних правил

Найменування елементів даних	Дані
Послідовності реалізованих станів ОУ	$\Pi_1 = \langle s_{1,1}, s_{1,2}, s_{1,4}, s_{1,5} \rangle$, $\Pi_2 = \langle s_{2,1}, s_{2,2}, s_{2,3}, s_{2,4}, s_{2,5} \rangle$, $\Pi_3 = \langle s_{3,1}, s_{3,2}, s_{3,6}, s_{3,5} \rangle$
Темпоральні правила $x_{1,j+1}^{1,j}, f_{2,m}^{2,j}$ для Π_1	$\Phi_{1,1} \xrightarrow{X} \Phi_{1,2}$, $\Phi_{1,1} \xrightarrow{F} \Phi_{1,4}$, $\Phi_{1,1} \xrightarrow{F} \Phi_{1,5}$, $\Phi_{1,2} \xrightarrow{F} \Phi_{1,5}$, $\Phi_{1,2} \xrightarrow{X} \Phi_{1,4}$, $\Phi_{1,4} \xrightarrow{X} \Phi_{1,5}$
Темпоральні правила $x_{2,j+1}^{2,j}, f_{1,m}^{1,j}$ для Π_2	$\Phi_{2,1} \xrightarrow{F} \Phi_{2,3}$, $\Phi_{2,1} \xrightarrow{F} \Phi_{2,5}$, $\Phi_{2,2} \xrightarrow{F} \Phi_{2,5}$, $\Phi_{2,2} \xrightarrow{X} \Phi_{2,3}$, $\Phi_{2,3} \xrightarrow{X} \Phi_{2,4}$, $\Phi_{2,4} \xrightarrow{X} \Phi_{2,5}$, $\Phi_{2,2} \xrightarrow{F} \Phi_{2,4}$, $\Phi_{2,3} \xrightarrow{F} \Phi_{2,5}$,
Темпоральні правила $x_{3,j+1}^{3,j}, f_{3,m}^{3,j}$ для Π_3	$\Phi_{3,1} \xrightarrow{X} \Phi_{3,2}$, $\Phi_{3,1} \xrightarrow{F} \Phi_{3,5}$, $\Phi_{3,2} \xrightarrow{F} \Phi_{3,5}$, $\Phi_{3,1} \xrightarrow{F} \Phi_{3,6}$, $\Phi_{3,2} \xrightarrow{F} \Phi_{3,6}$, $\Phi_{3,6} \xrightarrow{F} \Phi_{3,5}$,
Атрибути станів ОУ	$a_1 - department$, $a_2 - activity$; $a_3 - name$
Рівень узагальнення опису стану ОУ	$a_1 - department$
Значення атрибуту a_1	“11” – для станів $s_{1,1}, s_{1,2}, s_{1,3}, s_{2,1}, s_{2,2}, s_{2,3}, s_{3,1}, s_{3,2}$ “15” – для станів $s_{1,4}, s_{1,5}, s_{2,4}, s_{2,5}, s_{3,6}, s_{3,5}$

На першому рівні деталізації задаються залежності для окремих працівників, а на другому – для підрозділів, до складу яких входять ці працівники. У вхідних даних задано 2 департаменти, які відрізняються за значенням першого атрибуту a_1 .

В рамках експерименту виконано узагальнення темпоральних правил для трьох послідовностей згідно представлених у табл. 6.1 вхідних даних.

Оскільки кожна послідовність станів була реалізована одноразово, то їх ймовірності становлять 0,33.

Результати дворазового виконання методу для двох описаних рівнів деталізації темпоральних знань представлено у табл. 6.2.

Таблиця 6.2 – Результати виконання методу визначення ваг темпоральних правил

Рівень опису ОУ	Зважені темпоральні правила
Підрозділ “11”	$(\Phi_1 \xrightarrow{EF} \Phi_3, 0.03)$
Підрозділ “15”	$(\Phi_4 \xrightarrow{EX} \Phi_5, 8.5), (\Phi_6 \xrightarrow{EX} \Phi_5, 8.53)$
Темпоральні обмеження на рівні департаментів	$(\Phi_1 \xrightarrow{AX} \Phi_2, \infty)$
Рівень виконавців робіт	$(\Phi_1 \xrightarrow{EF} \Phi_4, 0.9), (\Phi_1 \xrightarrow{EF} \Phi_3, 0.45),$ $(\Phi_1 \xrightarrow{EF} \Phi_6, 0.47), (\Phi_2 \xrightarrow{EX} \Phi_4, 0.89),$ $(\Phi_4 \xrightarrow{EX} \Phi_5, 0.11), (\Phi_2 \xrightarrow{EX} \Phi_3, 0.62),$ $(\Phi_3 \xrightarrow{EX} \Phi_4, 0.37), (\Phi_4 \xrightarrow{EX} \Phi_5, 0.11),$ $(\Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_4, 0.15), (\Phi_3 \xrightarrow{EF} \Phi_5, 0.2),$ $(\Phi_2 \xrightarrow{EX} \Phi_6, 0.92), (\Phi_6 \xrightarrow{EX} \Phi_5, 0.5).$
Темпоральні обмеження на рівні виконавців	$(\Phi_1 \xrightarrow{AX} \Phi_2, \infty), (\Phi_1 \xrightarrow{AF} \Phi_5, \infty),$ $(\Phi_2 \xrightarrow{AF} \Phi_5, \infty)$

Темпоральні обмеження, наприклад обмеження $(\Phi_1 \xrightarrow{AX} \Phi_2, \infty)$ на рівні департаментів, мають апріорно визначену вагу $w_m^i = \infty$ і не враховуються на етапі 5 даного методу. Виділення обмежень на етапі 3 методу дозволило для вхідного набору даних із трьох послідовностей станів об'єкту управління скоротити кількість правил, для яких визначаються ваги. Скорочення склало 20% на першому рівні деталізації і на 25% на рівні окремих департаментів.

Таким чином, розроблений метод дає можливість отримати узагальнені/деталізовані зважені темпоральні правила для різних рівнів організаційної ієрархії об'єкту управління.

Сукупність зважених темпоральних правил у відповідності до розподілу (3.59) дає можливість обчислити ймовірності виконання нових послідовностей фактів, що містять знання про послідовності управляючих дій, які забезпечують перехід об'єкту управління із поточного до цільового стану. Тому метод дозволяє забезпечити підтримку задачі формування управлінського рішення шляхом упорядкування таких послідовностей за значенням ймовірності їх виконання.

В результаті створюються умови для підтримки управлінських рішень на основі вибору із підмножини найбільш ймовірних послідовностей фактів, що містять знання про послідовність управляючих дій із переводу об'єкту управління до цільового стану.

У підсумку, експериментальна перевірка підтвердила, що метод дає можливість знайти ваги узагальнених правил для різних рівнів деталізації об'єкта управління на основі виділення підмножин атрибутів станів.

Узагальнення фактів відбувається з урахуванням атрибутів станів об'єкту управління.

Узагальнені правила з кванторами Е та А формуються на основі узагальнених фактів, представлених відповідними класами еквівалентності. Така властивість методу дозволяє з використанням ієрархії зважених правил забезпечити підтримку при функціональному організаційному управлінні, що використовує схему прийняття рішень, орієнтовану на виконання ієрархії функціональних задач.

Метод також може бути використаний при формуванні ієрархії зважених правил, що описують типову та аномальну поведінку елементів програмних та комп'ютерних систем. У даному застосуванні метод створює

умови для виявлення аномальних станів об'єкту управління на різних рівнях організаційної ієрархії.

6.1.2 Експериментальна перевірка методу виявлення аномальних станів об'єкту управління в результаті шилінг-атак на основі порівняння темпоральних правил

Метод виявлення аномальних станів ОУ в результаті шилінг-атак в системах електронної комерції є подальшим розвитком базового методу виявлення аномальних станів з використанням темпоральних правил та відрізняється порівнянням правил, що описують явні та неявні зміни вподобань користувачів щодо представлених у таких системах товарів та послуг.

В першому випадку користувачі явно виставляють рейтинги товарів. Ці рейтинги можуть бути сфальшовані в результаті шилінг-атак, як було показано в підрозділі 5.2. Після фальшування рейтингу підсистема рекомендацій видає некоректний персоналізований перелік товарів для користувача, що свідчить про виникнення проблемної ситуації, представленої набором аномальних даних щодо рейтингів відповідних товарів.

В другому випадку інтереси користувачів фіксуються в інформаційній системі неявно, як результат придбання товарів. Оскільки придбання пов'язано із фінансовими витратами, то зміна інтересів до запропонованих товарів відображається об'єктивно. Порівняння темпоральних правил для послідовностей подій виставлення рейтингів та покупок в рамках одного періоду часу дає можливість виявити атаки на рейтинги.

Експериментальна перевірка методу виконана на двох наборах даних. Перший набір даних був сформований з двох файлів ratings.csv і to_read.csv, які містять рейтинги і позначки про читання для декількох мільйонів книг. Ці дані впорядковані в часі, однак часові мітки в даних відсутні. Мета першого

експерименту полягає в тому, щоб оцінити можливість застосування методу для виявлення темпоральних залежностей в разі відсутності часових міток. Тому об'єднані події були сформовані шляхом виділення фіксованої кількості записів.

Результати побудови правил для продажів (альтернатива) та рейтингів (поточний процес, що перевіряється) для одного об'єкту-книги, отримані на етапах 1 та 2 методу, наведено в табл. 6.3 та табл. 6.4.

Таблиця 6.3 – Результати етапу 1 методу

Номер n правила Ex_n^α	Дані для фактів правила: кількість $g_{z,n}$ продаж об'єкту y_z на інтервалі $\Delta\tau_n$	Значення ваги правила $ w_n^\alpha $	Знак зміни ваги δ_n^α
	7	–	–
1	11	0,108	True
2	18	0,189	True
3	17	0,027	False
4	20	0,081	True
5	15	0,135	False
6	21	0,162	True
7	30	0,243	True
8	17	0,351	False
9	22	0,135	True
10	35	0,351	True
11	26	0,243	False
12	37	0,297	True
13	31	0,162	False
14	31	0,000	False
15	26	0,135	False
16	28	0,054	True
17	25	0,081	False
18	13	0,324	False

Представлені в табл. 6.3 результати етапу 1 містять ключові елементи темпоральних правил для продажів цільового об'єкту-книги.

Таблиця 6.4 – Результати етапу 2 методу

Номер n правила Ex_n^β	Дані для фактів правила: середнє значення рейтингу $\rho_{z,n}$ об'єкту y_z на інтервалі $\Delta\tau_n$	Значення ваги правила $ w_n^\beta $	Знак зміни ваги δ_n^β
1	–	–	–
2	–	–	–
3	–	–	–
4	5,000	–	–
5	4,833	0,033	False
6	4,500	0,067	False
7	4,641	0,028	True
8	4,386	0,051	False
9	4,457	0,014	True
10	4,405	0,011	False
11	4,388	0,003	False
12	4,491	0,021	True
13	4,436	0,011	False
14	4,466	0,006	True
15	4,357	0,022	False
16	4,445	0,018	True
17	4,446	0,000	True
18	4,350	0,019	False

Факти в даному випадку визначаються для заданого артефакту (книги) на перному інтервалі часу.

Темпоральне правило визначає зміну продажів для двох часових інтервалів.

Вага правила залежить від різниці продажів. Зміна ваги свідчить про зміну потреб користувачів з часом.

Наприклад, зважене темпоральні правило Ex_1^α з другого рядка таблиці має вигляд:

$$Ex_1^\alpha = \Phi_1^\alpha \xrightarrow{EX \delta_n^\alpha} \Phi_2^\alpha, \quad (6.1)$$

де факт Φ_1^α свідчить про 7 покупок цільової книги, а факт Φ_2^α – про 11 покупок.

Правило має абсолютне значення ваги $w_n^\alpha = 0,108$. Параметр $\delta_1^\alpha = true$, оскільки кількість продажів (або читань книги) для інтервалів часу рівної тривалості зросла з 7 до 11.

Представлені в табл. 6.4 результати другого етапу містять ключові елементи для виявлення аномального стану внаслідок шилінг-атак, а саме:

- ваги темпоральних правил для рейтингів w_n^β ;
- знак зміни ваги δ_n^β для темпоральних правил.

Значення δ_n^α правил продажів (або читання) однієї й тієї ж книги відрізняється від значення δ_n^β правил виставлення рейтингу Ex_6^β , Ex_{10}^β , Ex_{14}^β , Ex_{17}^β , що свідчить про можливі проблемні ситуації з рекомендаціями внаслідок атаки на рейтинг книги.

Результуючі ознаки та пріоритет шилінг-атаки наведено у табл. 6.5.

На даному етапі визначається ознака φ_n аномального стану. Стан є аномальним, коли $\varphi_n = true$, тобто коли знаки зміни ваги для продажів та рейтингів є невідповідними. Наприклад, продажі збільшуються, а рейтинг зменшується.

Пріоритет при аналізі атак встановлюється на підставі різниці ваг Δw_n для цих правил. Наприклад, перший пріоритет встановлено для ознаки φ_{10} , оскільки різниця ваг Δw_{10} є максимальною і становить 0,362, другий – для Δw_6 із різницею в 0,229.

Ітеративна реалізація методу для ознаки φ_{10} з першим пріоритетом дозволила збільшити значення Δw_{10} до 0,39 за рахунок зменшення більше ніж в 5 разів кількості потенційних атакуючих користувачів. На кожній ітерації в даному випадку виключаються користувачі, які не виставляли рейтинг для

визначеного часового інтервалу. В результаті темпоральні правила на кожному циклі обчислень коригуються, що дає можливість деталізувати інтервал атаки.

Таблиця 6.5 – Результати етапу 3: ознаки шилінг-атаки

Етап 3			
Номер <i>n</i> правила	Ознака φ_n аномального стану внаслідок шилінг-атаки	Різниця абсолютних значень ваг темпоральних правил для продажів та рейтингів Δw_n	Пріоритет при аналізі атак
1	–		
2	–		
3	–		
4	–		
5	False		
6	True	0,229	2
7	False		
8	False		
9	False		
10	True	0,362	1
11	False		
12	False		
13	False		
14	True	0,006	4
15	False		
16	False		
17	True	0,081	3
18	False		

Таким чином, ітеративна реалізація методу забезпечує умови для уточнення інтервалу часу проведення атаки та складу групи атакуючих користувачів, тобто таких профілів користувачів, які значною мірою спотворили рейтинг цільового об'єкту у системі електронної комерції.

6.1.3 Експериментальна перевірка методу зворотного ймовірнісного виводу

Метод зворотного ймовірнісного виводу формує багатоваріантне управлінське рішення у вигляді множини альтернативних послідовностей станів у часі, від поточного і до цільового стану ОУ, а також задає ймовірнісну оцінку для цих послідовностей. При формуванні управлінського рішення використовуються темпоральні правила. Ймовірнісна оцінка альтернатив управлінського рішення визначається на основі ваг цих правил. Результуючі послідовності упорядковуються за ймовірністю їх реалізації, що дає можливість спростити вибір ОПР, виділивши підмножину найбільш ймовірних альтернатив у складі багатоваріантного управлінського рішення.

При проведенні експериментальної перевірки методу в якості вхідних даних використано множину послідовностей станів спрощеного процесу сервісного обслуговування електронного пристрою, представлену у табл. 6.6.

Таблиця 6.6 – Вхідна множина послідовностей станів П

Послідовність станів	Коментар
$\Pi_1 = \langle s_{1,0}, s_{1,1}, s_{1,2}, s_{1,3}, s_{1,4}, s_{1,5}, s_{1,6}, s_{1,aim} \rangle$	Π_1, Π_2, Π_3 містять однакові послідовності станів
$\Pi_2 = \langle s_{2,0}, s_{2,1}, s_{2,2}, s_{2,3}, s_{2,4}, s_{2,5}, s_{2,6}, s_{2,aim} \rangle$	
$\Pi_3 = \langle s_{3,0}, s_{3,1}, s_{3,2}, s_{3,3}, s_{3,4}, s_{3,5}, s_{3,6}, s_{3,aim} \rangle$	
$\Pi_4 = \langle s_{4,0}, s_{4,1}, s_{4,8}, s_{4,6}, s_{4,aim} \rangle$	Π_4, Π_5 містять однакові послідовності станів
$\Pi_5 = \langle s_{5,0}, s_{5,1}, s_{5,8}, s_{5,6}, s_{5,aim} \rangle$	
$\Pi_{current} = \langle s_{current,0}, s_{current,1}, s_{current,2}, s_{current,9} \rangle$	Поточна послідовність станів із аномальним поточним станом $s_{current,9}$

Вхідні дані містять п'ять успішно реалізованих послідовностей станів $\Pi_1 - \Pi_5$ та поточну послідовність $\Pi_{current}$, що закінчується нетиповим станом об'єкту управління.

Поточний стан процесу $s_{current,9}$ є станом переходу до гарантійного ремонту. Даний стан не виникав на послідовностях $\Pi_1 - \Pi_5$, тому він містить нетиповий набір значень атрибутів, тобто є аномальним.

Мета перевірки методу полягає в побудові багатоваріантного УР у вигляді множини альтернативних послідовностей станів $\Pi^{new} = \{\Pi_i^{new}\}$, що починаються від поточного стану $s_{current,9}$ й закінчуються цільовим станом $s_{current,aim}$: $\Pi_i^{new} = \langle s_{current,9}, \dots, s_{current,aim} \rangle$, а також подальшому упорядкуванні отриманих альтернатив Π_i^{new} за ймовірністю їх виконання.

Після побудови альтернатив необхідно перевірити їх семантику, тобто відповідність існуючій логіці дій у процесі сервісного обслуговування електронного пристрою. При перевірці використовується інформація про значення вхідних станів, представлена у табл. 6.7.

Таблиця 6.7 – Інформація про вхідні стани s_j

Стан	Інформація
s_0	Подання заявки на ремонт електронного пристрою
s_1	Розбирання пристрою
s_2	Діагностування несправності пристрою
s_3	Узгодження ремонту та його вартості з клієнтом
s_4	Придбання деталі
s_5	Заміна деталі
s_6	Складання пристрою
s_{aim}	Оплата та передача пристрою клієнту
s_8	Чистка пристрою від пилу
s_9	Перехід до гарантійного ремонту пристрою

На рис. 6.1 представлено графічне зображення вхідних даних, а також нових варіантів управлінського рішення Π_i^{new} .

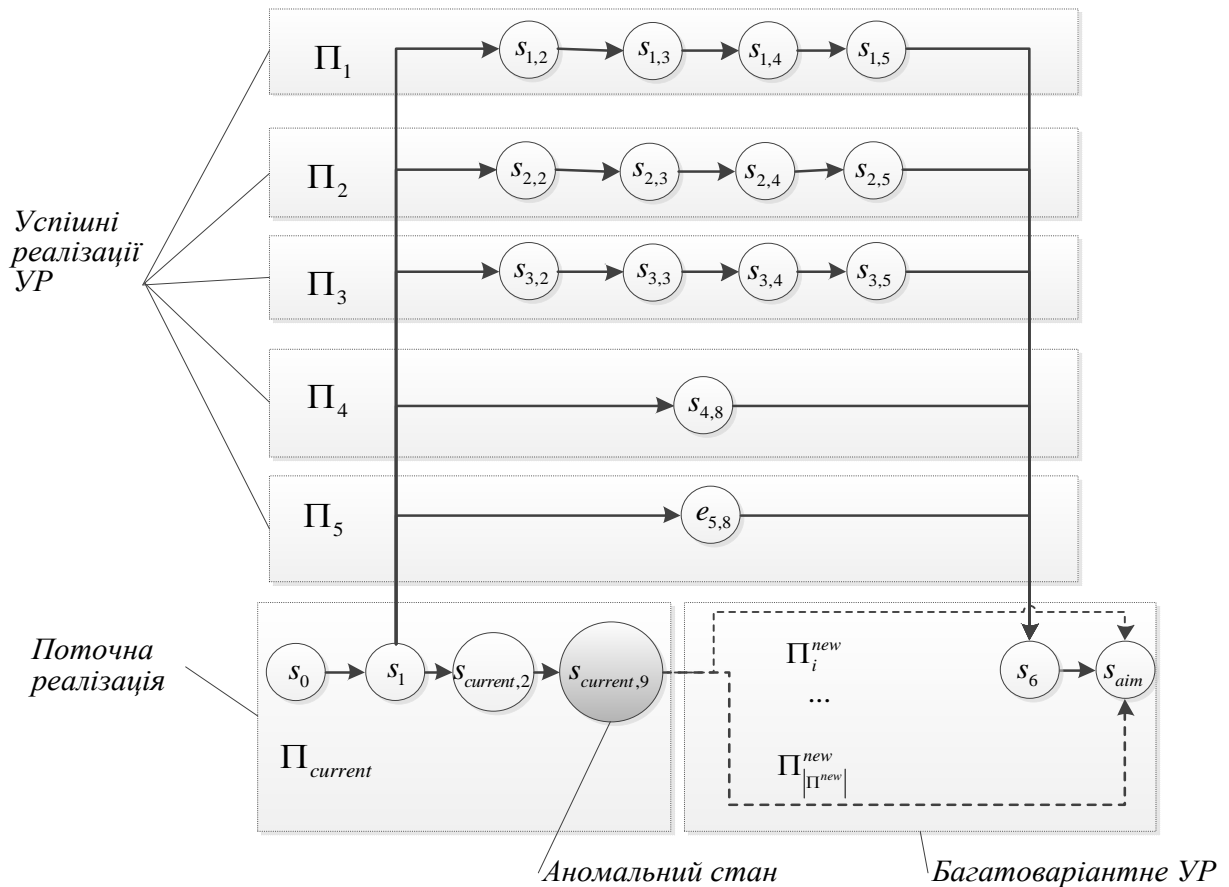


Рисунок 6.1– Взаємозв’язок між реалізованими УР, поточною реалізацією та новим УР

Множина всіх нових послідовностей Π^{new} є набором всіх розміщень станів $s_0 - s_9$. Однак із рис. 6.1 видно, що стани s_0, s_1, s_{aim} є спільними для всіх послідовностей і можуть не враховуватись при формуванні Π^{new} . Також не враховується і стани $s_{current,2}$ та $s_{current,9}$, оскільки вони вже були реалізовані. Тоді кількість елементів множини Π^{new} дорівнює сумарній кількості розміщень із елементів s_3, s_4, s_5, s_6, s_8 по 1, по 2 і т.п.

З метою зменшення обчислювальної складності у процесі побудови альтернатив виділяються темпоральні обмеження та використовуються лише ті послідовності Π_i^{new} , які відповідають вказаним обмеженням.

Темпоральні обмеження, що отримані в результаті виконання етапу 3 методу, представлено в табл. 6.8. Оскільки після застосування обмежень необхідно виключити стан s_6 , максимальна кількість станів після застосування обмежень складає 4.

Таблиця 6.8 – Темпоральні обмеження

Темпоральні обмеження		Факт-антецедент	Факт-консеквент
Ax_1^0	$\Phi_0 \xrightarrow{AX} \Phi_1$	Подання заявки на ремонт електронного пристрою	Розбирання пристрою
Ax_{aim}^6	$\Phi_6 \xrightarrow{AX} \Phi_{aim}$	Складання пристрою	Оплата та передача пристрою клієнту
Af_6^0	$\Phi_0 \xrightarrow{AF} \Phi_6$	Подання заявки на ремонт електронного пристрою	Складання пристрою
Af_{aim}^0	$\Phi_0 \xrightarrow{AF} \Phi_{aim}$	Подання заявки на ремонт електронного пристрою	Оплата та передача пристрою клієнту
Af_6^1	$\Phi_1 \xrightarrow{AF} \Phi_6$	Розбирання пристрою	Складання пристрою
Af_{aim}^1	$\Phi_1 \xrightarrow{AF} \Phi_{aim}$	Розбирання пристрою	Оплата та передача пристрою клієнту

Тобто обмеження пов'язані із станами s_3 , s_4 , s_5 , s_8 .

Відповідно, сумарна кількість перестановок значно зменшується, що дає можливість знизити обчислювальну складність зворотного ймовірнісного виводу.

Для правил – умов у процесі виконання методу розраховано ваги. Наприклад, зважені правила типу Future мають вигляд: $Ef_4^2, w_4^2 = 0,0856$; $Ef_5^2, w_5^2 = 0,0429$; $Ef_6^2, w_6^2 = 0,0143$; $Ef_5^3, w_5^3 = 0,0857$; $Ef_6^3, w_6^3 = 0,0428$.

Ключові результати зворотного ймовірнісного виводу наведено в табл. 6.9. Представлено чотири послідовності з найбільшою ймовірністю, які відповідають прийнятим у процесі сервісного обслуговування послідовностям дій. Інші V_i^{new} , що мають меншу ймовірність виконання та не відповідають практиці предметної області.

Сформовані нові послідовності фактів $V_1^{new} - V_4^{new}$ мають таке значення:

Таблиця 6.9 – Результати зворотного ймовірнісного виводу

V_i^{new}	Індекси фактів									Імовірність	Темпоральні правила	
V_1^{new}	0	1	2	9	3	4	5		6	<i>aim</i>	0,057	$\Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_4, \Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_5,$ $\Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_6, \Phi_3 \xrightarrow{EX} \Phi_4,$ $\Phi_3 \xrightarrow{EF} \Phi_5, \Phi_3 \xrightarrow{EF} \Phi_6,$ $\Phi_4 \xrightarrow{EX} \Phi_5, \Phi_4 \xrightarrow{EF} \Phi_6$
V_2^{new}	0	1	2	9	8	3	4	5	6	<i>aim</i>	0,057	$\Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_4, \Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_5,$ $\Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_6, \Phi_3 \xrightarrow{EX} \Phi_4,$ $\Phi_3 \xrightarrow{EF} \Phi_5, \Phi_3 \xrightarrow{EF} \Phi_6,$ $\Phi_4 \xrightarrow{EX} \Phi_5, \Phi_4 \xrightarrow{EF} \Phi_6,$ $\Phi_5 \xrightarrow{EX} \Phi_6$
V_3^{new}	0	1	2	9	4	5	8		6	<i>aim</i>	0,124	$\Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_4, \Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_5,$ $\Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_6, \Phi_4 \xrightarrow{EX} \Phi_5,$ $\Phi_4 \xrightarrow{EF} \Phi_6, \Phi_8 \xrightarrow{EX} \Phi_6$
V_4^{new}	0	1	2	9	5	3	4	8	6	<i>aim</i>	0,125	$\Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_4, \Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_5,$ $\Phi_2 \xrightarrow{EF} \Phi_6, \Phi_3 \xrightarrow{EX} \Phi_4,$ $\Phi_3 \xrightarrow{EF} \Phi_6, \Phi_4 \xrightarrow{EF} \Phi_6,$ $\Phi_8 \xrightarrow{EX} \Phi_6$

– V_1^{new} : подання заявки на ремонт електронного пристрою (0); розбирання пристрою (1); діагностування несправності пристрою (2); перехід

до гарантійного ремонту пристрою (9); узгодження ремонту та його вартості з клієнтом (3); придбання деталі (4); заміна деталі (5); складання пристрою (6); оплата та передача приладу клієнту (aim).

– V_2^{new} : після переходу до гарантійного ремонту (9) виконуються такі дії: чистка пристрою від пилу (8); узгодження ремонту та його вартості з клієнтом (3); придбання деталі (4); заміна деталі (5); складання пристрою (6); оплата та передача приладу клієнту (aim).

– V_3^{new} : після переходу до гарантійного ремонту (9) виконуються такі дії: придбання деталі (4); заміна деталі (5); чистка пристрою від пилу (8); складання пристрою (6); оплата та передача приладу клієнту (aim).

– V_4^{new} : після переходу до гарантійного ремонту (9) виконуються такі дії: заміна деталі (5); узгодження ремонту та його вартості з клієнтом (3); придбання деталі (4); чистка пристрою від пилу (8); складання пристрою (6); оплата та передача приладу клієнту (aim).

Таким чином, послідовності з найбільшою ймовірністю відображають процес сервісного обслуговування. Відмінностями між варіантами рішення стосуються в першу чергу додаткових дій, наприклад чистки приладу, узгодження з клієнтом. Експериментальна перевірка методу підтвердила, що сформовані послідовності Π_i^{new} з найбільшими значеннями ймовірності відображають логіку предметної області.

Використання обмежень дає можливість знизити кількість станів (і відповідних фактів), які використовуються при формуванні альтернатив рішення. Це дає можливість знизити обчислювальну складність методу. Комбінування правил типів «NeXt» та «Future» забезпечує відповідність нових послідовностей відомим ланцюжкам станів, тобто дає можливість відобразити логіку роботи у предметній області навіть для невеликих наборів вхідних даних.

По мірі виконання управлінського рішення обмеження та умови можуть змінюватись. Тому метод дає можливість оперативно адаптувати послідовності V_i^{new} .

6.2 Розробка платформи темпоральної бази знань

У відповідності до запропонованих моделей та методів розроблено платформу темпоральної бази знань. Дана платформа реалізована засобами реляційної СУБД та містить рівні зберігання даних і знань, а також рівень логіки побудови та використання темпоральних знань (рис. 6.2).

Перший рівень представлений базами, що зберігають дані та темпоральні знання. База даних містить інформацію щодо станів об'єкту управління. База знань – послідовності фактів та темпоральні правила згідно логіко-ймовірнісного представлення знань.

Другий рівень представлений модулями, що вирішують завдання з побудови та використання темпоральних знань:

- відбору, уточнення й формування даних щодо станів ОУ;
- формування темпоральних знань;
- виявлення аномальних станів ОУ;
- формування альтернатив УР.

Модуль відбору й формування даних використовує зовнішні дані щодо стану ОУ та формує атрибутивний опис станів й послідовності станів об'єкту управління. Результати даного модулю використовуються модулем формування темпоральних знань. Модулі виявлення аномальних станів ОУ та формування альтернатив управлінського рішення використовують темпоральні знання з БЗ. Результати їх роботи передаються ОПР через зовнішній рівень представлення темпоральних знань.

Наведені модулі реалізовані у вигляді збережених процедур у середовищі реляційної СУБД.

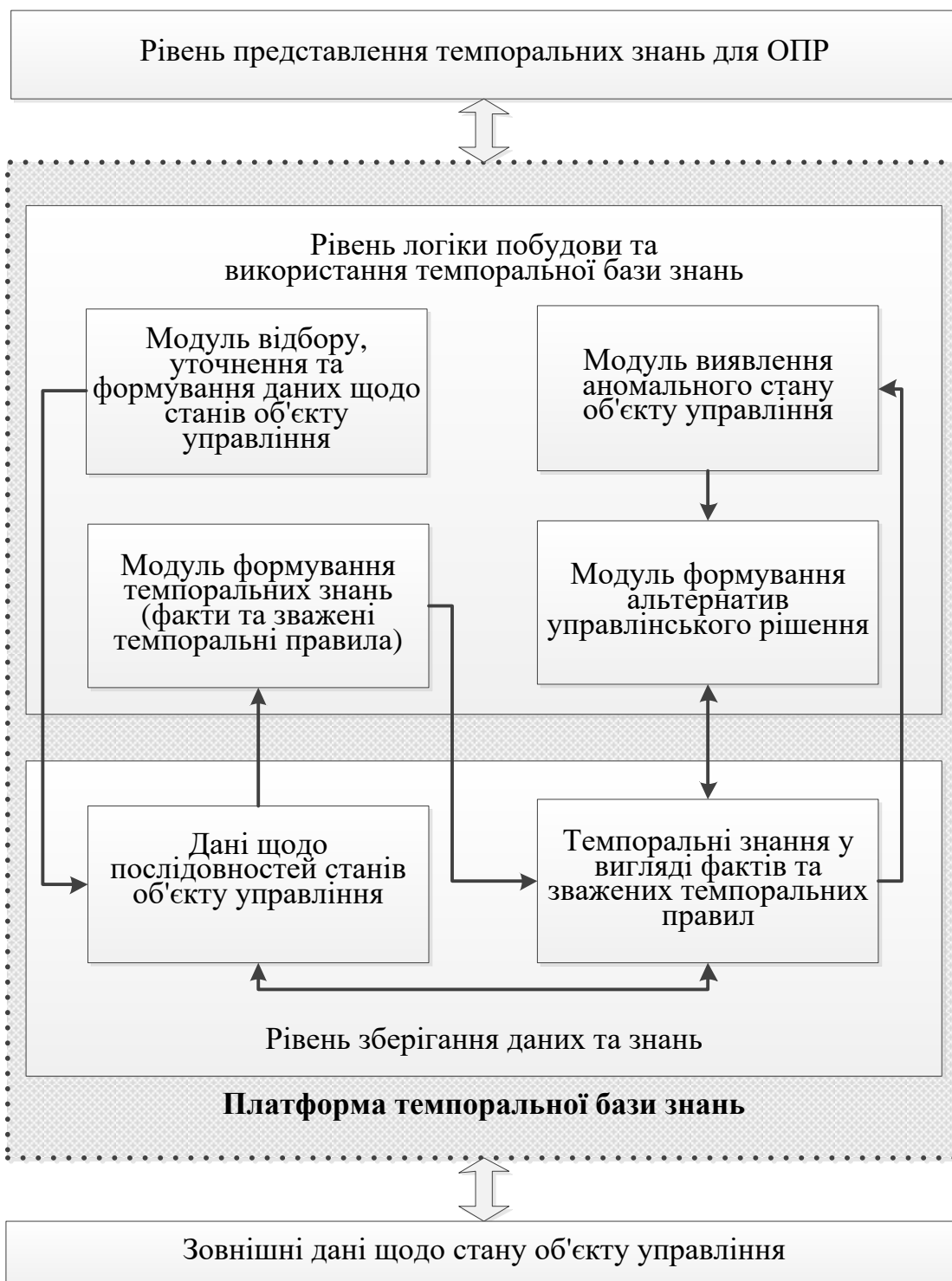


Рисунок 6.2 – Платформа темпоральної бази знань

Схему бази знань для рівня зберігання даних та знань реалізовано засобами реляційної СУБД та представлено на рис. 6.3. Структура БЗ в повній мірі базується на запропонованій у розділі 3 моделі представлення знань.

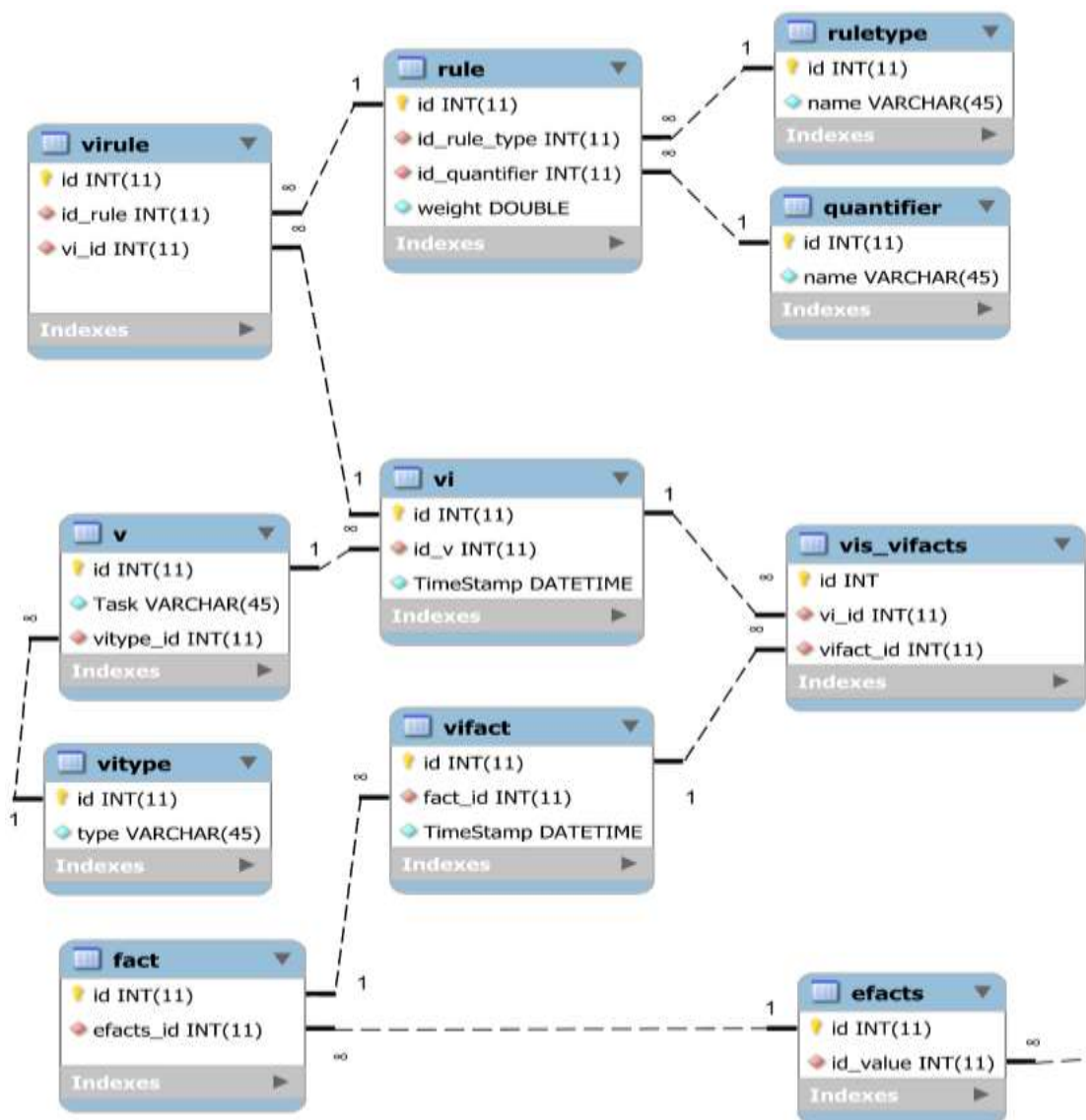


Рисунок 6.3 – Схема темпоральної бази знань

У представленій на рис. 6.3 схемі передбачається зберігання таких елементів моделі темпоральної бази знань:

- множина послідовностей фактів;
- факти виникнення станів;
- класи еквівалентності фактів;
- реалізовані правила;
- класи еквівалентності темпоральних правил.

Також додатково зберігається інформація щодо темпоральних операторів та кванторів.

Відповідність між таблицями бази знань та елементами моделі наведено у табл.6.10.

Таблиця 6.10 – Відповідність елементів моделі бази знань та таблиць БЗ

Елемент моделі БЗ	Таблиця БЗ
V	v
V_i	vi
$\Phi_{i,j}$	vifact
$[\Phi_i]$	fact
$r_{i,m}^{i,j}$	virule
$[r_m^j]$	rule
next, future, until	ruletype
A, E	quantifier

Схему БД рівня зберігання даних і знань представлено на рис. 6.4.

В базі даних зберігаються такі елементи, що відображають результати виконання управлінського рішення:

- послідовності станів об'єкту управління, що відображають реалізацію управлінського рішення;
- стани об'єкту управління;
- атрибути станів;
- значення атрибутів.

Відповідність між таблицями БД та елементами моделі багатоваріантного рішення наведено в табл. 6.11.

Зв'язок між підмножиною таблиць бази даних та бази знань реалізовано через зв'язок між таблицями «value» та «efacts». Даний зв'язок відповідає визначенню 3.1 елементарного факту та дає можливість сформулювати факти існування й виникнення станів об'єкту управління, які представлені виразами (3.1) та (3.2).

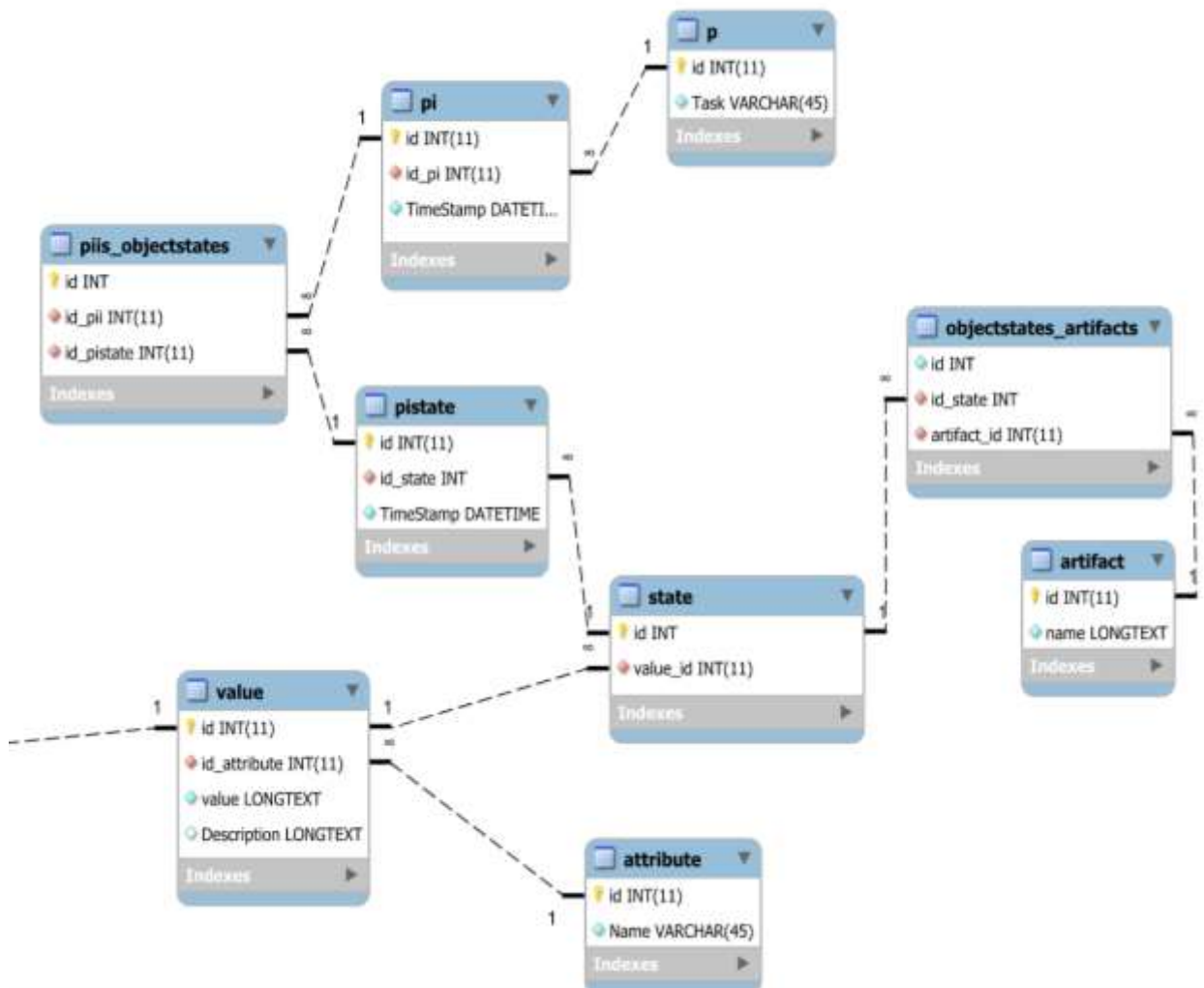


Рисунок 6.4 – Схема бази даних для темпоральної бази знань

Платформа темпоральної БЗ використовує засоби СУБД MySQL.

Таблиця 6.11 – Відповідність елементів моделі багатоваріантного управлінського рішення та таблиць БД

Елемент даних	Таблиця БД
P	p
P_i	pi
$s_{i,j}$	pstate
s_j	state
b_k	attribute
$c_{k,l}$	value
af_n	artifact

Вибір платформи обумовлений її високою швидкістю та надійністю, оскільки ця система управління базами даних орієнтована на обробку великих масивів даних.

6.3 Апробація інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підтримки управлінських рішень

6.3.1 Апробація інформаційних технологій при вирішенні задачі побудови рекомендацій

Рекомендаційні системи є одним з ключових елементів систем електронної комерції і призначені для персоналізації запропонованих товарів і послуг відповідно до інтересів конкретного користувача [286]. Наприклад, потоковий сервіс Netflix отримує значну кількість переглядів на основі персональних рекомендацій [259]. Рекомендаційна система «передбачає» інтереси цільового користувача на основі інформації про схожість товарів, про вибір користувачів з аналогічними інтересами, а також отриманих від клієнтів рейтингів об'єктів. Алгоритми побудови рекомендацій використовують суб'єктивний та об'єктивний зворотний зв'язок від користувача. Об'єктивний зворотний зв'язок представлений покупками і підтверджується фінансовими витратами користувача. Суб'єктивний зворотний зв'язок представлений рейтингами і відображає особисті враження користувача від запропонованих товарів [288].

При недоброчесній поведінці споживача використання суб'єктивного зворотного зв'язку призводить до вразливості рекомендаційної системи. Користувач-зловмисник може спотворити рейтинги об'єктів для того, щоб змінити динаміку продажу цільової групи товарів. Наприклад, збільшити попит на товари певного виробника або знизити інтерес до товарів його конкурентів. Тому при побудові рекомендацій необхідно враховувати

проблему атак користувачів або шилінг-атак [259]. Такі атаки засновані на можливості впливати на інтереси користувача за допомогою рекомендацій [288]. При проведенні шилінг-атаки створюється набір профілів фальшивих користувачів. Ці профілі використовуються для формування штучних рейтингів товарів в рекомендаційній системі (рис. 6.5).

В результаті клієнти таких систем отримують персоналізований список об'єктів, який відображає інтереси зловмисників. Шилінг-атаки дозволяють короточасно підвищити продажі важливих для зловмисників товарів і послуг. Однак спотворення рейтингів підривають довіру до рекомендацій в цілому, що може привести до тривалого зниження продажів.

Для того, щоб врахувати результати об'єктивного зворотного зв'язку в рамках обраного періоду часу, доцільно описати процеси вибору товару і установки його рейтингів на декількох послідовних інтервалах, зв'язавши їх темпоральними правилами.

Таким чином, для детектування шилінг-атак на основі виявлення розбіжностей між процесами вибору об'єктів і рейтингування можуть бути використані темпоральні моделі, що враховують динаміку інтересів користувача.

При апробації та впровадженні розроблених технологій для вирішення задачі виявлення аномальних станів внаслідок шилінг-атак було виконано порівняння ефективності виявлення атак з використанням темпоральних правил з методами [289], [290]. Ці методи виконують розбиття періоду продажу на інтервали за умови різкої зміни значень рейтингів за обмежений проміжок часу.

При порівнянні методів використовувалась оцінка точності, яка визначається як відношення кількості виявлених атак до кількості всіх атак. Результати порівняння наведені на рис. 6.6, 6.7.

Метод [289] виявлення аномалій на основі динамічного поділу для часових рядів представлений скороченням DP.

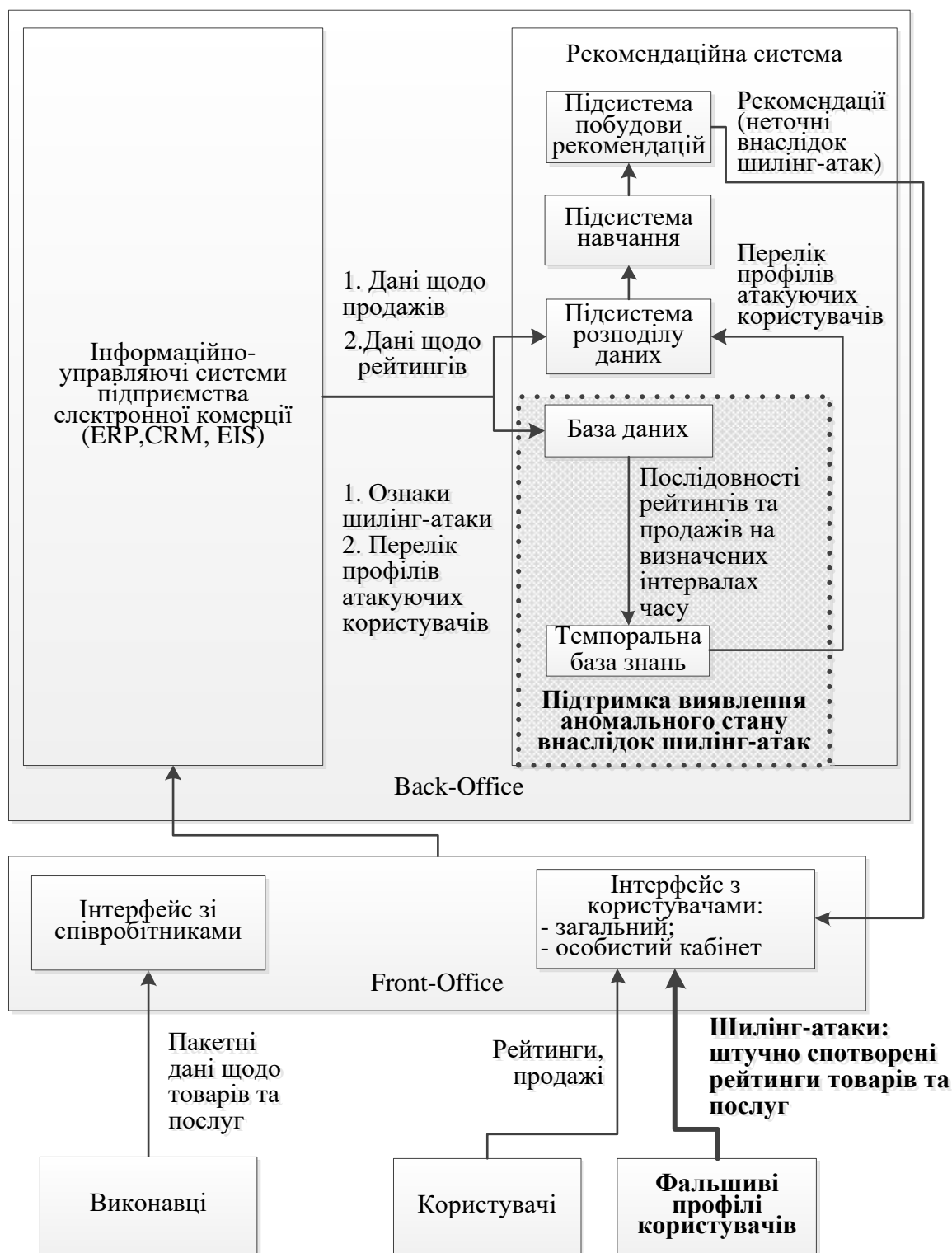


Рисунок 6.5 – Виявлення аномальних станів внаслідок шилінг-атак в системах електронної комерції

Метод [290] виявлення аномальних елементів на основі часових інтервалів представлений скороченням ТІ.

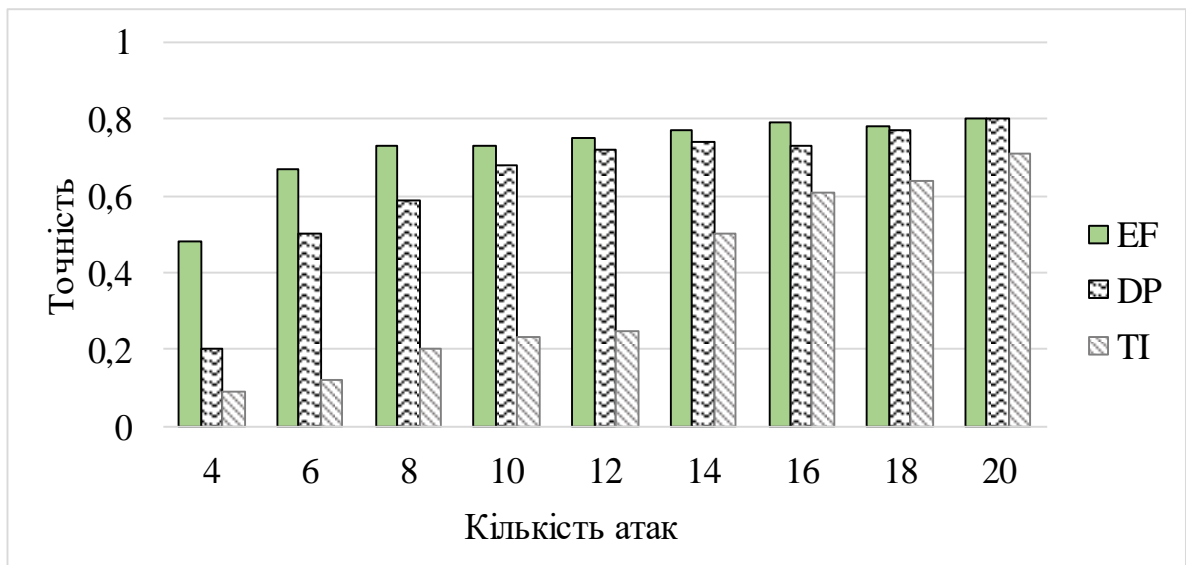


Рисунок 6.6 – Порівняння точності виявлення атак на зниження рейтингу

Технологія виявлення аномалій з використанням темпоральних знань представлена скороченням EF (явний зворотний зв'язок).

При виявленні атак технологія використовує темпоральні правила, які описують зміну продажів або рейтингів одного і того ж об'єкта для довільних пар інтервалів часу.

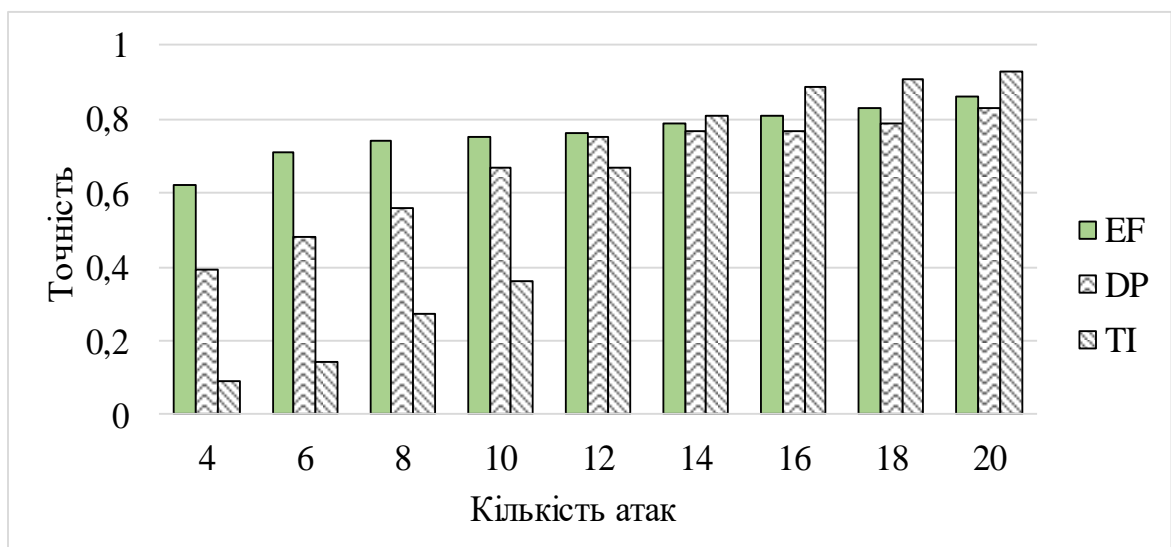


Рисунок 6.7 – Порівняння точності виявлення атак на підвищення рейтингу

Набір таких правил описує загальні темпоральні характеристики процесів вибору цільового товару і установки його рейтингів.

На основі зважених темпоральних правил будуються моделі процесів зміни уподобань користувача. Ключова відмінність даної інформаційної технології від інтервальних методів [290], [291] полягає в тому, що ознаки шилінг-атак виявляються шляхом порівняння елементів моделей процесів покупок і формування рейтингів.

Результатом застосування технології є перелік інтервалів можливої атаки для заданого списку користувачів.

Особливість даної технології виявлення шилінг-атак полягає в використанні набору темпоральних правил, які пов'язують всі попередні інтервали з поточним, що дозволяє отримати узагальнену оцінку розбіжностей між продажами і рейтингом для заданого рівня деталізації часу й визначеного періоду часу.

На початковій стадії фальсифікації рейтингів, при формуванні до 10 атак на підвищення рейтингу, інформаційна технологія EF дозволяє підвищити точність від 8% до 23% в порівнянні з методом DP, і більш ніж на 30% в порівнянні з методом TI. В атаках на зниження рейтингу збільшення точності на початковій стадії склало від 5 до 23% в порівнянні з методом DP і понад 30% для методу TI.

Однак надалі, по мірі збільшення кількості атак, методи DP, TI показують аналогічну, або більш високу точність у порівнянні з EF. Такі характеристики інформаційної технології визначають її сферу застосування: початкова стадія дій атакуючого користувача.

Апробація технології, що використовує темпоральні знання, показала, що її ключова перевага при вирішенні даної задачі полягає в можливості виявлення невідповідностей динаміки покупок і рейтингів не лише на початкових етапу атаки, також в разі неповноти даних про ці атаки. При

ітеративній реалізації технологія дозволяє деталізувати перелік потенційних атакуючих. Порівняльний аналіз отриманих в результаті апробації технології ознак атак дозволяє класифікувати підходи, що використовуються з метою маскуванню атаки.

В цілому можна зробити висновок, що технологія з використанням темпоральних знань при вирішенні задачі виявлення таких атак забезпечує підвищення точності не менше ніж на 8% при атаках на підвищення рейтингу і 5% при атаках на зниження рейтингу на самому початку дій атакуючих користувачів, при невеликій кількості атак та атакуючих профілів користувачів.

Тому використання темпоральних знань для виявлення атак доцільно орієнтувати на онлайн-режим з тим, щоб оперативно виявити зміни поведінки фальшивих профілів користувачів, що були створені лише для проведення атак на рейтинги товарів та послуг.

Результати виявлення аномального стану внаслідок шилінг-атак можуть бути використані на рівні стратегічного управління для прийняття рішень щодо коригування баз рейтингів, користувачів, а також алгоритмів роботи рекомендаційної системи.

Використання темпоральних знань накладає обмеження впорядкованості за часом на вхідні дані. Додаткова вимога часових міток у вхідних даних дозволяє більш точно виділити інтервали атаки.

Виявлення аномального стану в результаті зовнішніх атак також було виконано при виявленні втручань через мережу Інтернет у роботу інформаційної системи збору й обробки даних щодо використання радіотехнічних систем. При вирішенні цієї задачі темпоральні правила формувались для фактів на інтервалах часу, аналогічно розглянутому вище підходу. Використання темпоральних знань дало можливість підвищити ефективність виявлення втручань в умовах неповноти інформації щодо зовнішніх впливів, що підтверджено актом впровадження.

6.3.2 Апробація інформаційних технологій при вирішенні задачі підтримки конфігурування серверів у хмарі на кластері Nomad

Задача конфігурування серверів на кластері Nomad орієнтована на підтримку побудови, адаптації та функціонування виробничих процесів, що функціонують у онлайн-режимі, зокрема у сферах поставки та підтримки програмного забезпечення, електронної комерції, онлайн-медицини, підтримки роботи інвестиційних фондів, тощо.

Система Nomad призначена для гнучкого розподілу навантаження на основі декларативно описаної комп'ютерної інфраструктури, та орієнтована на використання в приватних центрах обробки даних, з можливостями інтеграції у хмару. Дана система забезпечує розміщення та управління програмами користувача у відповідності до заданої бізнес-логіки. Конфігурування Nomad виконується з метою ефективного використання комп'ютерних ресурсів при автоматизації процесів, що вирішують задачі користувача.

Задача підтримки конфігурування серверів у хмарі на кластері Nomad вирішується як на етапі поставки, так і на етапі експлуатації відповідного програмного забезпечення. В обох випадках конфігурування, у відповідності до представленої на рис. 1.1 схеми, виконується на рівні тактичного управління.

На етапі поставки конфігурування виконується постачальником програмного забезпечення при побудові виробничих процесів користувача. На етапі експлуатації конфігурування виконується при коригуванні виробничих процесів як постачальником програмного забезпечення, так і підприємством, що використовує кластер Nomad. Розгортання відкоригованих процесів при використанні конвейеру мікросервісів може займати лише декілька секунд, що дає можливість динамічно змінювати діяльність підприємства при зміні вимог користувачів та еволюції технологій.

Задача налагодження кластеру Nomad полягає у конфігуруванні серверу розподілу задач на кластер серверів (Nomad-server leader), що виконують клієнтські завдання у приватній хмарі (рис. 6.8).

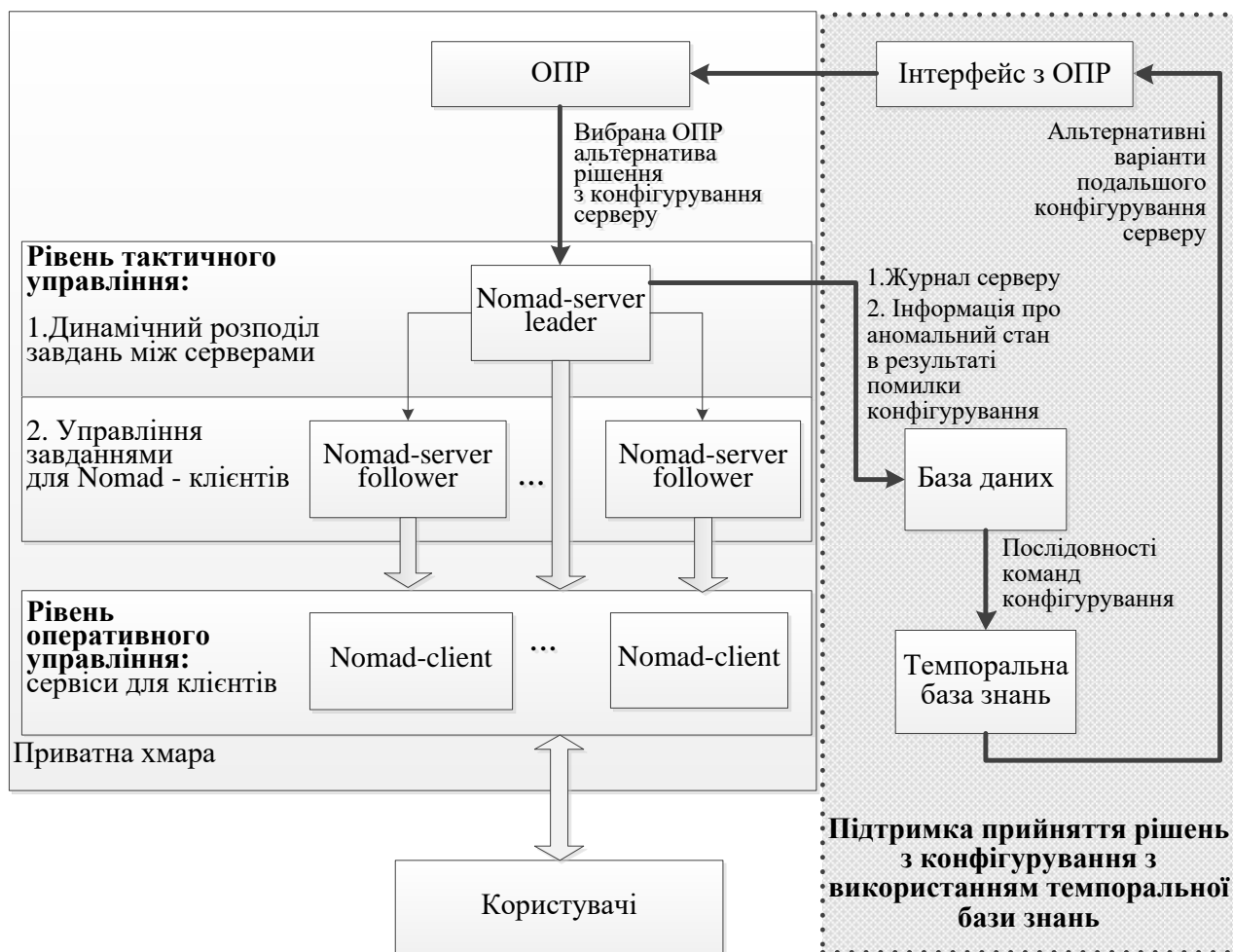


Рисунок 6.8 – Задача конфігурування серверів на тактичному рівні організаційного управління

Даний сервер розподіляє у автоматичному режимі завдання між серверами Nomad-server follower, що безпосередньо реалізують виробничі процеси користувача. Такий динамічний розподіл забезпечує виконання завдань користувачу та їх інтеграцію у єдиний процес навіть у випадку збоїв у Nomad-server follower.

Сервера Nomad-server follower реалізують виробничі процеси користувача. Планування та реалізація таких процесів виконується на кластері з трьох або п'яти серверів з метою безвідмовного функціонування. Окремі сервіси для клієнтів у рамках виробничого процесу реалізуються на комп'ютерах Nomad-client.

Логіка конфігурування полягає в тому, що необхідно гарантувати роботу заданої кількості Nomad-server follower незалежно від виходу серверів з ладу або збільшення їх кількості. При зміні кількості серверів їх ролі перерозподіляються у відповідності до конфігурації, яку задає Nomad-server leader. Тобто завдання починають виконувати нові сервери, і лише потім відключаються старі Nomad-server follower.

Процес конфігурування характеризується багатоваріантністю. Можливі варіанти послідовностей команд з конфігурування залежать від поточної архітектури кластеру та переліку й послідовності задач, що реалізують виробничі процеси користувачів. Помилкові послідовності команд, невідповідність прав доступу призводять до виникнення проблемних ситуацій, що потребує вирішення задач підтримки прийняття рішень з управління конфігураціями серверів.

У процесі підтримки конфігурування вирішується задача формування багатоваріантного управлінського рішення. В якості вхідних даних використовуються:

- журнал серверу Nomad-server leader, що містить послідовність виконаних команд конфігурування, включаючи поточну команду, яка привела до аномального стану серверу;

- інформація від серверу про аномальний стан в результаті помилки конфігурування.

Формування управлінського рішення виконується на платформі темпоральної бази знань з використанням спеціалізованого інтерфейсу, як показано на рис. 6.9-6.12.

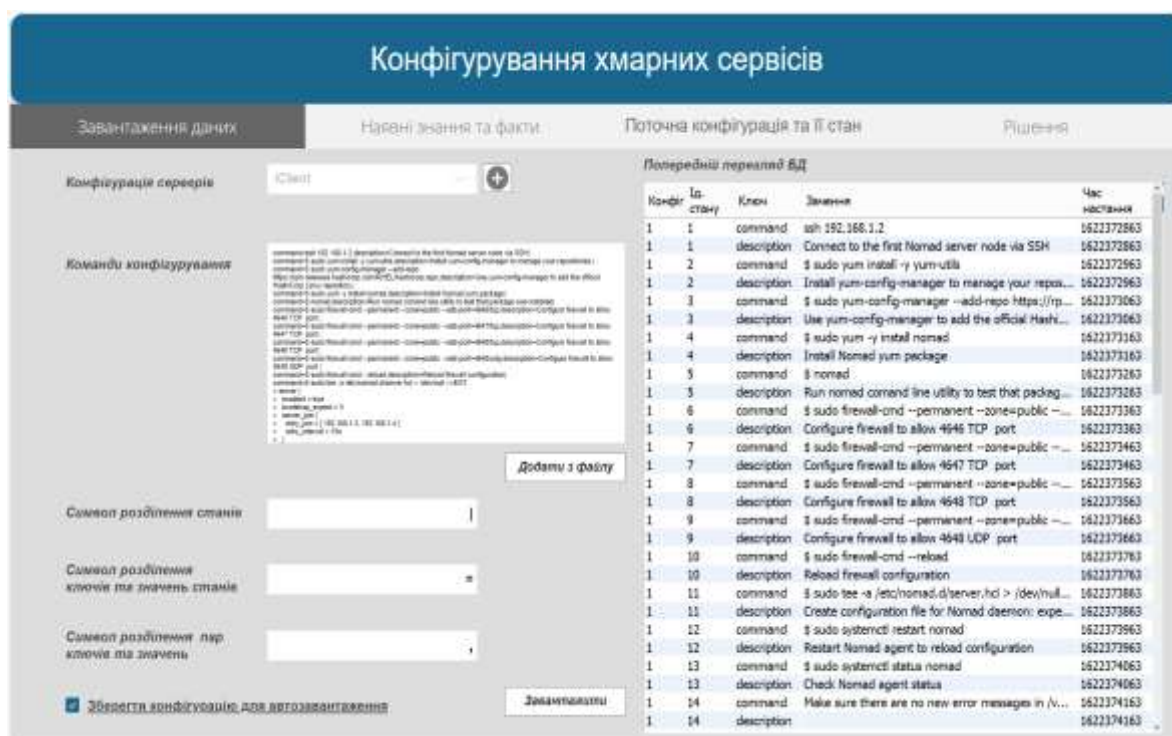


Рисунок 6.9 – Форма автозавантаження даних щодо послідовності команд конфігурування

При підтримці рішень вирішуються такі завдання:

- завантаження даних щодо виконаних послідовностей команд з конфігурування;
- побудова темпоральних знань у складі фактів та правил на основі вхідних послідовностей команд;
- виділення та представлення проблемної ситуації з конфігурування серверу «Nomad-server leader»;
- підтримка прийняття рішення шляхом формування трьохваріантного управлінського рішення у випадку аномального стану внаслідок помилок конфігурування.

При вирішенні першої задачі виділяються розділові символи та дешифрується вхідний журнал серверу, після чого послідовності команд заносяться у базу даних (рис. 6.9). При виконанні цієї задачі формується послідовність станів серверу, які виникли внаслідок виконання відповідних

команд конфігурування. Відповідність станів та команд встановлюється на представленому в розділі 2 визначенні стану об'єкту управління через множину значень атрибутів. В якості атрибуту може виступати найменування управляючої дії, що привела до відповідного стану об'єкту управління. Послідовності станів мають мітки часу. Отримані послідовності заносяться до бази даних, що створює умови для подальшої побудови темпоральних знань.

Завантаження даних може відбуватись як в ручному, так і в автоматичному режимі. В останньому випадку встановлюється опція «Зберегти конфігурацію для автозавантаження».

При вирішенні другої задачі на основі вхідних послідовностей станів у базі даних формується множина темпоральних правил (рис. 6.10).

Конфігурування хмарних сервісів

Завантаження даних
Факти та правила
Поточна конфігурація та її стан
Рішення

Оберіть команду зі списку:

```

Факти
$ ssh 192.168.1.2
$ sudo yum install -y yum-utils
$ sudo yum-config-manager --add-repo
https://rpm.releases.hashicorp.com/RHEL/hashicorp.repo
$ sudo yum -y install nomad
$ nomad
$ sudo firewall-cmd --permanent --zone=public --add-port=6640/tcp
$ sudo firewall-cmd --permanent --zone=public --add-port=6647/tcp
$ sudo firewall-cmd --permanent --zone=public --add-port=6648/tcp
$ sudo firewall-cmd --permanent --zone=public --add-port=6649/tcp
$ sudo firewall-cmd --reload
$ sudo tee -a /etc/nomad.d/server.hcl > /dev/null <<EOT
> server {
>   enabled = true
>   bootstrap_expect = 3
>   server_join {
>     retry_join = [ "192.168.1.3", "192.168.1.4" ]
>     retry_interval = "15s"
>   }
> }
> EOT
$ sudo systemctl restart nomad
$ sudo systemctl status nomad
$ sudo su
$ sudo tee -a /etc/nomad.d/server.hcl > /dev/null <<EOT
> server {
>   enabled = true
>   bootstrap_expect = 3

```

Наступні факти/команди:

Наступні факти/команди	Варті	Тип правила
\$ tee -a /etc/nomad.d/server.hcl > /dev/null <<EOT > server {	19,77	next
\$ sudo su	19,23	next
\$ sudo systemctl restart nomad	86,32	future
\$ sudo systemctl status nomad	86,32	future
\$ sudo yum install -y yum-utils	21,65	future
\$ sudo yum-config-manager --add-repo https://rpm.releases.hashic...	19,22	future
\$ sudo firewall-cmd --reload	19,03	future
\$ nomad	18,53	future
\$ sudo tee -a /etc/nomad.d/client.hcl > /dev/null <<EOT > client {	18,53	future
\$ sudo yum -y install nomad	18,01	future
\$ sudo firewall-cmd --permanent --zone=public --add-port=6647/tcp	17,91	future
\$ sudo tee -a /etc/nomad.d/server.hcl > /dev/null <<EOT > server {	11,02	future

Рисунок 6.10 – Форма темпоральних знань щодо команд конфігурування

Виявлення аномального стану об'єкту управління здійснюється на основі відповідної інформації від серверу, як показано на рис. 6.11.

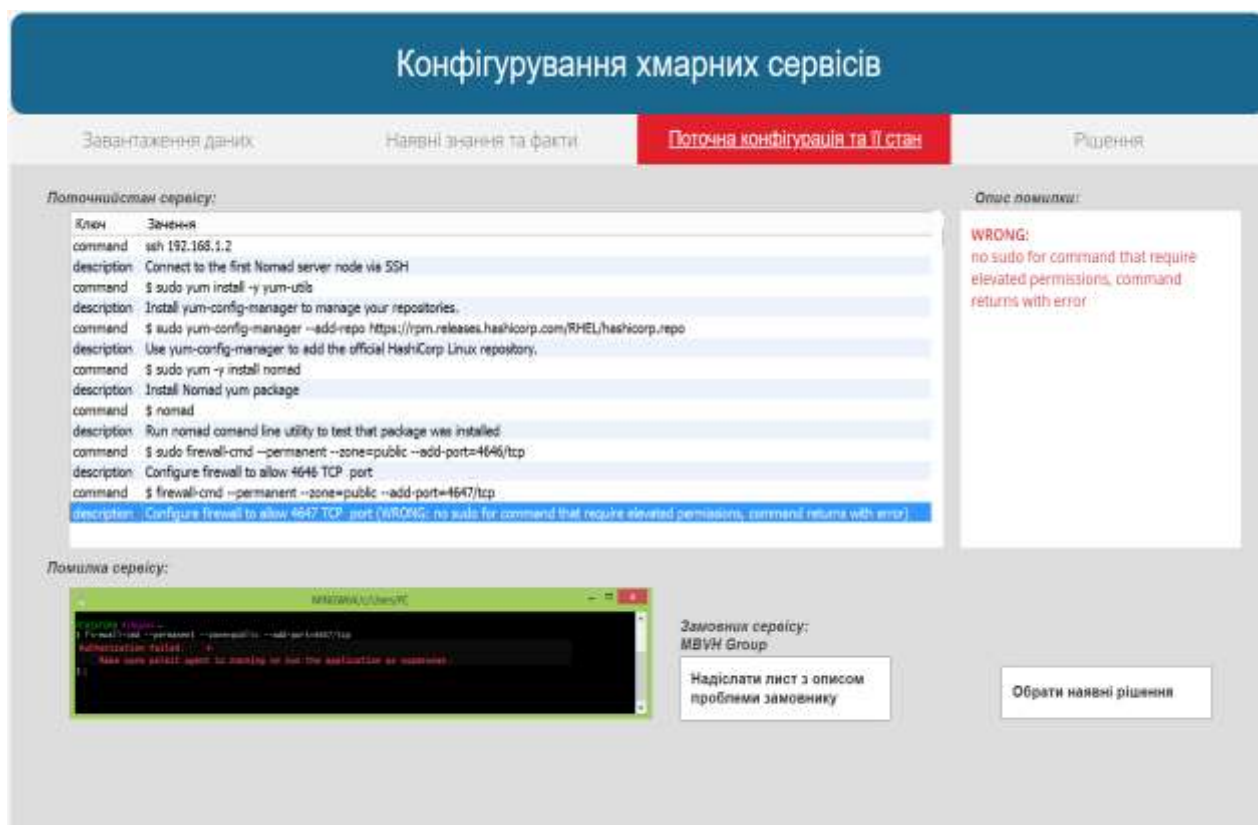


Рисунок 6.11 – Форма відображення аномального стану у процесі конфігурування

Дана ситуація є стартовою для формування триваріантного рішення (кількість варіантів обмежена вимогами практичного застосування).

Форма відображення альтернатив для рішення з конфігурування серверу представлена на рис. 6.12. Кожен альтернативний варіант конфігурування представляється на окремій вкладці. Наведені на рис. 6.12 варіанти формуються в результаті зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних знаннях.

Для кожної з трьох найкращих альтернатив вказується ймовірність її реалізації. Кожна з запропонованих альтернатив містить послідовність команд конфігурування серверу, що забезпечують перехід від його поточного до цільового стану.

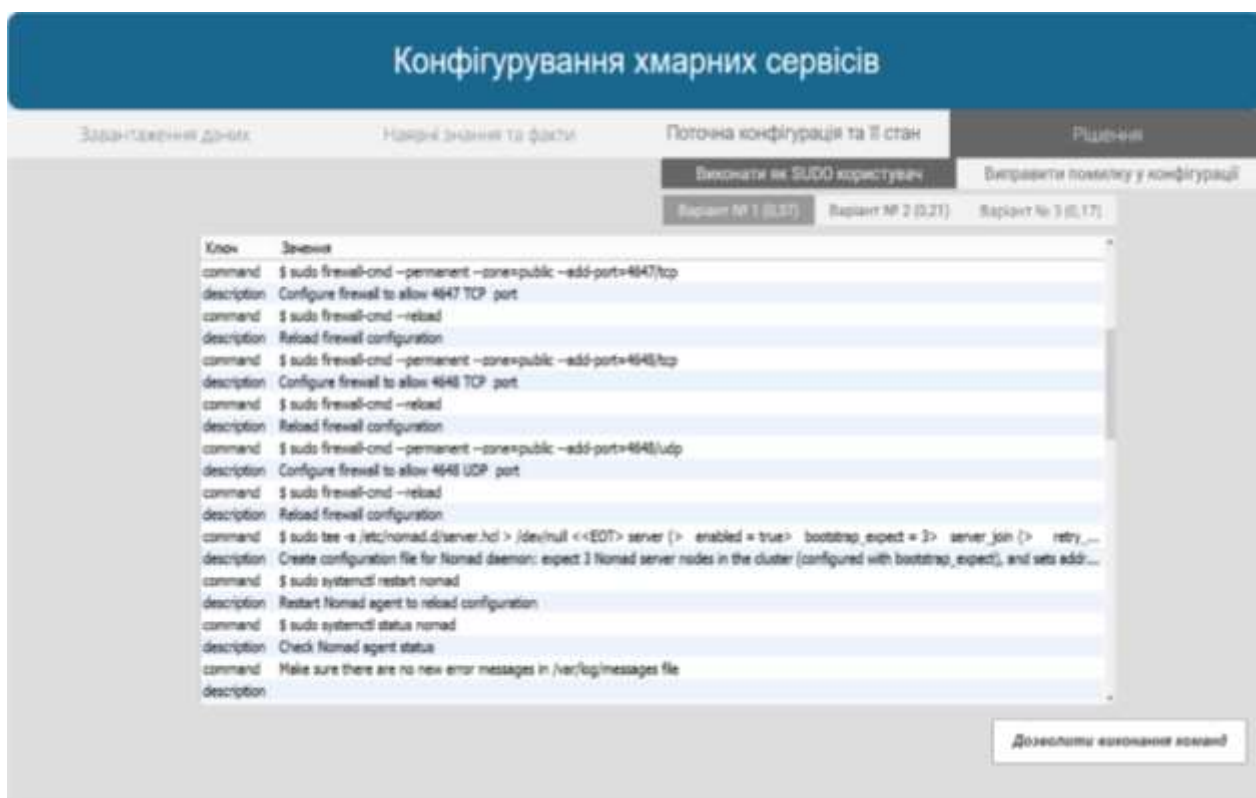


Рисунок 6.12 – Форма відображення альтернативних варіантів продовження конфігурування у випадку помилки сервісу

Результати підтримки рішень щодо конфігурування кластерів з трьох та п'яти серверів представлено на рис. 6.13.

Підтримка забезпечила скорочення часу конфігурування до 31% для конфігурації з 3-х серверів.

Для конфігурації з 5 серверів скорочення часу конфігурування становить 43%. Також в результатів підтримки зменшилась кількість помилок конфігурування на 22% для кластеру з 3-х серверів та на 19% для кластеру з 5 серверів.

Схожі результати були отримані при підтримці рішень щодо складання й використання методик перевірки пристроїв для електротехнічних та радіотехнічних вимірювань.

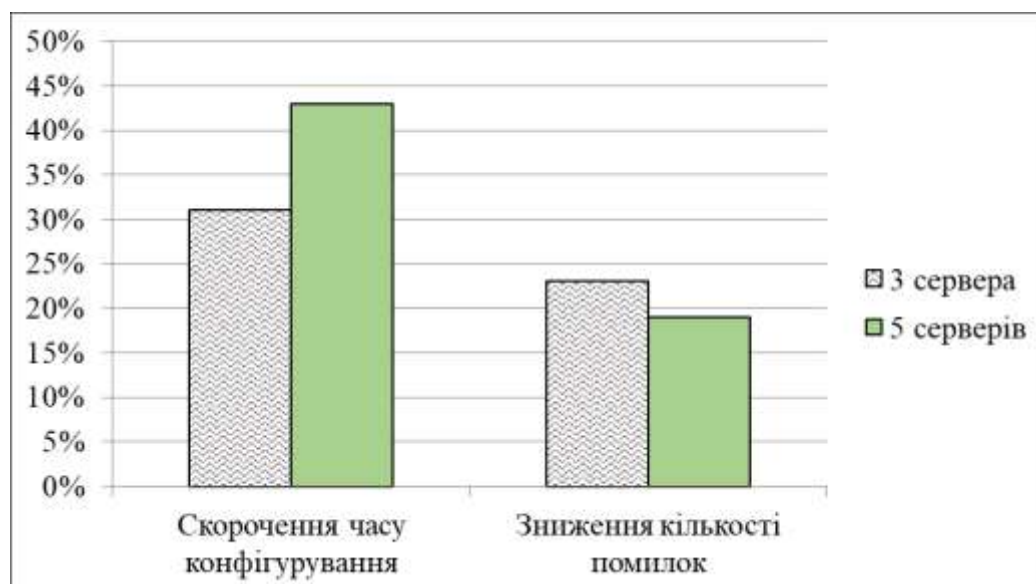


Рисунок 6.13 – Скорочення часу конфігурування та зниження кількості помилок в результаті реалізації підтримки прийняття рішень

Підтримка прийняття рішень з використанням темпоральної бази знань, у відповідності до акту впровадження, дала можливість на 12% скоротити витрати часу на перевірку таких пристроїв.

Висновки до розділу 6.

1. Експериментальна перевірка методу визначення ваг темпоральних правил підтвердила, що удосконалений метод створює умови для підвищення ефективності управління складними об'єктами і процесами в аномальних ситуаціях шляхом оцінки поточного стану та визначення ймовірностей допустимих шляхів виходу з цього стану за допомогою зважених темпоральних правил. Оцінка поточного стану здійснюється на основі сумарної ваги темпоральних правил, що описують перехід до цього стану. Вибір найкращого шляху досягнення цільового стану здійснюється з урахуванням отриманої на основі ваг темпоральних правил ймовірності реалізації даної альтернативи. Визначення ваг правил є необхідною умовою

для розрахунку ймовірностей переходу від аномального до цільового стану об'єкту управління.

2. Експериментальна перевірка методу виявлення аномальних станів після шилінг-атак на основі порівняння темпоральних правил для явного і неявного зворотного зв'язку від користувача рекомендаційної системи показала, що метод може бути використаний не лише для виявлення атак, а й для подальшого інтерактивного уточнення переліку атакуючих користувачів. Тобто метод може бути застосований для оперативного уточнення результатів існуючих ресурсномістких підходів до виявлення шилінг-атак з урахуванням останніх змін пріоритетів користувачів. Додаткова сфера застосування методу включає в себе прогнозування аномальних станів дискретних процесів.

4. Розроблено платформу темпоральної бази знань, що містить опис знань у вигляді фактів виникнення стану об'єкту управління, послідовностей цих фактів та темпоральних правил, а також засоби завантаження даних, побудови темпоральних знань й підтримки управлінських рішень. Розроблена платформа імплементована у середовищі реляційної СУБД.

5. Впровадження технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань при вирішенні задач підтримки прийняття рішень в рекомендаційних системах, управлінні хмарними сервісами, перевірки електронних пристроїв, виявленні втручань через мережу Інтернет у роботу інформаційної системи забезпечило підвищення організаційної ефективності у процесі прийняття рішень. Підвищення точності виявлення аномальних станів становить від 5% до 23% для шилінг-атак на початку виконання атак на рейтинг, що дає можливість скоротити час виявлення профілів користувачів, які ініціювали шилінг-атаку. Скорочення часу прийняття і реалізації рішень у процесі конфігурування хмарного сервісу склало 31%. Скорочення витрат часу при вирішенні задачі перевірки електронних пристроїв склало 12%.

ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота містить нові науково обґрунтовані результати, які забезпечують розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми розробки концептуальних основ, моделей, методів та інформаційних технологій автоматизованого управління темпоральними базами знань для підвищення ефективності вибору управлінських рішень при вирішенні частково структурованих та неструктурованих задач.

В результаті проведення дослідження отримано такі наукові та практичні результати.

1. Проведено аналіз проблем та підходів до автоматизованого управління базами знань, який показав, що існуючі підходи орієнтовані на автоматизоване формування та використання декларативних знань в інформаційно-пошукових, інформаційно-довідкових та інформаційно-аналітичних системах. Використання таких підходів для опису процесів управління пов'язано із значними труднощами, що потребує розробки методів та технологій автоматизованої побудови й використання знань для підтримки управлінських рішень.

2. Вперше запропоновано модель багатоваріантного управлінського рішення, що базується на темпоральних знаннях. Модель містить множину альтернативних варіантів такого рішення, кожен з яких представлений послідовністю станів об'єкту управління, що відповідають послідовностям управляючих дій, а також набір темпоральних залежностей для кожної з цих послідовностей й оцінки цих залежностей. Розроблена модель забезпечує можливість побудови та оцінки альтернатив при вирішенні задачі формування управлінського рішення.

3. Вперше запропоновано модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень. Модель містить множину фактів, що відображають знання щодо виникнення станів об'єкту

управління, темпоральні відношення, що визначають послідовність фактів у часі, та множинні операції, які задають поєднання, перетин та різницю фактів. Модель забезпечує можливість представлення управлінського рішення у темпоральному аспекті із заданим ступенем деталізації опису об'єкту управління.

4. Набуло подальшого розвитку продукційне представлення знань у формі ансамблю моделей темпоральних правил. Моделі правил відрізняються від існуючих тим, що містять знання щодо порядку у часі фактів виникнення станів об'єкту управління, в тому числі з урахуванням моментів виникнення інших станів, та зміни станів окремих об'єктів у складі об'єкту управління в цілому. Розроблені моделі дають можливість на основі темпоральних знань сформуванню множини нових послідовностей станів об'єкту управління, які забезпечують досягнення цільового стану, і тим самим, створюють умови для підтримки управлінського рішення.

5. Вперше запропоновано модель темпоральної бази знань, що базується на логіко-ймовірнісному представленні знань. Модель містить знання щодо реалізованих та поточних процесів управління й станів об'єкту управління, а також засоби побудови, поповнення та використання темпоральних знань. Модель дає можливість автоматизувати управління темпоральними знаннями на основі побудови зважених темпоральних правил та подальшого використання цих правил для вирішення задач виявлення аномального стану об'єкту управління й формування багатоваріантного управлінського рішення.

6. Удосконалено методи побудови продукційних знань в аспекті темпоральних правил. Удосконалені методи формують класи еквівалентності фактів, правил, а також класи правил-обмежень й правил-ймовірних умов виконання управляючих дій. Методи дають можливість сформуванню темпоральних знань щодо управлінського рішення на основі інформації про послідовність станів об'єкту управління, що забезпечує можливість знання-орієнтованої підтримки таких рішень.

7. Удосконалено метод визначення ваг темпоральних правил на основі значень ймовірностей послідовностей фактів. Метод відрізняється від існуючих використанням темпоральних знань щодо послідовностей дій у реалізованих варіантах управлінського рішення, за винятком темпоральних обмежень. Удосконалений метод дає можливість упорядкувати альтернативи при формуванні управлінського рішення з використанням уточнених при зміні стану об'єкту управління ваг темпоральних правил.

8. Розроблено інформаційну технологію побудови темпоральної бази знань, яка використовує запропоновані моделі представлення темпоральних знань та методи побудови зважених темпоральних правил. Технологія забезпечує можливість побудови темпоральної бази знань з використанням вхідних даних у шкалах як абсолютного, так і відносного часу.

9. Вперше запропоновано метод виявлення аномального стану об'єкту управління з використанням темпоральних правил. Метод містить етапи побудови темпоральних залежностей, що відображають знання про поточну та відомі реалізації управлінського рішення, а також ймовірнісної оцінки поточного стану об'єкту управління на основі ваги темпоральних правил. Метод дає можливість автоматизувати вирішення задачі виявлення проблемної ситуації у процесі підтримки управлінського рішення.

10. Вперше розроблено метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних правилах. Метод передбачає уточнення темпоральних знань з урахуванням їх актуальності та побудову упорядкованої за ймовірністю виконання множини впорядкованих у часі послідовностей фактів, що відображають послідовність станів, які забезпечують перехід до цільового стану об'єкту управління. Метод дає можливість зменшити кількість альтернатив, з яких вибирає ОПР і, тим самим, підвищити ефективність підтримки управлінського рішення.

11. Розроблено інформаційну технологію підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань, яка інтегрує

запропоновані моделі представлення знань та методи виявлення аномального стану об'єкту управління і ймовірного виводу. Технологія забезпечує формування альтернативних варіантів виконання управлінського рішення, їх упорядкування за ймовірністю реалізації, а також додаткове ранжування альтернатив за їх відповідністю процесам у предметній області.

12. Виконано експериментальну перевірку розроблених методів побудови та використання баз знань для підтримки управлінських рішень. Перевірка показала можливості застосування розроблених методів не лише для вхідних даних з мітками часу, що використовують шкалу «минуле-поточне-майбутнє», але й для упорядкованих за шкалою «раніше-пізніше» даних. Розроблені інформаційні технології реалізовано при вирішенні задач виявлення аномального стану в результаті шилінг-атак в рекомендаційних інформаційних системах та в результаті втручань через мережу Інтернет у роботу інформаційної системи збору, диспетчеризації та обробки даних щодо використання радіотехнічних систем, а також задач підтримки рішень з конфігурування серверів у приватній хмарі та із складання й використання методик повірки пристроїв для електротехнічних і радіотехнічних вимірювань. Впровадження технологій показало, що використання темпоральних знань дає можливість в залежності від типу та кількості шилінг-атак підвищити від 5% до 23% точність виявлення аномального стану об'єкту управління на початкових стадіях, що створює умови для своєчасного прийняття рішень із коригування алгоритму роботи рекомендаційної системи. Підтримка конфігурування серверів у хмарі дозволила більш ніж на 30% скоротити час вирішення цієї задачі, що дає можливість підвищити ефективність обробки даних в таких системах. Підтримка рішень із складання та використання методик повірки пристроїв для електротехнічних та радіотехнічних вимірювань дала можливість на 12% скоротити витрати часу на повірку таких пристроїв.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] R. L. Trewatha and M. G. Newport, *Management*, 3rd ed. Plano, Tex: Business Publications, 1982.
- [2] R. L. Trewatha and M. G. Newport, *Management functions and behavior*. Dallas: Business Publications, 1998.
- [3] E. H. Frank and A. P. Monique, «The essence of management decision», *Management Decision*, vol. 38, no 7, pp. 462–470, 2000, doi: 10.1108/00251740010.
- [4] P. C. Nutt and D. C. Wilson, Eds., *Handbook of decision making*. Chichester, West Sussex, U.K. ; Hoboken, N.J: John Wiley, 2010.
- [5] C. Keen and H. Etemad, «Rapid growth and rapid internationalization: the case of smaller enterprises from Canada», *Management Decision*, vol. 50, no. 4, pp. 569–590, 2012, doi: 10.1108/00251741211220138.
- [6] M. Carpenter, T. Bauer, and B. Erdogan, *Principles of management*. Saylor Foundation, 2010. [Online] Available: <http://open.umn.edu/opentextbooks/BookDetail.aspx?bookId=34>. Accessed on: January 20, 2020.
- [7] Є. Бодянський, Є. Кучеренко, та О. Михальов, *Методи обчислювального інтелекту в системах керування технологічними процесами*. Дніпропетровськ, НМАУ, 2011.
- [8] C. Brandas, «Contributions to conception, design and development of decision support systems», PhD thesis, Dept. BIS, «Babeş – Bolyai» University, Cluj-Napoca, 2007.
- [9] Э. Г. Петров, *Управление устойчивым развитием предприятий*, ОЛДИ-Плюс. Херсон, 2009.
- [10] В. Р. Кігель, *Методи і моделі підтримки прийняття рішень у ринковій економіці*: Монографія. Київ: Центр учбової літератури, 2003.
- [11] В. М. Глушков, *Социально-экономическое управление в эпоху научно-технической революции*, К. : Ин-Т кибернетики. 1979.

- [12] Губаренко Е. В., Овезгельдыев А. О., и Петров Э. Г., *Модели и методы управления устойчивым развитием социально-экономических систем*. Херсон: Гринь, 2013.
- [13] J. McFarlane and R. Curran, «Business organizations the internal environment», in *Enterprise and its Business Environment*, 1st ed., N. Arshed, J. McFarlane, and R. MacIntosh, Eds. Goodfellow Publishers, 2016. doi: 10.23912/978-1-910158-78-4-2923.
- [14] В. Г. Тоценко, *Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект*. Київ: Наукова думка, 2002.
- [15] С. В. Юхимчик та А. О. Азарова, *Математичні моделі ризику для систем підтримки прийняття рішень*. Вінниця: УНІВЕРСУМ–Вінниця, 2003.
- [16] П. В. Шеметов, «Менеджмент: управление организационными системами», *Научный Вестник НЛТУ Украины*, т. 23, №. 14, с. 258–264, 2008.
- [17] M. Merkhofer, *Decision science and social risk management: A comparative evaluation of cost-benefit analysis, decision analysis, and other formal decision-aiding approaches*. Springer Netherlands, 1993.
- [18] В. М. Кунцевич, *Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации*. Киев: Наукова думка, 2006.
- [19] Петров Э. Г., *Методы и модели принятия решений в условиях многокритериальности и неопределенности*. Херсон: Гринь, 2014.
- [20] Крючковский В. В. и Петров Э. Г., *Введение в нормативную теорию принятия решений. Методы и модели*. Херсон: Гринь, 2013.
- [21] І. В. Рішняк, «Системний аналіз категорій ризику та невизначеності», *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, № 489, с. 263–275, 2003.
- [22] Т. О. Прокопенко, «Класифікація невизначеностей в управлінні організаційно технологічними об'єктами», *Технологический аудит и резервы производства*, т. 6, №. 4(20), с. 23– 25, 2014.

- [23] Геловани В.Л., Башлыков А.А., Бритков В.Б., Вязилов Е.Д., *Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в нештатных ситуациях с использованием информации о состоянии природной среды*. М. : Эдиториал УРСС, 2001.
- [24] В. М. Глушков, *О предсказаниях на основе экспертных оценок*. К. : АН УССР, Ин-т кибернетики, 1968.
- [25] H. A. Simon, *The new science of management decision*, 2nd изд. Englewood Cliffs (NJ): Prentice Hall, 1977.
- [26] T. K. Das and B. S. Teng, «Cognitive biases and strategic decision processes: An integrative perspective», *Journal of management studies*, vol. 36, no. 6, pp. 757–778, 1999.
- [27] G. P. Huber, «The nature of organizational decision making and the design of Decision Support Systems», *Management information systems quarterly*, vol. 5, no. 2, pp. 1-11, doi: 10.2307/249220.
- [28] V. H. Vroom и A. G. Jago, *The new leadership: Managing participation in organizations*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1988.
- [29] J. Pfeffer, *Power in Organizations*. Pitman Publishing, 1981.
- [30] J.-J. Vallbé, «Decisions and organizations», in *Frameworks for modeling cognition and decisions in institutional environments*, vol. 21, Dordrecht: Springer Netherlands, 2015, pp. 13–69. doi: 10.1007/978-94-017-9427-5_2.
- [31] R. Kreitner and A. Kinicki, *Organizational behavior*, 5th ed. Burr Ridge (IL): Irwin Mc- Graw Hill, 2001.
- [32] G. Calabretta, G. Gemser, and N. M. Wijnberg, «The interplay between intuition and rationality in strategic decision making: a paradox perspective», *Organization Studies*, vol. 38, no. 2, pp. 365–401, 2017, doi: 10.1177/0170840616655483.
- [33] R. W. Blanning, S. Ram, and R. Y. Wang, «Information technologies and systems», *Decision support systems*, vol. 13, no. 3–4, pp. 219–221, 1995, doi: 10.1016/0167-9236(93)E0043-D.

- [34] P. N. Johnson-Laird, *Mental Models*. Cambridge: Cambridge University Press, 1983.
- [35] J. F. Rockart and D. W. DeLong, *Executive support systems: the emergence of top management computer use*. Homewood, Ill: Dow Jones-Irwin, 1988.
- [36] R. H. Sprague and E. D. Carlson, *Building effective decision support systems*. Englewood Cliffs, N.J: Prentice-Hall, 1982.
- [37] H. Mintzberg, D. Raisinghani, and A. Theoret, «The structure of «Unstructured» decision processes», *Administrative science quarterly*, vol. 21, no. 2, pp. 246-248, 1976, doi: 10.2307/2392045.
- [38] М. Мизулин, Ю. Федулов, и А. Юсов, *Методы принятия управленческих решений*. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014.
- [39] М. Мизулин и Ю. Федулов, *Разработка управленческих решений*. М.: Параграф, 2013.
- [40] L. Boone and R. Kilmann, «The context of decision making in organizations: A factor analysis», *Advances in information processing in organization*, no. 4, pp. 147–160.
- [41] P. G. W. Keen and M. S. Scott Morton, *Decision support systems: an organizational perspective*. Reading, Mass: Addison-Wesley Pub. Co, 1978.
- [42] G. Klein, *Sources of power: how people make decisions*, 7th print. Cambridge, Mass.: MIT Press, 2001.
- [43] I. Linstone and H. Mitroff, *The unbounded mind. Breaking the Chains of Traditional Business Thinking*. New York: Oxford Univ.Press, 1993.
- [44] M. Gillespie и B. L. Peterson, «Helping novice nurses make effective clinical decisions: The situated clinical decision-making framework», *Nursing education perspectives*, vol. 30, no. 3, pp. 164–170, 2009.
- [45] Benner P, Tanner C, Chesla C, *Expertise in nursing practice: caring, clinical judgment, and ethics, second edition*, Springer Publishing: New York, 2009.
- [46] J. Harvey, *Effective decision making*. The chartered institute of management accountants. United Kingdom, London, 2008.

- [47] R. M. Haralick, «Decision Making in Context», *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence PAMI*, vol. 5, no. 4, pp. 417–428, 1983, doi: 10.1109/TPAMI.1983.4767411.
- [48] T. Bucknall, «The clinical landscape of critical care: nurses' decision-making: Clinical decision-making influences», *Journal of advanced nursing*, vol. 43, no. 3, pp. 310–319, 2003, doi: 10.1046/j.1365-2648.2003.02714.x.
- [49] Wade и Hlland, «Review: The Resource-Based View and Information Systems Research: Review, Extension, and Suggestions for Future Research», *MIS Quarterly*, vol. 28, no. 1, pp. 107-142, 2004, doi: 10.2307/25148626.
- [50] Н. Ф. Хайрова, и Н. В. Шаронова, *Автоматизированные информационные системы : задачи обработки информации*. Харьков: ХГУ «НУА», 2002.
- [51] Transaction management systems on z/OS. IBM Documentation, 2020, 2021. [Online]. Available: <https://prod.ibmdocs-production-dal-6099123ce774e592a519d7c33db8265e-0000.us-south.containers.appdomain.cloud/docs/en/zos-basic-skills?topic=zos-introduction-cics>. Accessed on: May. 18, 2020).
- [52] Product overview: Introducing oracle tuxedo. Oracle, 2020. [Online]. Available: https://docs.oracle.com/cd/E13161_01/tuxedo/docs10gr3/overview/overview.html. Accessed on: June. 18, 2020).
- [53] A. Berisha-Shaqiri, «Management Information System and Decision-Making», *Academic journal of interdisciplinary studies*, vol 3, no 2, pp. 19-23, 2014, doi: 10.5901/ajis.2014.v3n2p19.
- [54] E. Turban, *Decision support and expert systems : management support systems*. Englewood Cliffs, N.J. : Prentice Hall, 1995.
- [55] P. N. Finlay, *Introducing decision support systems*. Oxford, UK : Cambridge, Mass., USA: NCC Blackwell ; Blackwell Publishers, 1994.
- [56] Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, М.М. Козуля, « Формування знання-орієнтованого інформаційного забезпечення досліджень складних

- систем», *Системні дослідження та інформаційні технології*, №. 7, с. 63–72, 2017, <https://doi.org/10.20535/SRIT.2308-8893.2017.3.07>.
- [57] M. Druzdzel and R. Flynn, *Decision support systems*. New York: Marcel Dekker, Inc., 2002.
- [58] О. П. Гожий, «Побудова СППР на основі методів багатоцільового прийняття рішень», *Вісник національного університету «Львівська політехніка»*, №. 715, с. 97–104, 2011.
- [59] О. П. Гожий, О.О. Маленовський, «Аналіз ефективності багатокритеріальних генетичних алгоритмів в задачах прийняття рішень», *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*, № 732. с. 247-260, 2012.
- [60] I. Shostak, I. Matyushenko, Y. Romanenkov, M. Danova, and Y. Kuznetsova, «Computer support for decision-making on defining the strategy of green it development at the state level» in *Green IT engineering: social, business and industrial applications*, no. 171, V. Kharchenko, Y. Kondratenko, and J. Kacprzyk, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 533–559. doi: 10.1007/978-3-030-00253-4_23.
- [61] И. В. Шостак, «Инструментальная среда создания мультиагентной экспертной системы поддержки принятия решений на виртуальном производственном предприятии», *Системи управління навігації та зв'язку*, т. 45, №. 5, с. 119–123, 2017.
- [62] О.Г. Аврунін, Є.В. Бодянський, В.В. Семенець, В.О Філатов, Н.О. Шушляпіна, *Інформаційні технології підтримки прийняття рішень при визначенні порушень носового дихання*. Харків : ХНУРЕ, 2018.
- [63] В.А. Филатов, С.С. Танянский, Л.А. Пономаренко, «Минимизация вычислительных затрат при доступе к данным в распределенных экономических системах поддержки принятия решений», *Управляющие системы и машины*, т. 3, с. 74–80, 2014.
- [64] M. Bohanec, «What is decision support?», in Proc. *Information Society IS-2001: Data mining and decision support in action*, 2001, pp. 86–89.

- [65] D. J. Power, *Decision support systems: concepts and resources for managers*. Westport, Conn: Quorum Books, 2002.
- [66] E. Turban and J. Aronson, *Decision support systems and intelligent systems*. Upper Saddle River, NJ : Prentice Hall, 2001.
- [67] F. Burstein and C. W. Holsapple, *Handbook on Decision Support Systems*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008. doi: 10.1007/978-3-540-48713-5.
- [68] T. Kanicliides and C. Kimble, *Executive information systems: A framework for their development and use*. University of York, 1994.
- [69] I. Linden, J. Papathanasiou, and N. Ploskas, *real-world decision support systems: case studies*. Springer International Publishing : Imprint: Springer, 2016. doi: 10.1007/978-3-319-43916-7.
- [70] И. Б. Сироджа, *Квантовые модели и методы искусственного интеллекта для принятия решений и управления*. Наук Думка, 2002.
- [71] И.Б. Сироджа и Т.Ю. Петренко, *Метод разноуровневых алгоритмических квантов знаний для принятия производственных решений при недостатке или нечёткости данных*. Наук Думка, 2000.
- [72] И.Б. Сироджа и И.А. Верещак, «Модели и методы инженерии квантов знаний для принятия решений в системах искусственного интеллекта», *Системы обробки інформації*, т. 8, №. 57, с. 63–81, 2006.
- [73] S. Liu and P. Zaraté, «Knowledge Based Decision Support Systems: A Survey on Technologies and Application Domains», in *Group Decision and Negotiation. A Process-Oriented View*, no. 180, Cham: Springer International Publishing, 2014, pp. 62–72. doi: 10.1007/978-3-319-07179-4_7.
- [74] R. Maier, *Knowledge management systems: Information and communication technologies for knowledge management*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007. 10.1007/978-3-540-71408-8.
- [75] M. Polanyi, *Personal knowledge: towards a post-critical philosophy*. University of Chicago Press, 2015.
- [76] Д. А. Поспелов, «Инженерия знаний», *Наука и жизнь*, №. 6, с. 11-17, 1987.

- [77] T. H. Davenport и L. Prusak, *Working knowledge: How organizations manage what they know*. Boston, MA: Harvard business school press, 2000.
- [78] H. Uehara, T. Yamaguchi, and Q. Bai, Knowledge management and acquisition for intelligent systems in *17th Pacific rim knowledge acquisition workshop, PKAW 2020*, Yokohama, Japan, 2021. Cham: Springer.
- [79] J. R. Wilson and S. Sharples, *Evaluation of human work*, Fourth edition. Boca Raton, FL: CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015.
- [80] R. L. Ackoff, *Re-creating the corporation: a design of organizations for the 21st century*. Oxford University Press, 1999.
- [81] N. R. Milton, *Knowledge acquisition in practice: a step-by-step guide*. London: Springer, 2007.
- [82] G. M. Marakas, *Decision support systems in the twenty-first century*. Upper Saddle River, N.J: Prentice Hall, 2003.
- [83] R. J. Thierauf, *Executive information systems: a guide for senior management and MIS professionals*. New York: Quorum Books, 1991.
- [84] F. Bergeron, L. Raymond, S. Rivard, and M.-F. Gara, «Determinants of EIS use: Testing a behavioral model», *Decision support systems*, vol. 14, no. 2, pp. 131–146, 1995, doi: 10.1016/0167-9236(94)00007-F.
- [85] Risk Management Software: Allovance. Capterra, 2020. [Online]. Available: <https://www.capterra.com/p/172892/Allovance/#reviews>. Accessed on: February 19, 2020.
- [86] Riskturn is a web application for financial planning able to integrate uncertainties and measure their impact on economics. Riskturn, 2020. [Online]. Available: <https://www.riskturn.com/> Accessed on: February 22, 2020.
- [87] Продукты по аналитике данных и интеграции данных. Qlik, 2020. [Online]. Available: <https://www.qlik.com/ru-ru/> Accessed on: February 22, 2020.
- [88] F. M. Suchanek, J. Lajus, A. Boschin, and G. Weikum, «Knowledge representation and rule mining in entity-centric knowledge bases», in *Reasoning Web. Explainable Artificial Intelligence*, no. 11810, M. Krötzsch

- and D. Stepanova, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2019, pp. 110–152. doi: 10.1007/978-3-030-31423-1_4.
- [89] R.K. Bali, N. Wickramasinghe, and B. Lehaney, *Knowledge management primer*. New York: Routledge, 2009.
- [90] P. R. Gamble and J. Blackwell, *Knowledge management: A state of the art guide*. Kogan Page Ltd, 2001.
- [91] J. Lankow, J. Ritchie, and R. Crooks, *Infographics: the power of visual storytelling*. Hoboken, N.J: Wiley, 2012.
- [92] I. Nonaka, G. von Krogh, and S. Voelpel, «Organizational knowledge creation theory: evolutionary paths and future advances», *Organization studies*, vol. 27, no. 8, pp. 1179–1208, 2006, doi: 10.1177/01708406060666312.
- [93] I. Nonaka and H. Takeuchi, *The knowledge-creating company: how Japanese companies create the dynamics of innovation*. New York: Oxford University Press, 1995.
- [94] E. D. Valle and S. Ceri, «Querying the Semantic Web: SPARQL», in *Handbook of semantic Web technologies*, J. Domingue, D. Fensel, and J. A. Hendler, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2011, pp. 299–363. doi: 10.1007/978-3-540-92913-0_8.
- [95] J. L. Wellman, *Organizational Learning*. New York: Palgrave Macmillan US, 2009. doi: 10.1057/9780230621541.
- [96] J. Badaracco, *The knowledge link: how firms compete through strategic alliances*. Boston, Mass: Harvard Business School Press, 1991.
- [97] A. Lam, «Embedded Firms, Embedded Knowledge: Problems of Collaboration and Knowledge Transfer in Global Cooperative Ventures», *Organization studies*, vol. 18, no. 6, pp. 973–996, 1997, doi: 10.1177/017084069701800604.
- [98] P. R. Gamble and J. Blackwell, *Knowledge management: a state of the art guide; models & tools, strategy, intellectual capital, planning, learning, culture, processes*. London: Kogan Page, 2001.

- [99] D. Sole и A. Edmondson, «Situated Knowledge and Learning in Dispersed Teams», *Br. J. Manag.*, vol. 13, no. S2, pp. 17–34, 2002, doi: 10.1111/1467-8551.13.s2.3.
- [100] А. Барсегян, М. Куприянов, И. Холод, М. Тесс, и С. Елизаров, *Анализ данных и процессов*. СПб.: БХВ-Петербург, 2009.
- [101] A. Botha, D. Kourie, and R. Snyman, *Coping with continuous change in the business environment: knowledge management and knowledge management technology*. Burlington: Elsevier Science, 2014.
- [102] E. Abou-Zeid, «A knowledge management reference model», *Journal of knowledge management*, vol. 6, no. 5, pp. 486–499, 2002, doi: 10.1108/13673270210450432.
- [103] J. C. Giarratano and G. Riley, *Expert systems: principles and programming*, 4. ed., Boston, Mass: Thomson Course Technology, 2006.
- [104] I. Gupta and G. Nagpal, *Artificial intelligence and expert systems*. Duxbury: Mercury Learning and Information, 2020.
- [105] Д. Джарратано и Г. Райли, *Экспертные системы: Принципы разработки и программирование*, Вильямс, 2007.
- [106] S. Wang and D. Liu, «Knowledge representation and reasoning for qualitative spatial change», *Knowledge-Based Systems*, vol. 30, pp. 161–171 2012, doi: 10.1016/j.knosys.2012.01.009.
- [107] I. Hatzilygeroudis and J. Prentzas, «Knowledge representation requirements for intelligent tutoring systems», in *ITS 2004. International Conference on Intelligent Tutoring Systems*. Berlin, Heidelberg, 2004, vol. 3220, pp. 87–97.
- [108] Н. Ф. Хайрова и Н. В. Шаронова, *Информационно-лингвистические технологии экстракции и идентификации глубинных знаний в текстах*. Харьков: ФЛП Коряк С.Ф., 2016.
- [109] О. В. Канищева и Н. В. Шаронова, *Лингвотехнологии идентификации знаний в информационных системах*. Saarbrücken, Deutschland: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013.

- [110] Н. В. Шаронова, и В. И. Булкин, *Математические модели знаний и их реализация с помощью алгебропредикатных структур*. Донецк: Макеевский экономико-гуманитарный институт, 2010.
- [111] Ю. П. Шабанов-Кушнаренко, «Об алгебре конечных предикатов произвольного порядка», *АСУ и приборы автоматизации*, №. 44, с. 3–10, 1983.
- [112] Ю. П. Шабанов-Кушнаренко, «Реляционные алгебры и алгебры предикатов», *Восточно-европейский журнал передовых технологий*, т. 4, №. 28, с. 43–48, 2007.
- [113] S. Katalnikova and L. Novickis, «Choice of Knowledge Representation Model for Development of Knowledge Base: Possible Solutions», *International journal of advanced computer science and applications (IJACSA)*, vol. 9, no. 2, 2018, doi: 10.14569/IJACSA.2018.090249.
- [114] C. Ramirez and B. Valdes, «A general knowledge representation model of concepts», *Advances in Knowledge Representation*, C. Ramirez, Eds. InTechOpen, 2012. doi: 10.5772/37113.
- [115] М. Ф. Бондаренко и Ю. П. Шабанов-Кушнаренко, «Об алгебре конечных предикатов», *Бионика интеллекта*, т. 3, №. 77, с. 3–13, 2011.
- [116] P. Blackburn, M. de Rijke, and Y. Venema, *Modal logic*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 2010.
- [117] H. Wansing, «Review: Review of Modal Logic», *Logic journal of the IGPL*, vol. 10, no. 4, pp. 457–458, 2002. doi: 10.1093/jigpal/10.4.457.
- [118] S. N. Shahbazova, M. Sugeno, J. Kacprzyk, and L. A. Zadeh, Ed., *Recent developments in fuzzy logic and fuzzy sets*. Cham, Switzerland: Springer, 2020.
- [119] I. Hatzilygeroudis и J. Prentzas, «Knowledge representation requirements for intelligent tutoring systems», in *Intelligent tutoring systems*, vol. 3220, J. C. Lester, R. M. Vicari, and F. Paraguaçu, Ed. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2004, pp. 87–97. doi: 10.1007/978-3-540-30139-4_9.
- [120] А. Каргин, Введение в интеллектуальные машины. *Книга 1. Интеллектуальные регуляторы*, Норд-Пресс, Донецк, 2010.

- [121] D. Klahr, P. Langley, and R. Neches, Ed., *Production system models of learning and development*. Cambridge, Mass: MIT Press, 1987.
- [122] S. J. Russell and P. Norvig, *Artificial intelligence: a modern approach*. 4th ed. Hoboken: Pearson, 2021.
- [123] G. F. Luger, *Artificial intelligence: structures and strategies for complex problem solving*, 4th ed. Harlow, England ; New York: Pearson Education, 2002.
- [124] B. Sun, L. Xu, X. Pei, and H. Li, «Scenario-based knowledge representation in case-based reasoning systems», *Expert Syst.*, vol. 20, no. 2, pp. 92–99, 2003, doi: 10.1111/1468-0394.00230.
- [125] А. П. Гожий, «Основные аспекты применения информационных технологий в задачах сценарного планирования», *Наукові праці ЧДУ ім. Петра Могили*, т. 160, №. 148, с. 158–167.
- [126] J. Martinez-Gil, «Automated knowledge base management: A survey», *Computer Science Review*, no 18, pp. 1-22, 2015. doi: 10.1016/j.cosrev.2015.09.001.
- [127] Q. Wang, Z. Mao, B. Wang, and L. Guo, «Knowledge Graph Embedding: A Survey of Approaches and Applications», in *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*, vol. 29, no. 12, pp. 2724–2743, 2017, doi: 10.1109/TKDE.2017.2754499.
- [128] R. Balzer, «Automated enhancement of knowledge representations», in *IJCAI'85: Proceedings of the 9th international joint conference on Artificial intelligence*, no. 1, pp. 203–207, 1985.
- [129] M. Lauruhn and P. Groth, «Sources of change for modern knowledge organization systems», *Knowledge organization*, vol. 43, no. 8, pp. 622–629, 2016, doi: 10.5771/0943-7444-2016-8-622.
- [130] A. Felfernig and F. Wotawa, «Intelligent engineering techniques for knowledge bases», *Ai Communications*, vol. 26, no. 1, pp. 1–2, 2013, doi: 10.3233/AIC-2012-0541.

- [131] J. de Bruijn, D. Pearce, A. Polleres, and A. Valverde, «A semantical framework for hybrid knowledge bases», *Knowledge and information systems*, vol. 25, no. 1, pp. 81–104, окт. 2010, doi: 10.1007/s10115-010-0294-z.
- [132] J. Shin, S. Wu, F. Wang, C. De Sa, C. Zhang, and C. Ré, «Incremental knowledge base construction using DeepDive», in *Proceedings of the VLDB Endowment*, vol. 8, no. 11, pp. 1310–1321, 2015, doi: 10.14778/2809974.2809991.
- [133] C. Zhang et al., «DeepDive: declarative knowledge base construction», in *Communications of the ACM*, vol. 60, no. 5, pp. 93–102, 2017, doi: 10.1145/3060586.
- [134] A. Ballatore, M. Bertolotto, and D. C. Wilson, «Geographic knowledge extraction and semantic similarity in OpenStreetMap», *Knowledge and information systems*, vol. 37, no. 1, pp. 61–81, 2013, doi: 10.1007/s10115-012-0571-0.
- [135] J. Unbehauen, S. Hellmann, S. Auer, and C. Stadler, Knowledge extraction from structured sources, 2012 [Online]. Available: https://svn.aksw.org/papers/2012/SearchComputing_KnowledgeExtraction/public.pdf. Accessed on: May 19, 2019.
- [136] J. D. Ullman, *Principles of database and knowledge-base systems*. Rockville, Md: Computer Science Press, 1988.
- [137] V. Filatov, V. Semenets, and O. Zolotukhin, «Synthesis of semantic model of subject area at integration of relational databases», in *2019 IEEE 8th International Conference on Advanced Optoelectronics and Lasers (CAOL)*, Sozopol, Bulgaria, 2019, pp. 598–601. doi: 10.1109/CAOL46282.2019.9019532.
- [138] O. Deshpande et al., «Building, maintaining, and using knowledge bases: a report from the trenches», in *Proceedings of the 2013 international conference on Management of data - SIGMOD '13*, New York, New York, USA, 2013, pp. 1209-1215. doi: 10.1145/2463676.2465297.

- [139] J. Leskovec and H. Lakkaraju, «Confusions over time: an interpretable Bayesian model to characterize trends in decision making», in *NIPS'16: Proceedings of the 30th International conference on neural information processing systems*, 2016, pp. 3269–3277.
- [140] H. Paulheim, «Knowledge graph refinement: A survey of approaches and evaluation methods», *Semantic Web journal*, pp. 1–23, 2016.
- [141] I. Lopatovska and H. Williams, «Personification of the Amazon Alexa: BFF or a Mindless Companion», in *Proceedings of the 2018 conference on human information Interaction & Retrieval - CHIIR '18*, New Brunswick, NJ, USA, 2018, pp. 265–268. doi: 10.1145/3176349.3176868.
- [142] W. L. Hamilton, P. Bajaj, M. Zitnik, D. Jurafsky, and J. Leskovec, «Embedding logical queries on knowledge graphs», in *Proceedings of the «Advances in neural information processing systems» (NIPS 2018)*, 2018, pp. 2030–2041.
- [143] A. Doan, «Community information management», in *Proceedings IEEE Data Eng. Bull.*, 2006, vol. 29, no 1, pp. 64-72.
- [144] M. Ley, «DBLP: Some lessons learned», *Proceedings of the VLDB Endowment*, 2009, vol. 2, no. 2, pp. 1493–1500. doi: <https://doi.org/10.14778/1687553.1687577>.
- [145] W. Badke, «Google Scholar and the researcher», *Online West. CT*, vol. 33, no. 3, pp. 47–49, 2009.
- [146] V. Wilson, «A Content analysis of Google scholar: Coverage varies by discipline and by database», *Evidence based library and information practice*, vol. 2, no. 1, pp. 134–136, 2007. doi: <https://doi.org/10.18438/B8DW26>
- [147] D. Winder, «The struggle for scholarly search», *Information world review*, vol. 24, no. 4, pp. 10-11, 2008.
- [148] M. E. Falagas, E. I. Pitsouni, G. A. Malietzis, and G. Pappas, «Comparison of PubMed, Scopus, Web of Science, and Google Scholar: strengths and weaknesses», *FASEB Journal*, no. 22, pp. 338–342, 2008. doi: <https://doi.org/10.1096/fj.07-9492LSF>

- [149] С. Д. Бушуєв, А. О. Білощицький, и В. Д. Гогунський, «Наукометричні бази: характеристика можливості і завдання», *Управління розвитком складних систем*, №. 18, с. 145–152, 2014.
- [150] A. Schindler and A. Rauber, «Capturing the temporal domain in echonest features for improved classification effectiveness», in *Proceedings of the conference «International workshop on adaptive multimedia retrieval»*, 2014, pp. 1-15. doi: 10.1007/978-3-319-12093-5_13.
- [151] C. Bizer, J. Lehmannb, and G. Kobilarova, «DBpedia-A crystallization point for the Web of Data», *Journal of Web semantics*. Elsevier, vol. 7, no. 3, pp. 154–165, 2009.
- [152] F. M. Suchanek, «Yago: A core of semantic knowledge», in *Proceedings of the 16th International Conference on World Wide Web*, 2007, pp. 697–706.
- [153] J. Hoffart, F. Suchanek, K. Berberich, and G. Weikum, «YAGO2: A Spatially and Temporally Enhanced Knowledge Base from Wikipedia». *Artificial Intelligence*, no 194, pp. 20-61 2012. doi: 10.1016/j.artint.2012.06.001
- [154] B. Nicholson and S. Sahay, «Embedded knowledge and offshore software development», *Information and organization*, no. 14, pp. 329–365, 2004.
- [155] A. Felfernig and F. Wotawa, «Intelligent engineering techniques for knowledge bases», *AI Communications*, vol. 26, no. 1, pp. 1–2, 2013.
- [156] M. Bonifacio, T. Franz, and S. Staab, «A four-layer model for information technology support of knowledge management», in *Knowledge Management: An Evolutionary View of the Field*, New York: Routledge, 2014.
- [157] P. Domingos, «Learning, logic, and probability: A unified view», in *Lecture notes in computer science*, J.S. Sichman, C. H. Coelho, and S.O. Rezende, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer, 2006. DOI: 10.1007/978-3-540-36668-3_1
- [158] P. Domingos, D. Lowd, S.Kok, H. Poon, M. Richardson, P. Singla «Just add weights: Markov logic for the semantic Web», in *International workshop on uncertainty reasoning for the semantic Web*, vol. 5327. Berlin Heidelberg: Springer, 2008, pp. 1-25. doi: 10.1007/978-3-540-89765-1_1

- [159] D. Lowd and P. Domingos, «Efficient weight learning for Markov logic networks», in *Proceedings 11th European conference on principles and practice of knowledge discovery in databases*, 2007. doi: 10.1007/978-3-540-74976-9_21.
- [160] G. Zholtkevych and M. Labzhaniia, «Coalgebraic approach to studying discrete systems with output: the general and distributed cases», in *Information and communication technologies in education, research, and industrial applications*, vol. 1308, A. Bollin, V. Ermolayev, H. C. Mayr, M. Nikitchenko, A. Spivakovsky, M. Tkachuk, V. Yakovyna, and G. Zholtkevych, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2021, pp. 141–165. doi: 10.1007/978-3-030-77592-6_7.
- [161] K. Bhattacharya, N. S. Caswell, S. Kumaran, A. Nigam, and F. Y. Wu, «Artifact-centered operational modeling: Lessons from customer engagements», *IBM Systems Journal*, vol. 46, no. 4, pp. 703–721, 2007.
- [162] A. Nigam and N. S. Caswell, «Business artifacts: An approach to operational specification», *IBM Systems Journal*, vol. 42, no. 3, pp. 428–445, 2003.
- [163] R. Eshuis and P. Van Gorp, «Synthesizing object life cycles from business process models», *Conceptual modeling*. Springer, pp. 307–320, 2012.
- [164] Е. Ю. Кандрашина, Л. В. Литвинцева, и Д. А. Поспелов, *Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах*. М: Наука, 1989.
- [165] J. F. Allen, «Maintaining knowledge about temporal intervals», *Communications of the ACM*, vol. 26, no. 11, pp. 832–843, 1983. doi: <https://doi.org/10.1145/182.358434>.
- [166] J. F. Roddick and M. Spiliopoulou, «A survey of temporal knowledge discovery paradigms and methods», *IEEE transactions on knowledge and data*, vol. 14, no. 4, pp. 750–767, 2002.
- [167] M. B. Vilain, «A system for reasoning about time», *Proceedings of the National Conference on Artificial Intelligence*. Pittsburgh, PA, pp. 197–201, 1982.

- [168] G. Zholtkevych, H. Khalil, E. Zein, and L. Polyakova, «Category Methods for Analysis of Two Approaches to Modelling Logical Time Based on Concept of Clocks», in *Proceedings of the 14th International Conference, ICTERI*, 2018, doi: 10.1007/978-3-030-13929-2_5.
- [169] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, «Модель иерархического представления времени в темпоральных знаниях», *Научно-технический журнал «Бионика интеллекта»*, № 2(85), с. 31–34, 2015.
- [170] В. М. Левыкин и О. В. Чала, «Оцінювання часових характеристик подій дискретних процесів у відповідності до концепції GUM», *Науково-виробничий журнал «Метрологія та прилади»*, №. 6, с. 19–23, 2015.
- [171] О. В. Чалая, «Контекстно-ориентированный подход к моделированию бизнес-процессов», *Научно-технический журнал «Бионика интеллекта»*, № 1(86), с. 68–71, 2016.
- [172] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, «Компонентная модель представления знаний о бизнес-процессе», *Системы обработки информации*, № 9(146), с. 182–186, 2016.
- [173] В. М. Левыкин и О. В. Чала, «Розробка моделі багатоваріантного знання-ємного бізнес-процесу», *Вісник херсонського національного технічного університету*, № 4 (59), с. 195–202, 2016.
- [174] О. В. Чалая, «Метод обобщения представления знание-емкого бизнес-процесса», *Научно-технический журнал «Бионика интеллекта»*, №2(87), с. 101–105, 2016.
- [175] О. В. Чала, «Еволюційний підхід до управління життєвим циклом знання-ємних бізнес-процесів», *Науковий журнал «Наукоємні технології»*, № 1(33), с. 53–59, 2017.
- [176] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, «Модель жизненного цикла знание-емкого бизнес-процесса», *Международный журнал «Управляющие системы и машины»*, №. 1, с. 68–76, 85, 2017.

- [177] В. М. Левикін и О. В. Чала, «Концепція автоматизованої побудови бази знань у системі процесного управління», *Науково-технічний журнал «Біоніка інтелекту»*, №. 2(89), с. 77–83, 2017.
- [178] О.В. Чала, «Принципи автоматизованої побудови та використання темпоральної бази знань», *Системи управління навігації та зв'язку*, №6(52), с. 122–125, 2018.
- [179] В. М. Левикін та О.В. Чала «Знання-орієнтована структуризація управлінського рішення в системах підтримки прийняття рішень», на *III Міжнар. наук.-техн. конф. Комп'ютерні та інформаційні системи і технології*. Харків: ХНУРЕ, 2019. С. 111.
- [180] В. М. Левикін и О. В. Чала, «Підтримка прийняття рішень в інформаційно-управляючих системах з використанням темпоральної бази знань», *Науково-технічний журнал «Сучасні інформаційні системи»*, № 2(4), с. 101–107, 2018.
- [181] В. М. Левикін и О. В. Чала, «Підтримка управління складеним об'єктом в ІУС з використанням темпоральних залежностей», *Науково-технічний журнал «Біоніка інтелекту»*, №1(90), с. 110–115, 2018.
- [182] В. М. Левикін и О. В. Чала, «Метод підтримки управлінських рішень в умовах невизначеності на основі темпоральних знань», *Науково-технічний журнал «Біоніка інтелекту»*, №2(91), с. 54–59, 2018.
- [183] О. В. Чалая, «Моделирование процесса трансформации неформализованных знаний», на *XX Міжнародному конгресі двигунобудівників*, Харків: Нац. Аерокосмічний ун-т ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», 2015, с. 96.
- [184] О. В. Чала, Оцінювання темпорального аспекту дискретного процесу згідно концепції GUM, на *X Міжнар. наук.-техн. конф. Метрологія та вимірвальна техніка (MVT-2016)*, 2016, с. 26.
- [185] V. Levykin and O. Chala, «Algebraic Approach to the Description of Temporal Knowledge in Decision Support Tasks», *Proceeding in IV*

International. scient.- techn. confer. Computer and information systems and technologies, Kharkiv: KNURE, 2020, pp.74-75.

- [186] О. В. Чалая, «Пополнение базы знаний ИУС с использованием методов анали за логов» на *V Міжнародній науково-практичній конференції «Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні '2017*, 2017, с. 126-127.
- [187] V. M. Levykin and O. V. Chala, «Automated knowledge base construction using process logs», in *XIII International scient.- pract. confer. Scientific progress news*, 2017, pp. 26-28.
- [188] В. М. Левикін та О. В. Чала, «Автоматизована побудова баз знань для вирішення метрологічних задач», на *Міжнар. наук.-техн. конф. Метрологія, інформаційно-вимірвальні технології та системи (МІВТС-2017)*, 2017, с. 87-88.
- [189] О. В. Чала, «Побудова подієвої складової бази знань в рамках системи управління підприємством», на *V Всеукр. наук.-практ. конф. Інформаційні технології 2018 (ІТ-2018)*, 2018, с. 143-145.
- [190] О. В. Чала, «Визначення інтегральної оцінки відхилень траєкторій у журналі подій в інформаційних системах процесного управління», на *I Міжнар. наук.-практ. конф. ІТ-професіоналів та аналітиків комп'ютерних систем ProfIT Conference*, Харків, с. 26, 2018.
- [191] В. М. Левикін та О. В. Чала, Моделювання причинно-наслідкових зв'язків між подіями логу бізнес-процесу в задачах автоматизованої побудови баз знань. *VII Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ 2021)*, 2018, с.141-142.
- [192] J. Han, W. Gong, and Y. Yin, «Mining segment-wise periodic patterns in time-related databases», *Proc Fourth Intl Conf Knowl. Discov. Data Min.*, pp. 214-218, 1998.
- [193] A. U. Tansel, J. Clifford, and S. Gadia, *Temporal databases: Theory design and implementation*. Benjamin/Cummings, Redwood City, CA, 1993.

- [194] C. Zaniolo, *Advanced database systems*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 1997.
- [195] C. Freksa, «Temporal reasoning based on semi-intervals», *Artificial Intelligence*, vol. 54, no 1-2, pp. 199–227, 1992.
- [196] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, «Модель многоуровневого представления темпоральных знаний в задачах интеллектуального анализа процессов», *Вісник Академії митної служби України: Технічні науки*, №. 1, с. 5–12, 2015.
- [197] N. Gronau, «*Modeling and analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice*», GITO mbH, 2012.
- [198] N. Gronau and C. Maasdorp, «*Modeling of organizational knowledge and information: analyzing knowledge-intensive business processes with KMDL*», Berlin: GITO, 2016.
- [199] E. Platanios, H. Poon, T. M. Mitchell, and E. Horvitz, «Estimating accuracy from unlabeled data: a probabilistic logic approach», in *31st conference on neural information processing systems (NIPS 2017)*, Long Beach, CA, USA. 2017, pp. 4364–4373.
- [200] T. Miller, «Explanation in artificial intelligence: Insights from the social sciences», *Artificial intelligence*, vol. 267, pp. 1–38, 2019, doi: 10.1016/j.artint.2018.07.007.
- [201] F. Eberhardt, «Introduction to the foundations of causal discovery», *International journal of data science and analytics*, vol. 3, no. 2, pp. 81–91, 2017, doi: 10.1007/s41060-016-0038-6.
- [202] L. Glynn, «A probabilistic analysis of causation», *The British journal for the philosophy of science*, vol. 62, no. 2, pp. 343–392, 2011, 10.2307/41241854.
- [203] P. Menzies and H. Price, «Causation as a Secondary Quality», *The British journal for the philosophy of science*, vol. 44, no. 2, pp. 187–203, 1993, doi: 10.1093/bjps/44.2.187.

- [204] P. S. Tolbert and R. H. Hall, *Organizations: structures, processes, and outcomes*, 10th ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson/Prentice Hall, 2009.
- [205] D. Tam, N. Monath, A. McCallum, and A. Kobren, «Predicting institution hierarchies with set-based models» in *Automated knowledge base construction (2020)*, 2020, pp. 1120–1133.
- [206] M. Bidoit and R. Hennicker, «An algebraic semantics for contract-based software components», in *Algebraic methodology and software technology*, vol. 5140, J. Meseguer and G. Roşu, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 216–231. doi: 10.1007/978-3-540-79980-1_17.
- [207] K. Stenzel, H. Grandy, and W. Reif, «Verification of Java Programs with Generics», in *Algebraic methodology and software technology*, vol. 5140, J. Meseguer and G. Roşu, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 315–329. doi: 10.1007/978-3-540-79980-1_24.
- [208] R. Bruni and L. G. Mezzina, «Types and Deadlock Freedom in a Calculus of Services, Sessions and Pipelines», in *Algebraic methodology and software technology*, vol. 5140, J. Meseguer and G. Roşu, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2008, pp. 100–115. doi: 10.1007/978-3-540-79980-1_8.
- [209] А. Л. Яловец, *Представление и обработка знаний с точки зрения математического моделирования*. Киев: Наукова думка, 2011.
- [210] С. Д. Махортов, «LP-структуры на решетках типов и некоторые задачи рефакторинга», *Программирование*, т. 35, №. 7, с. 5–14, 2009.
- [211] С. Д. Махортов и С. Л. Подвальный, «Алгебраический подход к исследованию и оптимизации баз знаний продукционного типа», *Информационные технологии*, №. 8, с. 55–60, 2008.
- [212] R. V. Doorenbos, Production matching for large learning systems. Dissert. Eng, Carnegie Mellon University, 1995.
- [213] E. M. Clarke, O. Grumberg, and D. A. Peled, *Model checking*. Cambridge, Mass: MIT Press, 1999.

- [214] A. Ratner, C. Ré, and P. Bailis, «Research for practice: knowledge base construction in the machine-learning era», *Commun. ACM*, vol. 61, no. 11, pp. 95–97, 2018, doi: 10.1145/3233243.
- [215] S. Wu et al., «Fonduer: Knowledge Base Construction from Richly Formatted Data», in *Proceedings of the 2018 International Conference on Management of Data*, Houston TX USA, 2018, pp. 1301–1316. doi: 10.1145/3183713.3183729.
- [216] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, «Модель знание-емкого бизнес-процесса для задач интеллектуального анализа процессов», *Міжнародний науковий журнал Управляючі системи та машини*, № 6, с. 59–66, 2016.
- [217] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, «Иерархическая модель контекста знание-емкого бизнес-процесса», *Вісник національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут»*, т. 37, №. 1209, с. 43–47, 2016.
- [218] В. М. Левикін та О. В. Чала, «Оцінювання характеристик інформаційних об'єктів на прикладі елементів знання-ємних бізнес-процесів», *Науково-виробничий журнал «Метрологія та прилади»*, т. 6, №. 62, с. 48–53, 2016.
- [219] О. Чала и В. Левикін, «Модели шаблонов поведения объектов контекста знание-емкого бизнес-процесса», *Вісник кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, т. 5, №. 100, с. 26–31, 2016.
- [220] О. В. Чалая, «Модель неявных реляционных зависимостей в знание-емких бизнес-процессах», *Науковий журнал «Проблеми інформаційних технологій»*, т. 2, №020, с. 111–118, 2016.
- [221] О. В. Чала, «Формалізація неявних процедурних залежностей в знання-ємних бізнес-процесах», *Наукові праці вінницького національного технічного університету*, т. 4, с. 43–47, 2016.
- [222] В. М. Левикін та О. В. Чала, «Модель бази знань інформаційної системи процесного управління», *Вісник Національного технічного університету*

«Харківський політехнічний інститут»: Системний аналіз, управління та інформаційні технології, т. 28, №. 1250, с. 74-78 2017.

- [223] O. Chala, «Logical-probabilistic representation of casual dependencies between events in business-process management», *Advanced information systems*, vol. 2, no. 2, pp. 40–44, 2018.
- [224] В. М. Левикін и О. В. Чала, «Розробка представлення причинно-наслідкових залежностей для бази знань системи процесного управління», *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*, т. 21, № 1297. с. 48-53. 2018.
- [225] О. В. Чала, Розробка представлення знань на основі марківських логічних мереж в системі процесного управління, *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*, № 22(1298), с. 22-26, 2018.
- [226] O. Chala, «Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base», *Econtechmod*, vol. 7, no. 3, pp. 53–58, 2018.
- [227] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, «Использование контекста при выделении неявного процедурного знания», на *VI Міжнар. наук.-техн. конф. Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління*. 2016, с. 35.
- [228] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, «Структуризация неявной составляющей контекста бизнес-процесса», на *V Міжнар. наук.-практ. конф. «Інформаційні управляючі системи та технології*, 2016, с. 185-186.
- [229] В. М. Левикін та О. В. Чала, «Контекстні обмеження в базі знань інформаційної системи процесного управління» на *II Міжнар. наук.-техн. конф. «Комп'ютерні та інформаційні системи і технології*», 2018, с. 108.
- [230] Чала О.В, «Модель узагальненого представлення темпоральних знань для задач підтримки управлінських рішень», *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Системний аналіз, управління та*

інформаційні технології, 2020, № 1(3), с. 14–18, doi: 10.20998/2079-0023.2020.01.03.

- [231] О. В. Чала, Объектно-ориентированный подход к моделированию бизнес-процессов на I Міжнар. наук.-техн. конф. «Полиграфические, мультимедийные и web-технологии», Харків: ХНУРЕ, 2016. с. 75-76.
- [232] R. Das, A. Godbole, N. Monath, M. Zaheer, and A. McCallum, «Probabilistic case-based reasoning for open-world knowledge graph completion», in *Findings of the association for computational linguistics: EMNLP 2020*, 2020, pp. 4752–4765. doi: 10.18653/v1/2020.findings-emnlp.427.
- [233] M. Richardson and P. Domingos, «Markov logic networks», *Machine learning*, vol. 62, no. 1–2, pp. 107–136, 2006.
- [234] S. Jiang, D. Lowd, and D. Dou, «Learning to Refine an Automatically Extracted Knowledge Base Using Markov Logic», in *IEEE 12th International conference on Data Mining*, Brussels, Belgium, 2012, pp. 912–917. doi: 10.1109/ICDM.2012.156.
- [235] V. Gogate and P. Domingos, «Formula-based probabilistic inference», in *Twenty-Sixth conference on uncertainty in artificial intelligence (UAI2010) Artificial Intelligence*, pp. 1-10, 2012.
- [236] F. Niu, C. Zhang, C. Re, and J. Shavlik, «Scaling inference for Markov logic via dual decomposition», in *IEEE 12th International Conference on Data Mining (ICDM)*, 2012. doi: 10.1109/ICDM.2012.96
- [237] P. Singla and P. Domingos, «Entity resolution with Markov logic», in *Sixth International conference on Data Mining (ICDM'06)*, pp.1-11, 2006. doi: 10.1109/ICDM.2006.65.
- [238] S. Sarkhel, D. Venugopal, P. Singla, and V. Gogate, «Lifted MAP Inference for Markov Logic Networks», *Machine Learning*, no 103, pp. 27–55, 2016.
- [239] J. Shewchuck, «An introduction to the conjugate gradient method without the agonizing pain», Technical Report CMU-CS-94-125, School of Computer Science, Carnegie Mellon University, pp. 1–64, 1994.

- [240] P. Singla and Domingos, «Discriminative training of markov logic networks», in *Twentieth national conference on artificial intelligence*, 2005, pp. 9-13.
- [241] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, «Выделение элементов контекста знание-емких бизнес-процессов на основе анализа логов», *Технологический аудит и резервы производства*, т. 5, №. 2(31), с. 65–71, 2016.
- [242] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, «Выделение контекстно-процедурных зависимостей знание-емкого бизнес-процесса на основе анализа логов», *Технологический аудит и резервы производства*, т. 6, №. 1(32), с. 43–49, 2016.
- [243] В. М. Левикін та О. В. Чала, «Виділення реляційних залежностей бізнес-процесу на основі аналізу його логу», *Науковий журнал «Наукоємні технології»*, т. 4, №. 32, с. 405–409, 2016.
- [244] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, Метод актуализации знание-емких бизнес-процессов, *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. № 45(1217), с. 65-69, 2016.
- [245] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, «Метод экстернализации знание-емких бизнес-процессов», *Вісник академії митної служби України*, т. 1, №55, с. 35–43, 2016.
- [246] О.В. Чала, «Принцип та метод еволюційної побудови бази знань на основі аналізу логів ІС процесного управління», *Науково-технічний журнал «Біоніка інтелекту»*, т. 1, вып. 88, с. 80–84, 2017.
- [247] V. Levykin and O. Chala, «Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system», *EUREKA: Physics and Engineering*, vol. 4, no. 17, pp. 29–35, 2018. . DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00676>.
- [248] V. Levykin and O. Chala, «Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control

- systems», *EUREKA: Physics and Engineering*, vol. 5, pp. 3–10, 2018, doi: 10.21303/2461-4262.2018.00713.
- [249] О. В. Чала, «Метод побудови контекстно-орієнтованих правил в темпоральній базі знань», *Системи управління, навігації та зв'язку*, т. 5, №. 51, с. 115–120, 2018. doi: 10.26906/SUNZ.2018.5.115.
- [250] O. Chala, «Development of information technology to support management decisions using the probabilistic inference in a temporal knowledge base», *Problems of information technologies*, vol. 24, pp. 35–44, 2019.
- [251] В. М. Левикін та О. В. Чала, «Застосування методів інтелектуального аналізу процесів для виявлення патернів поведінки динамічних об'єктів», на *наук.-техн. конф. «Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM*, 2016, с. 67.
- [252] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, Построение моделей адаптируемых бизнес-процессов на основе анализа логов событий», на *V Міжнар. наук.-техн. конф. Інформаційні системи та технології (ICT-2016)*, 2016, с. 47-48.
- [253] В. М. Левыкин и О. В. Чалая, «Информационная технология актуализации модели знание-емкого бизнес-процесса» на *Міжнар. наук.-практ. конф. Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку*, 2017, с. 142-143.
- [254] О. В. Чала, «Інформаційна технологія управління життєвим циклом знання-ємних бізнес-процесів», на *Всеукр. наук.-практ. конф. Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку*, 2017. с. 107-108.
- [255] В. М. Левикін та О. В. Чала, «Автоматизована побудова бази темпоральних правил при управлінні якістю медичних послуг», на *I Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційні системи та технології в медицині*, 2018, с. 106-107.

- [256] О. В. Чала, «Побудова темпоральних правил для представлення знань в інформаційно-управляючих системах», *Сучасні інформаційні системи*, т. 2, №3, с. 54–59, 2018. doi: 10.20998/2522-9052.2018.3.09.
- [257] C. C. Aggarwal, «*Outlier analysis*», Cham: Springer International Publishing, 2017. doi: 10.1007/978-3-319-47578-3.
- [258] X. Song, M. Wu, C. Jermaine, and S. Ranka, «Conditional Anomaly Detection», *IEEE Transaction on Knowledge and Data Engineering*, vol. 19, no. 5, pp. 631–645, 2007.
- [259] I. Gunes, C. Kaleli, A. Bilge, and H. Polat, «Shilling attacks against recommender systems: a comprehensive survey», *Artificial intelligence review*, vol. 42, pp. 767–799, 2014.
- [260] R. Davis and J. King, «An Overview of production systems», *Machine Intelligence*, vol. 8, pp. 300–332, 1977.
- [261] C. Tong, «A shilling attack detector based on convolutional neural network for collaborative recommender system in social aware network», *The Computer Journal*, vol. 61, no. 7, pp. 949–958, 2018.
- [262] A. Carpinone, M. Giorgio, R. Langella, and A. Testa, «Markov chain modeling for very-short-term wind power forecasting», *Electric Power Systems Research*, vol. 122, pp. 152–158, 2015, doi: 10.1016/mj.epsr.2014.12.025.
- [263] D. Pratas, M. Hosseini, and A. J. Pinho, «Substitutional Tolerant Markov models for relative compression of DNA sequences», in *11th International conference on practical applications of computational biology & bioinformatics*, vol. 616, F. Fdez-Riverola, M. S. Mohamad, M. Rocha, J. F. De Paz, and T. Pinto, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2017, pp. 265–272. doi: 10.1007/978-3-319-60816-7_32.
- [264] S. Blasiak and H. Rangwala, «A Hidden Markov model variant for sequence classification», in *22nd International joint conference on artificial intelligence*, Barcelona, Catalonia, Spain, 2011, pp. 16-22. doi: 10.5591/978-1-57735-516-8/IJCAI11-203.

- [265] G. Florez-Larrahondo, S. M. Bridges, and R. Vaughn, «Efficient modeling of discrete events for anomaly detection using hidden Markov models», in *Information Security*, vol. 3650, J. Zhou, J. Lopez, R. H. Deng, and F. Bao, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2005, pp. 506–514. doi: 10.1007/11556992_38.
- [266] L. Rabiner and B. Juang, «An introduction to hidden Markov models», in *IEEE ASSP Magazine*, vol. 3, no. 1, pp. 4–16, 1986, doi: 10.1109/MASSP.1986.1165342.
- [267] B. Mobasher, R. Burke, R. Bhaumik, and C. Williams, «Toward trustworthy recommender systems: an analysis of attack models and algorithm robustness», *ACM Transactions on internet technology*, vol. 7, no. 2, pp. 1–41, 2007.
- [268] Y. Wang, L. Qian, and F. Li, «Comparative study on shilling detection methods for trustworthy recommendations», *Journal of systems science and systems engineering*, vol. 27, no. 4, pp. 458–478, 2018.
- [269] K. Patel, A. Thakkar, C. Shah, and K. Makvana, «A state of art survey on shilling attack in collaborative filtering based recommendation system», in *First International conference on information and communication technology for intelligent systems*, vol. 1., pp. 377–385 2016. doi: 10.1007/978-3-319-30933-0_38.
- [270] H. Xia, B. Fang, M. Gao, and W. Jing, «A novel item anomaly detection approach against shilling attacks in collaborative recommendation systems using the dynamic time interval segmentation technique», *Information Sciences*, vol. 306, pp. 150–165, 2015. DOI: 10.1016/j.ins.2015.02.019.
- [271] A. Singhal, Introducing the Knowledge Graph: Things, not Strings. [Online]. Available: <https://blog.google/products/search/introducing-knowledge-graph-things-not/>. Accessed on: May 20, 2020.
- [272] J. Pujara, H. Miao, L. Getoor, and W. Cohen, «Knowledge Graph Identification», in *12th International semantic Web conference - Part I ISWC '13*, New York USA, 2013, pp. 542–557.

- [273] Z. Xu, C. Belta, and A. Julius, «Temporal logic inference with prior information: an application to robot arm movements», in *IFAC-PapersOnLine*, vol. 48, no. 27, pp. 141–146, 2015, doi: 10.1016/j.ifacol.2015.11.166.
- [274] Z. Kong, A. Jones, and A. Ayala, Temporal logic inference for classification and prediction from data, in *17th International conference on Hybrid systems: computation and control*, 2014, pp. 273–282, doi: <https://doi.org/10.1145/2562059.2562146>.
- [275] F. Niu, C. Zhang, C. Re, and J. W. Shavlik, «DeepDive: Web-scale knowledge-base construction using statistical learning and inference», in *VLDS 2012*. 2012, pp. 1-4.
- [276] W. Y. Wang, K. Mazaitis, N. Lao, and W. W. Cohen, «Efficient inference and learning in a large knowledge base: Reasoning with extracted information using a locally groundable first-order probabilistic logic», *Machine Learning*, vol. 100, no. 1, pp. 101–126, 2015, doi: 10.1007/s10994-015-5488-x.
- [277] D. Movshovitz-Attias and W. W. Cohen, «KB-LDA: Jointly Learning a Knowledge Base of Hierarchy, Relations, and Facts», in *53rd Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics and the 7th International Joint Conference on Natural Language Processing*, Beijing, China, 2015, pp. 1449–1459. doi: 10.3115/v1/P15-1140.
- [278] В. М. Левикін и О. В. Чала, Підхід до виявлення аномальної поведінки процесів в системах процесного управління на основі аналізу логів, *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*, № 55(1276), с. 77-81, 2017.
- [279] V. Levykin and O. Chala, «Development of a method for the probabilistic inference of sequences of a business process activities to support the business process management», *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 5, no 3 (95), pp. 16–24, 2018, doi: 10.15587/1729-4061.2018.142664.
- [280] О. В. Чала, «Метод ієрархічного виведення в базі знань інформаційно-управляючої системи в парадигмі «Enterprise 2.0», *Системи управління навігації та зв'язку*, т. 4, №. 50, с. 86–90, 2018.

- [281] O. Chala, «Method for detecting anomalous states of a control object in information systems based on the analysis of temporal data and knowledge», *EUREKA. Physics and Engineering*, vol. 6, pp. 28–35, 2018, doi: 10.21303/2461-4262.2018.00787.
- [282] O. Chala, L. Novikova, L. Chernyshova, and A. Kalnitskaya, «Method for detecting shilling attacks in recommender systems using objective feedback», *EUREKA. Physics and Engineering*, т. 5, pp. 21–30, 2020, doi: 10.21303/2461-4262.2020.001394.
- [283] К. Э. Петров, А. А. Дейнеко, О. В. Чалая, и И. Ю. Панферова, «Метод ранжирования альтернатив при проведении процедуры коллективного экспертного оценивания», *Радіоелектроніка інформатика управління*, №(2)53, с. 84-94. 2020 84–94, 2020, doi: 10.15588/1607-3274-2020-2-9.
- [284] В. М. Левикін и О. В. Чала, «Використання темпоральних правил в задачах захисту інформації в комп'ютерних системах», на *VII Міжнар. наук.-техн. конф. «Інформаційні системи та технології»*, 2018, с. 35-38.
- [285] В.М. Левикін та О.В. Чала, «Виявлення проблемних ситуацій при підтримці управлінського рішення з використання бінарного та ймовірнісного критеріїв», на *IX Міжнар. наук.-практ. конф. Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-2020)*, с.130-131.
- [286] C. Aggarwal, *Recommender Systems: The Textbook*. New York: Springer, 2017.
- [287] Y. Wang, L. Zhang, H. Tao, Z. Wu, and J. Cao, «A comparative study of shilling attack detectors for recommender systems», in *12th International conference on service systems and service management*, 2015, pp. 1–6. doi: 10.1109/ICSSSM.2015.7170330.
- [288] G. Adomavicius, J. Bockstedt, S. Curley, and J. Zhang, «Do recommender systems manipulate consume preferences? A Study of Anchoring Effects», *Information systems research*, vol. 24, no. 4, 2013.

- [289] M. Gao, R. Tian, J. Wen, and Q. Xiong, «Item anomaly detection based on dynamic partition for time series in recommender systems», *PLoS ONE*, vol. 10, no. 8, pp. 1–22, 2015.
- [290] M. Gao, Q. Yuan, B. Ling, and Q. Xiong, «Detection of abnormal item based on time intervals for recommender systems», *The Scientific World Journal*, pp. 1–8, 2014. DOI: 10.1155/2014/845897.
- [291] W. Zhou, J. Wen, M. Gao, H. Ren, and P. Li, «Abnormal profiles detection based on time series and target item analysis for recommender systems», *Mathematical Problems in Engineering*. pp. 1–9, 2015.

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації

А.1 Список публікацій здобувача за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модель иерархического представления времени в темпоральных знаниях. *Біоніка інтелекту*. 2015. № 2 (85). С. 31-34.
2. Левикін В. М., Чала О.В. Оцінювання часових характеристик подій дискретних процесів у відповідності до концепції GUM. *Метрологія та прилади*. 2015. № 6 (56). С.19-23.
3. Чалая О.В. Контекстно-ориентированный подход к моделированию бизнес-процессов. *Біоніка інтелекту*. 2016. № 1(86). С. 68-71.
4. Левыкин В. М., Чалая О.В. Выделение элементов контекста знание-емких бизнес-процессов на основе анализа логов. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2016. № 5/2(31). С. 65-71. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.80989.
5. Левыкин В. М., Чалая О.В. Разработка модели многовариантного знание-емкого бизнес-процесса. *Вісник Херсонського національного технічного університету*. 2016. № 4(59). С. 195-202.
6. Левыкин В. М., Чалая О. В. Модель знание-емкого бизнес-процесса для задач интеллектуального анализа процессов. *Управляючі системи та машини*. 2016. № 6. С. 59-66. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2016.06.059>.
7. Левикін В. М., Чала О.В. Оцінювання характеристик інформаційних об'єктів на прикладі елементів знання-ємних бізнес-процесів. *Метрологія та прилади*. 2016. № 6(62). С. 48-53.

8. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модели шаблонов поведения объектов контекста знание-емкого бизнес-процесса. *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*. 2016. Вип. 5 (100). С. 26-31.

9. Чалая О.В. Метод обобщения представления знание-емкого бизнес-процесса. *Біоніка інтелекту*. 2016. № 2(87). С. 101-105.

10. Чалая О.В. Модель неявных реляционных зависимостей в знание-емких бизнес-процессах. *Проблеми інформаційних технологій*. 2016. № 2(020). С. 111-118.

11. Чала О.В. Формалізація неявних процедурних залежностей в знання-емних бізнес-процесах. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2016. № 4. С. 43-47.

12. Левыкин В. М., Чалая О.В. Выделение контекстно-процедурных зависимостей знание-емкого бизнес-процесса на основе анализа логов. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2016. № 6/1(32). С. 43-49. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.86220.

13. Левикін В. М., Чала О.В. Виділення реляційних залежностей бізнес-процесу на основі аналізу його логу. *Наукоємні технології*. 2016. № 4(32). С. 405-409.

14. Чала О.В. Еволюційний підхід до управління життєвим циклом знання-емних бізнес-процесів. *Наукоємні технології*. 2017. № 1(33). С. 53-59.

15. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модель жизненного цикла знание-емкого бизнес-процесса. *Управляючі системи та машини*. 2017. № 1. С. 68–76, 85. DOI: <https://doi.org/10.15407/usim.2017.01.068>.

16. Чала О.В. Принцип та метод еволюційної побудови бази знань на основі аналізу логів ІС процесного управління. *Біоніка інтелекту*. 2017. № 1(88). С. 80-84.

17. Левикин В. М., Чала О. Концепція автоматизованої побудови бази знань у системі процесного управління. *Біоніка інтелекту*. 2017. № 2(89). С. 77-83.

18. Chala O. Logical-probabilistic representation of casual dependencies between events in business-process management. *Advanced information systems*. 2018. Vol. 2. №. 2. P. 40-44. DOI: <https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.2.07>.

19. Levykin V., Chala O. Method of automated construction and expansion of the knowledge base of the business process management system. *EUREKA: Physics and Engineering*. 2018. Vol. 4. P. 29-35. DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00676>.

20. Levykin V., Chala O. Development of a method of probabilistic inference of sequences of business process activities to support business process management. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. № 5/3(95). P. 16-24. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.142664 (входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

21. Levykin V., Chala O. Method of determining weights of temporal rules in markov logic network for building knowledge base in information control system. *EUREKA. Physics and Engineering*. 2018. Vol. 5. P. 3-10. DOI: <http://dx.doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00713>.

22. Chala O. Method for detecting anomalous states of a control object in information systems based on the analysis of temporal data and knowledge. *EUREKA. Physics and Engineering*. 2018. Vol. 6. P. 28-35. DOI: [10.21303/2461-4262.2018.00787](https://doi.org/10.21303/2461-4262.2018.00787).

23. Chala O. Models of temporal dependencies for a probabilistic knowledge base. *Econtechmod. An International Quarterly Journal*. 2018. Vol. 7, No. 3. P. 53 – 58.

24. Чала О. В. Побудова темпоральних правил для представлення знань в інформаційно-управляючих системах. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Том 2, № 3. С. 54-59. DOI: [10.20998/2522-9052.2018.3.09](https://doi.org/10.20998/2522-9052.2018.3.09).

25. Левикін В. М., Чала О. В. Підтримка прийняття рішень в інформаційно-управляючих системах з використанням темпоральної бази знань. *Сучасні інформаційні системи*. 2018. Том 2, № 4. С. 101-107. DOI: 10.20998/2522-9052.2018.4.17.

26. Левикін В. М., Чала О. В. Підтримка управління складеним об'єктом в ІУС з використанням темпоральних залежностей. *Біоніка інтелекту*. 2018. № 1(90). С. 110-115.

27. Левикін В. М., Чала О.В. Метод підтримки управлінських рішень в умовах невизначеності на основі темпоральних знань. *Біоніка інтелекту*. 2018. № 2(91). С. 54-59.

28. Chala O. Development of information technology to support management decisions using the probabilistic inference in a temporal knowledge base. *Problems of information technologies*. 2018. № 2(024). P. 35-44. DOI: <https://doi.org/10.35546/2313-0687.2018.24.35-44>.

29. Chala O. Development of information technology for the automated construction and expansion of the temporal knowledge base in the tasks of supporting management decisions. *Technology audit and production reserves*. 2019. № 1/2(45). P. 9-14. DOI: 10.15587/2312-8372.2019.160205.

30. Chala O, Novikova L., Chernyshova L., Kalnitskaya A. Method for detecting shilling attacks based on implicit feedback in recommender systems. *EUREKA. Physics and Engineering*. 2020. Vol. 5. P. 21-30. DOI: 10.21303/2461-4262.2020.001394 (входить до міжнародної наукометричної бази Scopus).

31. Петров К. Э., Дейнеко А. А., Чалая О. В., Панферова И. Ю. Метод ранжирования альтернатив при проведении процедуры коллективного экспертного оценивания. *Радиоэлектроника, информатика, управління*. № 2(53). 2020. С. 84-94. DOI: 10.15588/1607-3274-2020-2-9 (входить до міжнародної наукометричної бази Web of Science).

32. Левыкин В. М., Чалая О.В. Модель многоуровневого представления темпоральных знаний в задачах интеллектуального анализа процессов. *Вісник Академії митної служби України. Технічні науки*. 2015. №1 (51). С.5-12.

33. Левыкин В. М., Чалая О.В. Компонентная модель представления знаний о бизнес-процессе. *Системи обробки інформації*. 2016. № 9(146). С. 182-186.

34. Левыкин В. М., Чалая О.В. Иерархическая модель контекста знание-емкого бизнес-процесса. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2016. № 37(1209). С. 43-47.

35. Левыкин В. М., Чалая О.В. Метод актуализации знание-емких бизнес-процессов. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2016. № 45(1217). С. 65-69.

36. Левыкин В. М., Чалая О.В. Метод экстернализации знание-емких бизнес-процессов. *Системи та технології*. 2016. № 1(55). С. 35-43.

37. Левикін В. М., Чала О.В. Модель бази знань інформаційної системи процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2017. № 28(1250). С. 74-78.

38. Левикін В. М., Чала О.В. Підхід до виявлення аномальної поведінки процесів в системах процесного управління на основі аналізу логів. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2017. № 55(1276). С. 77-81.

39. Левикін В. М., Чала О. В. Розробка представлення причинно-наслідкових залежностей для бази знань системи процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ»: Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2018. № 21(1297). С. 48-53.

40. Чала О. В. Метод ієрархічного виведення в базі знань інформаційно-управляючої системи в парадигмі «Enterprise 2.0». *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 4(50). С. 86-90. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.4.086.

41. Чала О. В. Метод побудови контекстно-орієнтованих правил в темпоральній базі знань. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 5(51). С. 115-120. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.5.115.

42. Чала О. В. Принципи автоматизованої побудови та використання темпоральної бази знань. *Системи управління, навігації та зв'язку*. 2018. № 6 (52). С. 122-125. DOI: 10.26906/SUNZ.2018.6.122.

43. Чала О. В. Розробка представлення знань на основі марківських логічних мереж в системі процесного управління. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2018. № 22(1298). С. 22-26.

44. Чала О. В. Модель узагальненого представлення темпоральних знань для задач підтримки управлінських рішень. *Вісник Національного технічного університету «ХПИ». Системний аналіз, управління та інформаційні технології*. 2020. № 1(3). С. 14-18. DOI: 10.20998/2079-0023.2020.01.03.

А.2 Відомості про апробацію результатів дисертації

Апробація результатів дисертації була проведена на 21 міжнародній науково-технічній, науково-практичній конференції:

– XX Міжнародному конгресі двигунобудівників в 2015 році у Національному аерокосмічному університеті ім. М.Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків, участь з доповіддю;

– I Міжнародній науково-технічній конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології (PMW-2016)» 16-20 травня в 2016 році в

Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;

– VI Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні напрями розвитку інформаційно-комунікаційних технологій та засобів управління» у ДП «Харківський НДІ технології машинобудування» 21-22 квітня 2016 року, м. Харків, участь з доповіддю;

– V Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні системи та технології» 12-17 вересня 2016 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;

– V Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ)» 20-22 вересня 2016 року в Одеському національному політехнічному університеті, м. Одеса, участь з доповіддю;

– X Міжнародній науково-технічній конференції «Метрологія та вимірювальна техніка 2016» 5-7 жовтня 2016 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;

– науково-технічній конференції «Проблеми розвитку глобальної системи зв'язку, навігації, спостереження та організації повітряного руху CNS/ATM» 21-23 листопада 2016 року в Національному авіаційному університеті, м. Київ, участь з доповіддю;

– Міжнародній науково-практичній конференції «Застосування інформаційних технологій у підготовці та діяльності сил охорони правопорядку» 15-16 березня 2017 року у Національній академії національної гвардії України, м. Харків, участь з доповіддю;

– Всеукраїнській науково-практичній конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у виробництві та освіті: стан, досягнення, перспективи розвитку» 13-19 березня 2017 року в Черкаському національному університеті імені Богдана Хмельницького, м. Черкаси, участь з доповіддю;

- V Міжнародній науково-практичній конференції «Глобальні та регіональні проблеми інформатизації в суспільстві і природокористуванні 2017» 22-23 червня 2017 року в Національному університеті біоресурсів і природокористування України, Київ, участь з доповіддю;
- XIII International scientific-practical conference «Scientific progress news» August 15-22, 2017, Sofia, Bulgaria, участь з доповіддю;
- VI Міжнародній науково-технічній конференції «Метрологія, інформаційно-вимірювальні технології та системи (МІВТС-2017)» 24-25 жовтня 2017 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;
- V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Інформаційні технології – 2018 (ІТ-2018)» 17 травня 2018 року в Київському університеті імені Бориса Грінченка, м. Київ, участь з доповіддю;
- II Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні та інформаційні системи і технології» 18-19 квітня 2018 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;
- I Міжнародній науково-практичній конференції «ІТ- професіоналів та аналітиків комп'ютерних систем» 24 – 26 квітня 2018 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;
- VII Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні системи та технології» 10-15 вересня 2018 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;
- VII Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ)» 17-18 вересня 2018 року в в Одеському національному політехнічному університеті, м. Одеса, участь з доповіддю;
- I Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології в медицині» 28-30 листопада 2018 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;

- III Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні та інформаційні системи і технології» 23-24 квітня 2019 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;
- IV Міжнародній науково-технічній конференції «Комп'ютерні та інформаційні системи і технології» 23-24 квітня 2020 року в Харківському національному університеті радіоелектроніки, м. Харків, участь з доповіддю;
- IX Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ)» 24-26 вересня 2020 року в Одеському національному політехнічному університеті, м. Одеса, участь з доповіддю.

ДОДАТОК Б**Акти про реалізацію і впровадження результатів дисертаційної роботи**

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи

«Моделі, методи та інформаційні технології автоматизованого управління темпоральними базами знань для підтримки управлінських рішень»

професора кафедри інформаційних управляючих систем Харківського національного університету радіоелектроніки
Чалої Оксани Вікторівни

Комісія у складі:

Голова: Лутай С.М., керівник відділу розробки програмного забезпечення ТОВ "ДІДЖІТАЛ КЛЮУД ТЕХНОЛОДЖІЗ ГЛОБАЛ";

Члени комісії: Пономаренко І.О., керівник відділу якості програмного забезпечення ТОВ "ДІДЖІТАЛ КЛЮУД ТЕХНОЛОДЖІЗ ГЛОБАЛ"

Мартинов О.Я., головний інженер-програміст
ТОВ "ДІДЖІТАЛ КЛЮУД ТЕХНОЛОДЖІЗ ГЛОБАЛ"

підтверджує, що наступні результати дисертаційної роботи Чалої Оксани Вікторівни були використані для підтримки прийняття рішень щодо конфігурування серверів у хмарі, що базується на кластері Nomad:

- модель багатоваріантного управлінського рішення з використанням темпоральних знань, яка містить альтернативні варіанти реалізації цього рішення та їх оцінку, що дає можливість порівняти альтернативи при виборі рішення;

- продукційне представлення знань у формі ансамблю моделей темпоральних правил, які містять знання щодо порядку у часі фактів виникнення станів об'єкту управління;

- модель темпоральної бази знань, що містить логіко-ймовірнісні темпоральні правила та забезпечує можливість автоматизованої підтримки управлінських рішень з використанням цих правил;

- метод визначення ваг темпоральних правил на основі значень ймовірностей реалізації послідовностей фактів, що дає можливість упорядковувати альтернативи при формуванні управлінського рішення.

- метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних знаннях, який формує упорядковану за ймовірністю реалізації множину впорядкованих у часі послідовностей станів для досягнення цільового стану об'єкту управління як множину альтернатив у складі управлінського рішення;

- інформаційна технологія підтримки прийняття управлінських рішень з використанням темпоральної бази знань.

Застосування запропонованих моделей та методів забезпечило скорочення часу конфігурування до 31% для конфігурації кластеру з 3-х серверів та 43% - для конфігурації з 5 серверів, а також зменшення кількості помилок конфігурування на 23% для 3-х серверів та 19% для 5 серверів.

Акт складено на представлення в спеціалізовану вчену раду.

Даний акт не є підставою для виплати винагороди за впровадження та інших авторських винагород.

Голова комісії _____

Члени комісії _____



Лутай С.М.

Пономаренко І.О.

Мартинов О.Я.

«10» вересня 2020 р.

SUBSIDIARY "PROTECTION AND AUTOMATION OF
 FACILITIES OF SCIENTIFIC RESEARCH INSTITUTE OF
 RADIOENGINEERING MEASUREMENTS"
 (S "PAF SRIRM")

Україна, 61054, м. Харків, вул. Ак. Павлова, 271
 Тел. (факс): (057) 738-23-10
 E-mail: info@radmirspace.com.ua

« 18 » 11 2020 р. № 01/110 На № _____ від « _____ » _____ 20 р.

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
 на тему «Моделі, методи та інформаційні технології автоматизованого управління
 темпоральними базами знань для підтримки управлінських рішень»
 Чалої Оксани Вікторівни, професора кафедри інформаційних управляючих систем
 Харківського національного університету радіоелектроніки

Комісія у складі:

голова: Зайченко О.М., головний конструктор – заступник директора

члени комісії:

Усиченко О.В., заступник головного конструктора – начальник відділу,
 Данілін А.Б., головний спеціаліст

склала даний Акт про те, що наступні наукові результати Чалої Оксани Вікторівни
 були використані при виявленні втручань через мережу Інтернет у роботу інформаційної
 системи збору, диспетчеризації та обробки даних щодо використання радіотехнічних
 систем:

- ансамбль моделей темпоральних правил, які містять знання щодо порядку у часі фактів виникнення станів об'єкту управління, що дає можливість відобразити у формі темпоральних знань залежності у часі між станами інформаційно-управляючої системи;
- метод визначення ваг темпоральних правил, який забезпечує умови для виявлення втручань в роботу інформаційно-управляючої системи на основі порівняння послідовностей станів об'єкту управління;
- метод виявлення аномального стану об'єкту управління на основі використання темпоральних правил, який забезпечує можливість виявлення втручань у роботу інформаційної системи та її складових шляхом порівняння ваг темпоральних правил.

Використання зазначених моделей та методів дає змогу суттєво підвищити ефективність виявлення втручань у роботу інформаційної системи через мережу Інтернет в умовах неповноти інформації щодо зовнішніх впливів.

Економічний ефект від впровадження не розраховувався у зв'язку з науковим призначенням результатів.

Акт складено на представлення в спеціалізовану вчену раду. Акт не дає підстав для будь-яких фінансових розрахунків та виплати винагороди за впровадження й інших авторських винагород.

Голова комісії

Члени комісії



О.М. Зайченко

О.В. Усиченко

А.Б. Данілін



УКРАЇНА

МІНІСТЕРСТВО РОЗВИТКУ ЕКОНОМІКИ, ТОРГІВЛІ
ТА СІЛЬСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР "ІНСТИТУТ МЕТРОЛОГІЇ"
(ННЦ "ІНСТИТУТ МЕТРОЛОГІЇ")

Вул. Митрофанівська, 42, м. Харків, 61002, тел: (057)700-34-09, факс: (057) 700-34-47, Код ЄДРПОУ 02568325,
www.metrology.kharkov.ua, e-mail: info@metrology.kharkov.ua

09.12.2020 № 002/05-2417

На № _____

Акт

впровадження результатів дисертаційної роботи
«МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
АВТОМАТИЗОВАНОГО УПРАВЛІННЯ ТЕМПОРАЛЬНИМИ БАЗАМИ
ЗНАНЬ ДЛЯ ПІДТРИМКИ УПРАВЛІНСЬКИХ РІШЕНЬ»

Чалої Оксани Вікторівни

на здобуття вченого ступеня доктора технічних наук
за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології

ННЦ "Інститут метрології" має багаторічний досвід метрологічного забезпечення засобів вимірювальної техніки з використанням сучасних інформаційних технологій й розробки нормативної документації та методик повірки пристроїв в галузі електротехнічних та радіотехнічних вимірювань.

Запропоновані Чалою О.В. наукові результати, орієнтовані на підтримку прийняття рішень з використанням темпоральних знань, а саме моделі представлення темпоральних правил та методи їх побудови. Ці моделі та метод зворотного ймовірнісного виводу на темпоральних знаннях стали корисними при підтримці задачі складання методик повірки пристроїв, призначених для електротехнічних та радіотехнічних вимірювань, що дає можливість на 12% скоротити витрати часу на повірку таких пристроїв.

Акт складено на представлення в спеціалізовану вчену раду. Даний акт не є основою для виплати винагороди за впровадження й інших авторських винагород.

Учений секретар – директор
наукового центру НЦ-4, д.т.н. с.н.с.



В.В. Скляров

001078

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Директор

ІІІ «СОФТВЕА ЕКСПЕРТ»

О.Ю. Шевченко

2021 р.



АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
**«Моделі, методи та інформаційні технології автоматизованого
 управління темпоральними базами знань для підтримки управлінських
 рішень»**

професора кафедри інформаційних управляючих систем Харківського
 національного університету радіоелектроніки
 Чалої Оксани Вікторівни

Комісія у складі: головного інженера відділу розробки програмного забезпечення Камишнікова Максима Дмитровича та інженера відділу розробки програмного забезпечення Горобець Юрія Миколайовича підтверджує, що наступні результати наукових досліджень Чалої Оксани Вікторівни були використані для виявлення нетипових ситуацій, які виникають в інформаційних рекомендаційних системах в результаті шилінг-атак на рейтинги рекомендованих товарів:

– модель представлення темпоральних залежностей для задач підтримки управлінських рішень, яка дає можливість відобразити та порівняти альтернативні варіанти рішення;

– продукційне представлення знань у формі ансамблю моделей темпоральних правил, яке орієнтовано на підтримку управлінських рішень шляхом формування відповідних послідовностей станів об'єкту управління;

– метод побудови продукційних знань в аспекті темпоральних правил, який дає можливість сформуванню темпоральні знання для підтримки управлінських рішень;

– інформаційна технологія побудови та поповнення темпоральної бази знань, що дає можливість сформуванню темпоральні знання на основі вхідних даних щодо послідовностей управляючих дій та станів об'єкту управління;

– метод виявлення аномального стану об'єкту управління на основі темпоральних правил, який передбачає побудову опису поточної та альтернативних реалізацій управлінського рішення, що дає можливість

представити невідповідність в динаміці покупок користувачів та виставлення рейтингів товарів в рекомендаційній системі.

Застосування запропонованої технології та методу показали свою ефективність та дозволили підвищити точність виявлення шилінг-атак в рекомендаційних інформаційних системах на початкових стадіях від 5% до 23% в залежності від типу та кількості атак, що дає можливість оперативно прийняти рішення про уточнення алгоритму роботи рекомендаційної системи.

Акт складено для представлення в спеціалізовану вчену раду. Акт не є підставою для виплати винагороди за впровадження й інших авторських винагород.

Члени комісії



М.Д. Камишніков

Ю.М. Горобець

ЗАТВЕРДЖУЮ

Перший проректор Харківського
національного університету
радіоелектроніки

проф. Рубан І.В.

« 25 » 02 2021р.

АКТ

про впровадження в освітній процес результатів
дисертаційної роботи на тему:

«Моделі, методи та інформаційні технології автоматизованого управління
темпоральними базами знань для підтримки управлінських рішень»
професора кафедри інформаційних управлінських систем
Харківського національного університету радіоелектроніки
Чалої Оксани Вікторівни

Комісія у складі голови: завідуючого кафедри інформаційних управлінських систем (ІУС) – д.т.н., проф. Петрова К.Е., членів комісії: начальника навчального відділу Харківського національного університету радіоелектроніки к.т.н., доц. Міхнкової А.В., д.т.н., професора кафедри ІУС Євланова М.В. встановила, що результати дисертаційного дослідження Чалої О.В. реалізовано в освітньому процесі Харківського національного університету радіоелектроніки на кафедрі інформаційних управлінських систем.

Розглянувши матеріали дисертаційної роботи та організацію освітнього процесу на кафедрі, комісія відзначає, що при проведенні лекційних занять з дисциплін: «Розподілені та паралельні бази даних», «Пошукові системи та SEO», «Технології захисту інформації» для студентів спеціальності 122 Комп'ютерні науки освітньо-професійних програм «Комп'ютерні науки», «Інформаційні управлінські системи та технології» використано наступні результати дисертаційної роботи:

- моделі представлення темпоральних знань для задач підтримки управлінських рішень, які дають можливість формалізувати знання про послідовності дій у часі з заданим ступенем деталізації опису об'єкту і, в результаті, відобразити багатоваріантність управлінського рішення у темпоральному й об'єктному аспектах;

- методи побудови продукційних знань в аспекті темпоральних правил шляхом формування класів правил-обмежень й правил-умов виконання управлінських дій, що дає можливість сформулювати темпоральні знання для

автоматизованої підтримки управлінських рішень при вирішенні задач пошуку та захисту інформації, а також побудови і впровадження інформаційних систем;

- методи підтримки управлінських рішень з використанням темпоральних знань, які дають можливість виявити аномальний стан об'єкту управління та сформувати множину можливих послідовностей дій по переходу до його цільового стану.

Голова комісії



К.Е. Петров

Члени комісії



А.В. Міхнова

М.В. Євланов