

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Навчально-науковий центр заочної форми навчання
(повна назва)

Кафедра Інформаційних управляючих систем
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

Дослідження методів інтелектуального аналізу процесів при побудові бізнес
правил в задачах процесного управління
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи ІУСТзм-22-1
Коженевський Андрій Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 122 Комп'ютерні
науки
(код і повна назва спеціальності)

Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційні управляючі
системи та технології
(повна назва освітньої програми)

Керівник професор каф. ІУС Оксана ЧАЛА
(посада, власне ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Допускається до захисту

Зав. кафедри



(підпис)

Костянтин ПЕТРОВ

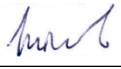
(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Навчально-науковий центр заочної форми навчанняКафедра Інформаційних управляючих системРівень вищої освіти другий (магістерський)Спеціальність 122 Комп'ютерні науки
(код і повна назва)Тип програми освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)Освітня програма Інформаційні управляючі системи та технології
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри 
(підпис)

« 4 » грудня 2023 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУстудентові Коженевському Андрію Олександровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методів інтелектуального аналізу процесів при побудові бізнес правил в задачах процесного управління
затверджена наказом університету від 01 грудня 2023 р. № 259Стз
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 19 01 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи формальний опис моделей бізнес-процесів, технології управління бізнес-процесами (BPM), методологія Process Mining, методи інтелектуального аналізу процесів, сучасні рішення програмної реалізації інтелектуального аналізу процесів.
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі виконати дослідження властивостей бізнес-процесів в аспекті напрямків діяльності підприємства, провести аналіз стану процесного управління, проаналізувати задачі та методи Process Mining, розробити, реалізувати удосконалений метод інтелектуального аналізу Alpha-Miner для виявлення бізнес-правил, провести експериментальну перевірку удосконаленого методу.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Дослідження властивостей бізнес-процесів в аспекті напрямків діяльності підприємства	04.12.2023 – 07.12.2023	Виконано
2	Аналіз літературних джерел та готових рішень в галузі процесного управління	07.12.2023 – 12.10.2023	Виконано
3	Аналіз задач та методів Process Mining	13.12.2023 – 17.12.2023	Виконано
4	Постановка задачі дослідження	18.12.2023 – 19.12.2023	Виконано
5	Розробка та реалізація удосконаленого методу інтелектуального аналізу Alpha-Miner	20.12.2023 – 25.12.2023	Виконано
6	Експериментальна перевірка удосконаленого методу для виявлення бізнес-правил	26.12.2023 – 31.12.2023	Виконано
7	Оформлення пояснювальної записки кваліфікаційної роботи	02.01.2024 – 15.01.2024	Виконано
8	Оформлення графічної частини та презентаційних матеріалів захисту	15.01.2024 – 17.01.2024	Виконано
9	Подання роботи на рецензування	17.01.2024	Виконано
10	Представлення кваліфікаційної роботи в ЕК	19.01.2024	Виконано

Дата видачі завдання 4 грудня 2023 р.

Студент Аксон
(підпис)

Керівник роботи Міф
(підпис)

професор каф. ІУС, Оксана ЧАЛА
(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи містить: 83 с., 4 розділи, 22 рис., 1 табл., 1 додаток, 29 джерел.

БІЗНЕС-ПРАВИЛО, БІЗНЕС-ПРОЦЕС, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПРОЦЕСІВ, ПРОЦЕСНЕ УПРАВЛІННЯ, PROCESS -MINING.

В роботі виконано дослідження властивостей бізнес-процесів. Проведено аналіз характеристик процесного управління, а також аналіз задач та методів Process Mining в контексті управління бізнес-процесами. Виконано структурування бізнес-правил із урахуванням їх ієрархії.

Об'єктом дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є бізнес-процеси.

Предметом дослідження є методи інтелектуального аналізу процесів для процесного управління з використанням бізнес правил.

В роботі виконано дослідження властивостей бізнес-процесів. Проведено аналіз характеристик процесного управління, а також аналіз задач та методів Process Mining в контексті управління бізнес-процесами. Виконано структурування бізнес-правил із урахуванням їх ієрархії.

Набув подальшого розвитку методу інтелектуального аналізу Alpha-Miner в контексті виявлення бізнес-правил на основі аналізу журналів подій. Метод виділяє частково упорядковані пари подій з різних трас логу з тим, щоб в подальшому сформулювати з них прототипи бізнес-правил «як є».

ABSTRACT

The explanatory note to the qualification work contains: 83 pages, 4 sections, 29 figures, 1 table, 1 appendix, 29 sources.

BUSINESS RULE, BUSINESS PROCESS, PROCESS INTELLIGENCE, PROCESS MANAGEMENT, PROCESS-MINING.

The paper studies the properties of business processes. The characteristics of process management are analyzed, as well as the tasks and methods of Process Mining in the context of business process management. The business rules are structured taking into account their hierarchy.

The object of research of the master's qualification work is business processes.

The subject of research is methods of intellectual analysis of processes for process management using business rules.

The study of the properties of business processes is carried out. An analysis of the characteristics of process management, as well as an analysis of the tasks and methods of Process Mining in the context of business process management is carried out. The business rules are structured taking into account their hierarchy.

The Alpha-Miner method of intellectual analysis was further developed in the context of identifying business rules based on the analysis of event logs. The method identifies partially ordered pairs of events from different log traces in order to further form prototypes of business rules "as is".

ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки	7
Вступ.....	8
1 Аналіз предметної області процесного управління.....	10
1.1 Дослідження властивостей бізнес-процесів	10
1.2 Аналіз процесного управління.....	19
1.3 Аналіз задач та методів Process Mining.....	24
1.4 Постановка задачі дослідження.....	32
2 Удосконалення методу alpha-miner для побудови бізнес-правил.....	34
2.1 Розробка підходу до виділення ієрархії бізнес-правил на основі аналізу логів бізнес-процесів.....	34
2.2 Визначення часткових порядків на послідовності подій логу для відображення результатів виконання бізнес-правил	43
2.3 Адаптація методу Alpha-Miner для вирішення задачі виділення бізнес- правил на основі часткової упорядкованості подій.....	49
3 Інформаційна технологія удосконалення процених моделей з використанням бізнес-правил «як є».....	54
3.1 Обґрунтування основних етапів технології.....	54
3.2 Опис інформаційної технології.....	56
4 Експериментальна перевірка методу	58
4.1 Опис платформи проведення експерименту та вхідних даних	58
4.2 Результати експериментальної перевірки.....	61
Висновки	64
Перелік джерел посилання	65
Додаток А Графічний матеріал.....	Ошибка! Закладка не определена.

СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

BPM – Business Process Management (процесне управління)

BPMN Business Process Model and Notation (модель та нотація бізнес-процесів)

DFD – діаграма потоків даних

EPC – Event-driven Process Chain (Ланцюжок бізнес-процесу, орієнтований на події)

LOG – журнал подій бізнес-процесу

PAIS – Process-Aware Information Systems (процесно-орієнтовані інформаційні системи)

PM – процес побудови моделі бізнес-процесу на основі аналізу логу

UML – Unified Modeling Language (Уніфікована мова моделювання)

WF – Workflow net (мережа потоків робіт бізнес-процесу)

БД – база даних

ІСПУ – інформаційна система процесного управління

ІТ – інформаційна технологія

БП – бізнес-процес

ПЗ – програмне забезпечення

ПУ – процесне управління

ВСТУП

Процесне управління охоплює управління послідовністю робіт бізнес-процесу, на основі використання знань інформаційних технологій й менеджменту [1, 2]. Останнім часом велика увага приділяється використанню потенціалу процесного управління для підвищення продуктивності та зменшення витрат при управлінні підприємствами та організаціями. Наразі існує значна кількість систем процесного управління, призначених для побудови моделей та управління операційними бізнес-процесами [3].

Процесне управління є розширенням управління послідовністю робіт бізнес-процесу, з фокусом на автоматизації та аналізі бізнес-процесів, управлінні операціями та підвищенні організаційної ефективності. Задача процесного управління полягає в досягненні цілей бізнес-процесів, навіть без впровадження нових технологій. Наприклад, через моделювання бізнес-процесів та їх аналіз, аналітик може отримати знання щодо зменшення витрат та поліпшення рівнів обслуговування.

Процесно-орієнтовані інформаційні системи включають як традиційні системи контролю послідовності робіт, так і сучасні системи процесного управління, що забезпечуються підтримку гнучких бізнес-процесів [4]. Наприклад, ERP-системи (такі як SAP та Oracle), CRM-системи, системи управління справами, системи на основі правил, програмне забезпечення для контактних центрів і проміжне програмне забезпечення (наприклад, WebSphere) можуть розглядатися як системи процесного управління, хоча вони не завжди використовують спільний механізм бізнес-процесів. Однак їхня загальна характеристика полягає в чіткому розумінні процесів, які вони підтримують, що дає можливість визначити відповідні послідовності робіт.

Кваліфікаційна робота пов'язана з вирішенням важливої проблеми дослідження методів інтелектуального аналізу процесів для побудови бізнес-правил, а також подальшого удосконалення бізнес процесів.

Сучасні підходи до управління бізнес-процесами передбачають вирішення завдань підтримки роботи, а також оптимізації бізнес-процесів. При виконанні удосконалення і оптимізації бізнес-процесів застосовуються два типи моделей БП: «as is» та «to be». Перша модель відображає реальний хід виконання бізнес-процесу «як є» та формується на основі даних про фактичне виконання процесів в інформаційній системі. В свою чергу модель БП «to be» містить скорегований опис процесів, який відображає цільовий варіант виконання «як має бути». Їх корегування здійснюється працівниками підприємства на основі персональних знань та досвіду. Ці знання також відображають бізнес-правила підприємства. Останні визначають обмеження на виконання БП.

Для формування моделі процесів «as is» використовуються методи інтелектуального аналізу процесів. На основі отриманих моделей «as is» та «to be» аналітик здійснює порівняння бізнес процесів. Ключові відмінності між цими моделями пов'язані з імплементацією (або невиконанням) бізнес-правил у реальному виробництві. Таким чином, застосування методів інтелектуального аналізу процесів для виявлення таких бізнес-правил є актуальною задачею.

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ

1.1 Дослідження властивостей бізнес-процесів

Поняття бізнес-процесу (БП) є ключовим для процесного управління. БП містить різні способи виконання робіт у вигляді екземплярів процесу.

Бізнес-процеси – це не просто послідовність виконання робіт, а складна система взаємопов'язаних етапів та операцій, спрямованих на досягнення конкретних цілей підприємства. Ці роботи об'єднують усі рівні ієрархії організації, забезпечуючи оптимальне використання ресурсів та ефективне виробництво продукції або надання послуг.

Класифікацію бізнес-процесів у аспекті зв'язку з напрямками діяльності підприємства наведено на рисунку 1.1.

Операційні БП	мета: створення продукту чи послуги для кінцевого споживача. орієнтовані на безпосереднє задоволення потреб клієнтів
Забезпечуючі БП	забезпечують функціонування основних процесів не створюють доданої вартості для клієнта
Бізнес- процеси розвитку	орієнтовані на покращення діяльності підприємства
БП управління	управління іншими БП з метою підвищення ефективності діяльності підприємства в цілому

Рисунок 1.1 – Види бізнес-процесів у аспекті напрямків діяльності підприємства

Основні бізнес-процеси виконують створення продукту чи послуги, які мають безпосередню цінність для кінцевого споживача. Це може бути виробництво товарів чи надання основної послуги. Такі БП Орієнтовані на безпосереднє задоволення потреб клієнтів.

Забезпечуючі бізнес-процеси орієнтовані на забезпечення ефективного функціонування основних процесів. Ці процеси не створюють безпосередньо цінності для клієнта, але грають критичну роль у забезпеченні оптимальної роботи підприємства. Забезпечуючі БП орієнтовані на оптимізацію та підтримку ресурсів для забезпечення якісного виробництва.

Бізнес-процеси розвитку призначені для створення нових можливостей та інновацій. Ці процеси спрямовані на покращення існуючих методів та впровадження нових стратегій для забезпечення сталого розвитку підприємства. Фокус таких процесів направлений на експерименти та дослідження для майбутнього зростання та конкурентоспроможності.

Бізнес-процеси управління призначені для забезпечення ефективного керування всією діяльністю підприємства. Це включає стратегічне управління, контроль результатів та адаптацію до змін в економічному середовищі. Фокус таких процесів направлений на стратегічне планування та забезпечення найвищої ефективності управлінських процесів.

Бізнес-процеси можна класифікувати як орієнтовані на людину та системоцентричні або, точніше, на процеси, орієнтовані на людину (P2P), процеси від людини до програми (P2A) і процеси від програми до програми (A2A), як показано на рисунку 1.2.

У процесах P2P учасниками є в основному люди, тобто процеси вимагають людської втручання. Інструменти для відстеження роботи, управління проектами та групове програмне забезпечення призначені для підтримки таких процесів. Проте, процеси, які підтримуються цими інструментами, часто складаються з повністю автоматизованих дій. Останнім часом зростає важливість соціальних мереж (Facebook, Twitter, LinkedIn та ін.), і системам BPM потрібно вміло включати такі комп'ютерно-опосередковані людські взаємодії.

P2P

- учасниками є люди
- процеси слабо формалізовані

P2A

- гнучкі процеси
- відхилення з урахуванням бізнес-правил

A2A

- дії БП виконуються програмним забезпеченням
- процеси формалізовані

Рисунок 1.2 – Види бізнес-процесів за клієнтами

Термін "соціальний BPM" вказує на використання таких мереж для вдосконалення процесів.

На іншому кінці спектра процеси A2A включають тільки дії, які виконуються програмним забезпеченням системи. Фінансові системи можуть обмінювати повідомлення та гроші без участі людини, логістичні інформаційні системи можуть автоматично замовляти продукти при падінні запасів нижче певного порогу, системи обробки транзакцій, EAI-платформи та сервери виконувати інтеграцію веб-інтерфейсів.

Бізнес-процеси за клієнтами змінюються в залежності від ступеню їх формалізації на такі типи [7]:

- неформалізовані;
- разові;
- гнучкі;
- формалізовані.

Процес вважається неформалізованим, якщо для нього відсутня явна модель процесу. Це стосується процесів спільної роботи, що підтримуються

системами групового програмного забезпечення і не мають можливості визначення моделей процесів.

Процес є разовим, якщо модель процесу визначається наперед, але виконується лише один раз або декілька разів з подальшим відкиданням або змінами. Це характерно для середовищ управління проектами або наукових обчислювальних середовищ, де вчений може визначити модель процесу, що відповідає обчисленню на сітці та використовувати її для багаторазового набору даних та обчислювань.

Гнучкий процес характеризується апіорі визначеною моделлю процесу та обмеженнями, що описують «типовий спосіб виконання речей». Це дозволяє процесу, що фактично виконується, відхилитися від цієї моделі в певних межах. Прецедентно-орієнтовані системи підтримують такі процеси, підтримуючи ідеальний процес та неявно визначені відхилення.

Формалізований процес слідує апіорно визначеній моделі процесу покроково. Такі процеси найкраще підтримуються традиційними системами управління бізнес-процесами (WFM).

В цілому ступінь структурування базових процесів (неформалізовані, разові, гнучкі, або формалізовані) корелює з характером учасників у процесі (P2P, P2A і A2A). Науково-орієнтовані процеси, як правило, менше структуровані та більше орієнтовані на людей.

Процеси з високим ступенем повторюваності, як правило, тісно оформлені та автоматизовані. Межі між неформалізованими, разовими, гнучкими та формалізованими процесами не є чіткими. Життєвий цикл процесу може призвести до змін його структури від гнучкого до формалізованого і навпаки. Такі перетворення відбуваються по мірі удосконалення системи процесного управління на підприємстві.

Бізнес-правила в контексті процесного управління визначають умови, обмеження і логіку, які характеризують допустимі послідовності дій бізнес-процесу. Ці правила можуть бути встановлені на різних рівнях кожного бізнес-процесу або взагалі для всієї організації.

Основна мета бізнес-правил - це забезпечення ефективності, контролю та відповідності в ході виконання бізнес-процесів. Вони можуть описувати, які дії або події є допустимими, а які - неприпустимими, а також визначати умови для переходу від одного етапу до іншого.

У процесному управлінні бізнес-правила можуть використовуватись для розуміння та аналізу того, наскільки реальні бізнес-процеси відповідають заданим стандартам і стратегіям компанії. Це допомагає виявляти потенційні аномалії, невідповідності або можливості для оптимізації.

Наприклад, бізнес-правила можуть визначати, що в критичних ситуаціях певний етап бізнес-процесу повинен бути завершений протягом певного часового інтервалу.

Інше правило може обмежувати доступ до певних інформаційних ресурсів лише певним співробітникам чи рівням управління.

Бізнес-правила можуть бути визначені неявно (тобто бути представлені як внутрішні знання експертів) або явно (формалізовані у вигляді текстових правил або логічних умов). Вони є важливою частиною стратегічного управління бізнес-процесами та можуть служити основою для розробки та вдосконалення інформаційних систем організації (рисунок 1.3).

Неявні бізнес-правила – це ті, які не формалізовані чітко визначеними текстовими правилами або логічними умовами. Замість цього вони базуються на внутрішньому розумінні та досвіді експертів, які взаємодіють з бізнес-процесами. Ці правила можуть бути складними для експліцитного формалізованого опису через їхню неструктурованість та залежність від контексту.

Розглянемо приклади неявних бізнес-правил: експертне рішення в управлінні ризиками або стратегії обслуговування клієнтів. У банківській сфері експерти з управління ризиками можуть визначати внутрішні процедури та підходи до ризикового аналізу, але ці знання можуть бути складно формалізувати в чіткі правила.

Експерти в обслуговуванні клієнтів у роздрібній торгівлі можуть визначати підходи до взаємодії з клієнтами, але ці взаємодії можуть бути контекстуальними та залежати від ряду факторів.

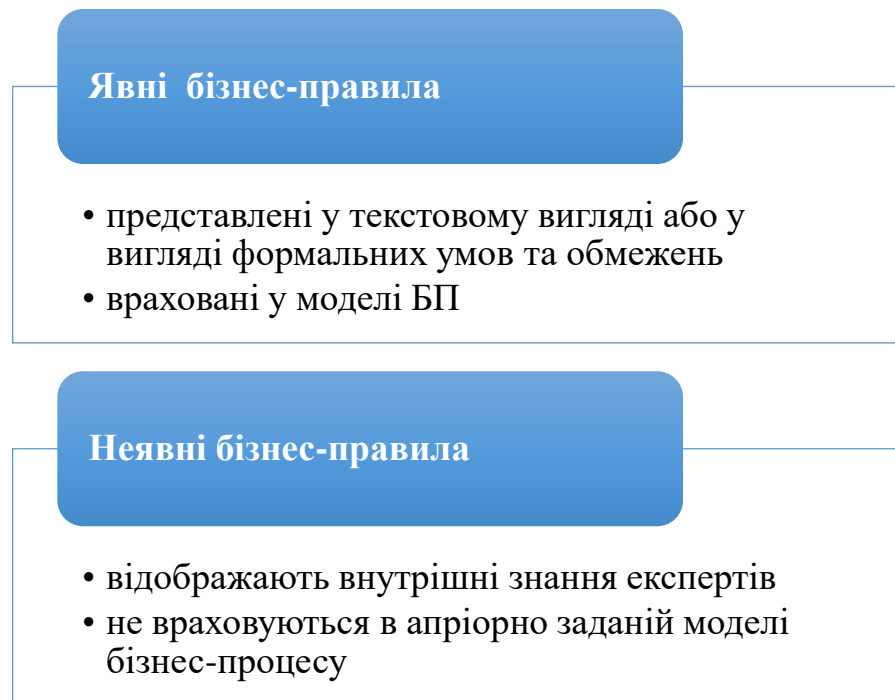


Рисунок 1.3 – Відмінності явних та неявних бізнес-правил

Явні бізнес-правила - це ті, які чітко визначені, формалізовані та виражені в явному вигляді. Це може бути вигляд текстових правил, логічних умов або формул, які визначають обмеження та умови для виконання конкретних дій в бізнес-процесі.

Розглянемо приклади неявних бізнес-правил: правила виконання терміну платежу та політики знижок. В управлінні обліком платежів бізнес може визначити конкретний термін, до якого клієнт повинен здійснити оплату після отримання рахунку. Бізнес може визначити явні умови для надання знижок на свої товари чи послуги, такі як обсяг покупок, дати або спеціальні умови.

Формальний опис моделей бізнес-процесів (Петрі-мережі, BPMN, UML та EPC) використовується для узагальненого опису процесів у термінах дій (і, як правило, підпроцесів).

Організація цих дій моделюється за допомогою визначення причинно-наслідкових зв'язків. Крім того, модель процесу може описати його важливі властивості, визначити процедури створення та використання даних, а також способи взаємодії ресурсів із бізнес-процесом (ролі, правила розподілу та пріоритети).

Процесні моделі допомагають управляти складністю, забезпечуючи прозорість та документацію процедур.

Міжорганізаційні процеси можуть ефективно функціонувати лише за умови згоди щодо необхідних взаємодій. Як результат, моделі процесів широко використовуються в сучасних організаціях.

Протягом останнього століття було запропоновано багато підходів до моделювання БП. Мережі Петрі грають важливу роль в BPM, оскільки вони графічні та можуть моделювати паралелізм. Фактично більшість сучасних нотаций і систем BPM використовують семантику на основі токенів, запозичену з мереж Петрі. Оскільки в бізнес-процесах часто відбуваються багато дій паралельно, підтримка паралелізму є важливою для систем BPM.

З 1970-х років існує консенсус щодо моделювання даних. Хоча існують різні мови та різновиди СУБД, існує узгодженість щодо фундаментальних концепцій для інформаційно-центричного погляду на інформаційні системи. З іншого боку, процесоцентричний погляд на інформаційні системи не є узгодженим.

Незважаючи на наявність усталених формальних мов (наприклад, мережі Петрі та обчислень процесів), промисловість використовує мови, специфічні для конкретних галузей. Внаслідок цього існує багато систем і доступних мов сьогодні (BPMN, BPEL, UML, EPC і т. д.).

Розглянемо приклад моделі бізнес-процесу у вигляді графового представлення (рисунок 1.4).

Модель реалізує сценарій із послідовності дій {1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9}. Цей сценарій описує випадок, де автомобіль бронюється (дія 1), додається додаткове страхування (дія 2), бронювання підтверджується (дія 3), починається процес

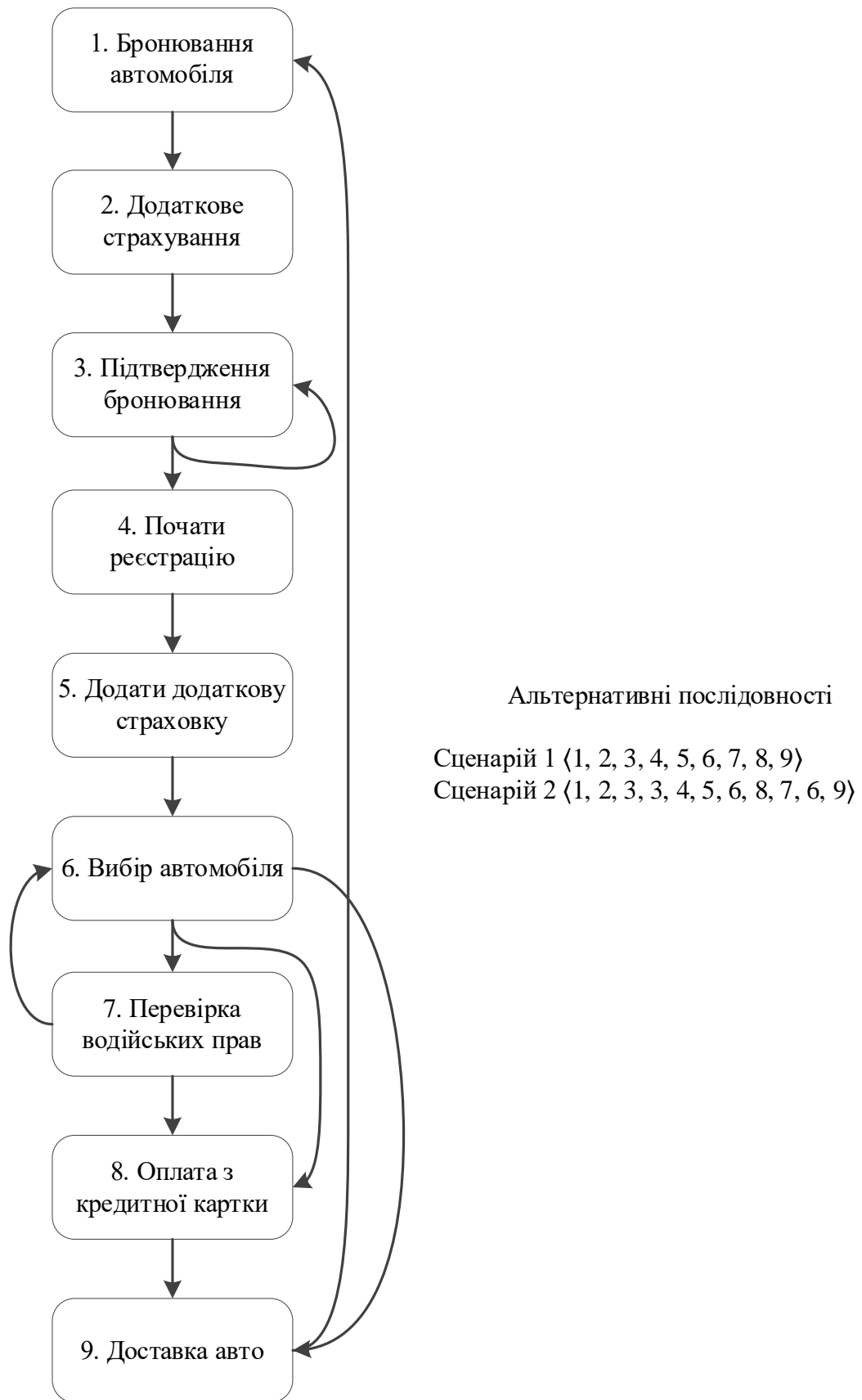


Рисунок 1.4 – Приклад моделі бізнес-процесу у формі графу послідовності робіт

реєстрації (дія 4), додається ще страхування (дія 5), обирається автомобіль (дія 6), перевіряється ліцензія (дія 7), здійснюється зарядка кредитної картки (дія 8), і автомобіль постачається (дія 9).

У даній моделі головна увага приділяється потоку робіт і не враховуються аспекти, пов'язані з даними, прийняттям рішень, розподілом ресурсів і т. д. Аспект потоку робіт (моделювання порядку виконання дій) часто є основою моделі процесу. Однак інші аспекти, такі як аспект ресурсів (моделювання ролей, організаційних одиниць, авторизацій і т. д.), аспект даних (моделювання рішень, створення даних, форм і т. д.), аспект часу (моделювання тривалостей, термінів і т. д.) та аспект функцій (опис дій та відповідних застосунків), також важливі для створення комплексних моделей процесів.

Для моделювання потоку робіт широко використовується нотація мережі Петрі. Однак існують різні альтернативні позначення (наприклад, BPMN, UML, EPC), які також широко використовуються. Шаблони робочих процесів [9] описують ключові функціональності мовою, що є незалежною від конкретної мови.

Зрозуміло, що існують відмінності в виразності та придатності між мовами, але ці відмінності є значущими лише для більш складних шаблонів. Крім того, дослідження в [10] виявило, що в моделях бізнес-процесів зазвичай використовують лише частину детальної мови, такої як BPMN. Це свідчить про відсутність зв'язку між зусиллями стандартизації в управлінні бізнес-процесами та реальними потребами фахівців у цій галузі.

Модель, представлена на рисунку 1.4, може бути створена вручну або виявлена методами Process Mining [8]. Модель на рисунку 1.4 може використовуватися для налаштування системи управління бізнес-процесами. Після налаштування нові випадки, які не в повній мірі відображено в моделі, обробляються відповідно до бізнес-правил.

Однак ця модель також може бути використана для аналізу (без прив'язки до системи підтримки), наприклад, після додавання інформації про час та частоту, її можна використовувати для аналізу альтернативних варіантів розвитку

подій за допомогою симуляції. Іноді моделі процесів використовуються лише для аналізу потоків робіт, а не для подальшої реалізації в системі процесного управління.

1.2 Аналіз процесного управління

Процесне управління представляє собою управління бізнес-процесами (BPM), що надає комплекс інструментів та ресурсів для аналізу та визначення, а також оптимізації, моніторингу й подальшого контролю різноманітних бізнес-процесів.

Головна мета BPM полягає в тому, щоб забезпечити ефективність взаємодії та виконання бізнес-процесів підприємства, а також вимірювати їх результативність та вдосконалювати їх [19].

BPM передбачає аналіз та визначення різноманітних бізнес-процесів, їх оптимізацію для досягнення максимальної ефективності та вирішення завдань, пов'язаних із контролем та моніторингом. Однак BPM не обмежується лише внутрішніми аспектами підприємства; воно також спрямоване на взаємодію та оптимізацію взаємодії зовнішніх бізнес-партнерів та клієнтів.

Ця дисципліна передбачає використання інструментів моделювання та аналізу процесів, таких як BPMN (Business Process Model and Notation), які дозволяють глибоко вивчати структуру та логіку бізнес-процесів. При цьому акцент робиться на забезпеченні високого рівня взаємодії та синергії між всіма етапами та учасниками процесу.

Крім того, BPM передбачає постійне вдосконалення та адаптацію БП, щоб враховувати зміни в бізнес-середовищі та відповідати вимогам ринку.

Управління бізнес-процесами (BPM) має веде історію від інформатики та і в науки управління. Так, Фредерік Тейлор представив принципи наукового

управління. Генрі Форд ввів виробництво лінії для масового виробництва автомобілів. Ці ідеї в подальшому реалізовано у сучасних системах BPM.

З 1950 року комп'ютери і інфраструктура цифрової взаємодії стали впливати на бізнес-процеси. Це призвело до суттєвих змін в організації роботи та створило нові способи ведення бізнесу. Бізнес-процеси стали більш складними. Вони суттєво залежать від інформаційних систем і можуть охоплювати кілька організацій.

Системи процесного управління (ПУ) можна розглядати їх як системи, які реалізують всі аспекти, управлінням бізнес-процесами. Тобто ці системи реалізують підтримку конкретних завдань у межах бізнес-процесу. У середині 1990-х років на ринку з'явилося безліч систем WFM, що фокусувалися на автоматизації робочих процесів з обмеженою підтримкою аналізу, гнучкості та управління процесами. На сьогодні системи процесного управління – BPM надають широкий спектр підтримки бізнес-процесів, включаючи побудову і удосконалення моделей, процесну аналітику, порівняння заданого моделлю та фактичного ходу робіт процесу, тощо.

В порівнянні з ринком баз даних, ринок BPM є більш різноманітним, і відсутній загальний консенсус щодо позначень та основних можливостей. Це впливає з того, що управління процесами є значно складнішим завданням, ніж управління даними.

На рисунку 1.5 відображений життєвий цикл ПУ, що складається з трьох фаз:

- побудова/ перебудова моделі БП;
- реалізація моделі БП;
- налаштування та виконання БП.

Під час фази побудови проектується модель процесу, яка потім трансформується в виконувану систему на етапі реалізації. Якщо модель БП вже існує у вигляді виконуваного файлу та використовується в системі WFM або BPM, цей етап може бути коротким. Однак, якщо модель неформальна і вимагає

жорсткого кодування з використання традиційного програмного забезпечення, то це може займати значний час.

Після реалізації підтримки управління конкретним БП системою BPM, починається етап налаштування. Під час цього етапу процеси включаються та конфігуруються за необхідності. На відміну від етапу реалізації, в цій фазі процеси не модифікуються, і нове програмне забезпечення не створюється. Використовуються лише попередньо визначені елементи керування для адаптації або реконфігурації процесу.



Рисунку 1.5 – Життєвий цикл бізнес-процесу

На рисунку 1.6 відображено два типи аналізу:

- аналіз на основі моделі;
- аналіз на основі даних.

Поки система процесного управління виконує процес, паралельно збираються дані щодо подій процесу. Вказані дані відображають виконання процедур останнього.

Ці дані можуть використовуватися для аналізу поточних бізнес-процесів, зокрема для виявлення відхилень. Вони виступають в якості вхідних даних на

етапі редизайну (перебудови БП). Протягом цього етапу можна використовувати модель аналізу фазових процесів, наприклад, для аналізу альтернатив або перевірки правильності нового дизайну за допомогою моделювання виконання бізнес-процесу згідно заданих в моделі послідовностей робіт.

Сфера застосування BPM виходить за межі впровадження бізнес-процесів, як видно з рисунку 1.6.

При реалізації процесного управління виконується цикл удосконалення бізнес-процесів.

Аналіз на основі моделі

- аналіз альтернативних варіантів БП
- порівняння моделі БП та процесу, що фактично виконується

Аналіз на основі даних

- формується журнал подій
- дані про події використовуються для аналізу БП, що виконується

Рисунок 1.6 – Підходи до аналізу бізнес-процесу

На базі наведеного життєвого циклу бізнес-процесів визначаються задачі процесного управління (рисунок 1.7):

Задача 1: визначення переліку бізнес-процесів. При вирішенні першої задачі підприємство встановлює перелік бізнес-процесів і проводить аналіз для того щоб з'ясувати, що потрібно вдосконалити.

Задача 2: формування моделей бізнес-процесів. При вирішенні другої задачі розробляється поточна модель процесів, в якій відображається поточний стан, і формується ідеальна модель для майбутнього управління процесом.

Задача 3: реалізація бізнес-процесів. Під час реалізації ідеальна модель інтегрується в бізнес-діяльність підприємства, можливо, шляхом впровадження

нових технологій, оновлення процедур, змін ресурсів, навчання або керування проектом.

Задача 4: моніторинг бізнес-процесів. При вирішенні задачі моніторингу відбувається постійне спостереження за ефективністю реалізованої ідеальної моделі процесу. Збираються дані про її роботу.

1. Визначення переліку БП

визначення рівнів деталізації БП
визначення БП
визначення потреб удосконалення БП

2. Побудова моделей БП

формується поточна модель БП
поточна модель удосконалюється

3. Реалізація БП

модель БП імплементується в рамках системи ПУ
виконується початкове конфігурування моделі

4. Моніторинг БП

перевірка відповідності значень показників БП
формування логу (журналу подій)

5. Удосконалення БП

удосконалення на основі використання даних журналу подій
удосконалення з урахуванням змін у бізнес-правилах

Рисунок 1.7 – Аналіз бізнес-процесу

Задача 5: удосконалення бізнес-процесу. При вирішенні даної задачі процес постійно вдосконалюється на основі зібраної інформації під час моніторингу і врахування змін у бізнес-правилах з часом.

Задачі побудови, а також удосконалення БП вирішуються шляхом порівняння поточної моделі БП, що виконується, а також апріорно розробленої моделі процесу з урахуванням обмежень, що задані у форму бізнес-правил.

Побудова першої моделі може бути виконана методами Process Mining. Також методи інтелектуального аналізу процесів дають можливість визначити бізнес-правила, що фактично виконуються на підприємстві. Такі правила відображають не лише формальні обмеження, але й знання виконавців щодо особливостей реалізації БП в конкретних умовах.

1.3 Аналіз задач та методів Process Mining

Однією із важливих задач процесного управління є постійне вдосконалення та оптимізація бізнес-процесів для досягнення максимальної ефективності та конкурентоспроможності. Для вирішення цієї задачі використовується методологія Process Mining, інтелектуального аналізу процесів.

Process Mining містить набір методів та підходів, спрямованих на аналіз та оптимізацію бізнес-процесів, які існують у інформаційних системах. Основна мета цього підходу полягає в аналізі системних даних, які виникають в результаті виконання операцій бізнес-процесів.

Методи Process Mining базуються на детальному аналізі журналів подій, які формуються під час виконання різноманітних операцій в інформаційних системах. Ці журнали подій визначають структуру та поведінку бізнес-процесів, що дозволяє отримати важливі знання для їх подальшого удосконалення.

Завдяки Process Mining, організації можуть отримати глибоке розуміння того, як працюють їхні бізнес-процеси. Це відкриває можливості для ідентифікації ефективних стратегій оптимізації, виявлення можливих вузьких місць та удосконалення взаємодії між різними етапами процесів.

Сучасні інформаційні системи процесного управління здатні реєструвати величезний обсяг подій, що відбуваються в бізнес-процесах. Зберігання цих даних, розподілених у різних таблицях баз даних, сервісах та інших ресурсах, часто відбувається у неструктурованій формі. Отже, хоча дані про події фактично існують, їх вилучення вимагає додаткових зусиль. Вилучення даних визнається як необхідна складова будь-якого процесу процесної аналітики.

Структуризація даних про події реалізується з використанням журналів подій (логів), які складаються з чітко визначених подій, що стосуються конкретного випадку та окремої діяльності. В створенні журналів подій можна використовувати різні підходи, залежно від мети проведення дослідження та аналізу.

В рамках методології Process Mining вирішуються такі задачі (рисунок 1.8):

- виявлення моделей БП, що виконуються;
- перевірка відповідності моделей БП, що виконуються, та апріорних моделей БП в системі процесного управління.
- вдосконалення моделей БП в системі процесного управління.

Задача виявлення моделей БП передбачає, що схема поточного процесу будується на основі аналізу журналу подій. Наприклад, результатом такої процесної аналітики може бути виявлення та побудова мережі Петрі «as is» для поточного процесу.

Перевірка відповідності передбачає, що вже існує схема процесу «to be» в системі процесного управління. Перевіряється відповідність моделей «as is» та «to be». Перевірка може також виявити відхилення, їх локалізацію та пояснення, а також вимірювання їх важливості.

Задача удосконалення використовує існуючу модель процесу «to be». Вона розширюється вона розширюється новим аспектом або перспективою з

використанням бізнес-правил та моделі «as is». Ідея полягає в коригуванні схеми БП, наприклад, після виявлення вузьких місць та можливостей оптимізації.

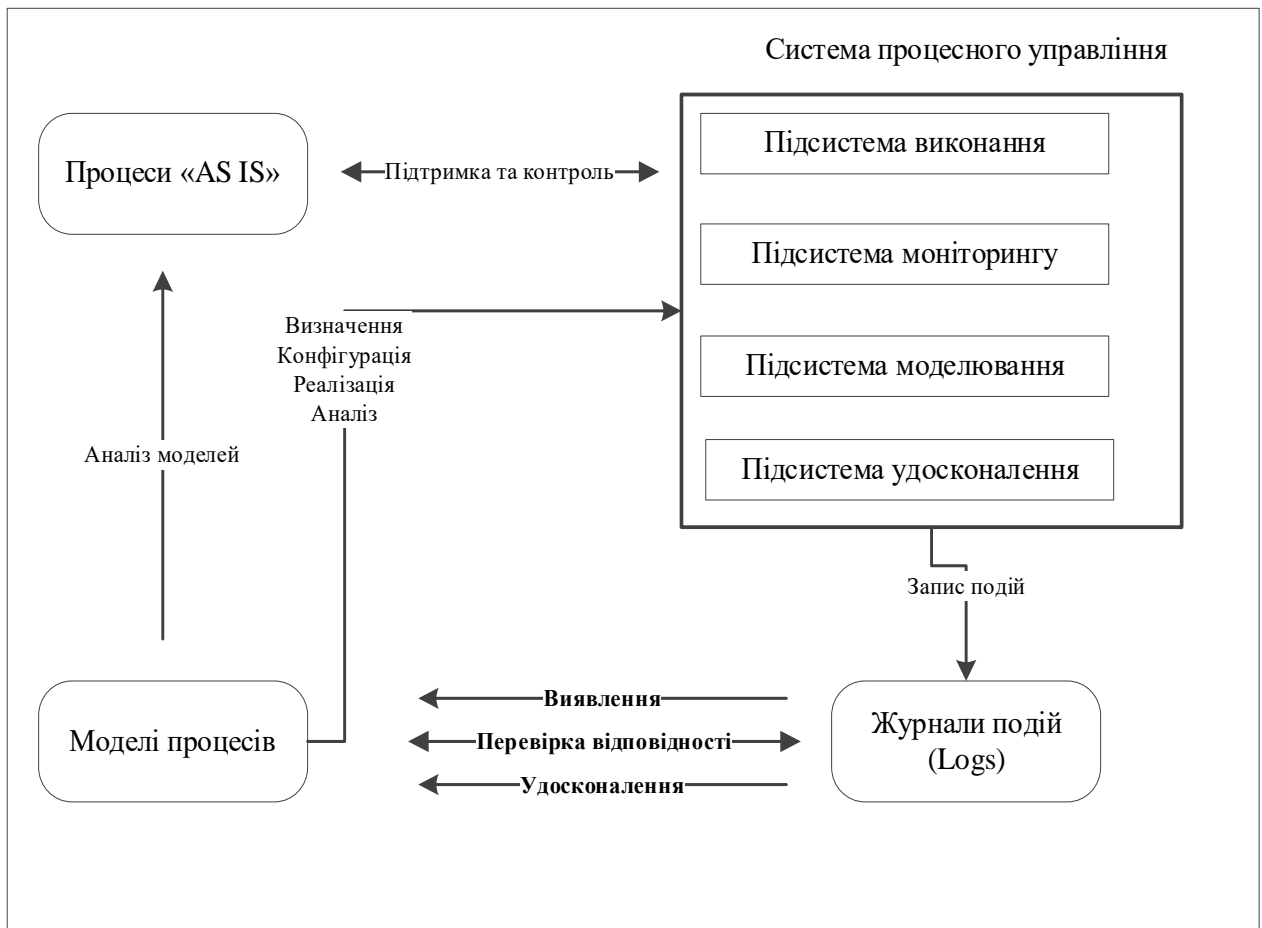


Рисунок 1.8. – Задачі процесного управління

Задача удосконалення використовує існуючу модель процесу «to be». Вона розширюється вона розширюється новим аспектом або перспективою з використанням бізнес-правил та моделі «as is». Ідея полягає в коригуванні схеми БП, наприклад, після виявлення вузьких місць та можливостей оптимізації.

Проведений аналіз показав, що на сьогодні в області інтелектуального аналізу процесів використовуються 5 базових алгоритмів (рисунок 1.9).

Alpha Miner – це алгоритм, спрямований на виявлення та моделювання структури бізнес-процесів на основі журналів подій або інших даних, що

відображають послідовність подій бізнес-процесу. Основна мета цього алгоритму - аналізувати логічні зв'язки у послідовності подій та встановити залежності між різними діями БП.



Рисунок 1.9 – Задачі процесного управління

Однією з ключових особливостей Alpha Miner є його здатність заповнювати відсутні дані у журналах подій або спостережуваних даних. Він враховує паралельні активності, де кілька дій можуть відбуватися одночасно, а не послідовно.

Це особливо важливо для виявлення паралельних шляхів виконання бізнес-процесів з метою оптимізації часу.

Алгоритм використовує позначки часу, щоб розуміти часові зв'язки між подіями та будувати модель процесу.

На вході Alpha Miner отримує журнал подій, який містить інформацію про різні етапи виконання процесу. Після обробки цих даних алгоритм генерує модель у формі мережі Петрі.

Однак важливо враховувати, що Alpha Miner має свої обмеження.

Наприклад, він не розпізнає циклічних подій або дій, що повторюються. Також, він може погано обробляти некоректні дані, такі як помилки введення чи неповнота даних, що може впливати на точність та простоту моделі процесу. Однак цей недолік не є суттєвим при вирішенні задачі виявлення бізнес-правил.

У загальному, Alpha Miner є потужним інструментом для виявлення та моделювання бізнес-процесів, зокрема у ситуаціях, коли деякі етапи виконання можуть відбуватися паралельно або оптимальним чином.

Heuristics Miner (евристичний майнер) – це метод, призначений для виявлення та моделювання бізнес-процесів на основі логів. Його основна ідея полягає в застосуванні евристик, або евристичних правил, для визначення зв'язків між подіями та створення моделі процесу.

Однією з ключових особливостей Heuristics Miner є його стійкість до некоректних даних. Алгоритм спроможний працювати з даними, які можуть містити помилки введення. Це робить його ефективним інструментом для ситуацій, де дані можуть бути менш структуровані або містити шум.

Процес роботи Heuristics Miner включає кілька етапів.

Етап 1. Побудова графа залежностей.

Алгоритм аналізує послідовність подій та будує граф, який відображає залежності між діями у процесі. Це допомагає визначити порядок виконання дій.

Етап 2. Побудова вхідних і вихідних виразів.

Для кожної діяльності алгоритм визначає вхідні та вихідні події. Це допомагає зрозуміти, як дії взаємодіють одна з одною.

Етап 3. Пошук залежностей на великій відстані: Алгоритм враховує віддалені зв'язки між діями, які можуть виникати на значній відстані одна від одної. Це робить модель більш повною та реалістичною.

Heuristics Miner враховує частоту подій та може описувати лише ті події, які виключно залежать одна від одної або є повністю незалежними.

Цей алгоритм є корисним інструментом для аналізу менш структурованих процесів, де важко встановити чіткі правила та порядок виконання дій.

Fuzzy Miner - це алгоритм, призначений для аналізу та моделювання менш структурованих бізнес-процесів, які можуть демонструвати нечітку та конфліктну поведінку. Основна мета Fuzzy Miner - це перетворення складних та слабоструктурованих процесів в більш компактні та зрозумілі моделі.

Основні відмінності Fuzzy Miner включають:

- обробка слабоструктурованих процесів;
- методи оптимізації моделі;
- адаптивність до конфліктних сценаріїв;
- врахування частоти подій.

Fuzzy Miner ефективно працює з процесами, які можуть бути менш структурованими та включати велику кількість нечітких та конфліктних елементів. Це особливо важливо в ситуаціях, де порядок дій не завжди чітко визначений.

Fuzzy Miner використовує різноманітні методи оптимізації для того, щоб зробити модель більш зрозумілою та компактною. Це може включати видалення неважливих зв'язків, кластеризацію корельованих елементів, або видалення ізольованих кластерів.

Fuzzy Miner враховує можливість конфліктів та невизначеності в процесі, де декілька шляхів виконання може бути можливим. Це робить його ефективним для ситуацій, де одна діяльність може мати кілька варіантів виконання.

Як і інші алгоритми Process Mining, Fuzzy Miner враховує частоту виникнення подій, що дозволяє виділяти та аналізувати ключові аспекти процесу.

В цілому, Fuzzy Miner є потужним інструментом для аналізу бізнес-процесів, де правила та порядок виконання дій можуть бути менш чіткими. Він надає можливість узагальнення та моделювання різноманітної поведінки, що робить його корисним для розуміння складних та гнучких процесів в організаціях.

Inductive Miner - це алгоритм, використовуваний у Process Mining, який спрямований на виявлення та моделювання структурних залежностей в бізнес-процесах. Основна мета Inductive Miner - це побудова моделей, які відображають переходи та розвилки у процесі виконання завдань.

Основні характеристики Inductive Miner включають:

- виявлення розвилок та переходів;
- робота з різними типами розділень;
- побудова мережі Петрі та дерева процесів;
- унікальні позначки для видимих переходів;
- адаптивність до різноманітних сценаріїв.

Inductive Miner акцентує увагу на виявленні різноманітних структур в процесі, таких як умови (розвилки) та переходи між стадіями процесу. Це дозволяє адекватно відобразити логіку виконання завдань.

Алгоритм класифікує розділення подій у журналі подій, такі як послідовний, паралельний, одночасний та петлі. Це важливо для правильного відображення структури процесу.

Inductive Miner створює моделі процесів у формі мережі Петрі або дерева, в яких видно логічні зв'язки між подіями та переходами.

Використовуючи індуктивний алгоритм, можна отримати унікальні позначки для кожного видимого переходу у моделі, що полегшує подальший аналіз та інтерпретацію.

Inductive Miner може ефективно працювати з різноманітними структурами даних та сценаріями виконання процесу. Він дозволяє враховувати різноманітність та гнучкість в бізнес-процесах.

Загалом, Inductive Miner є важливим інструментом у сфері Process Mining, спрямованим на створення точних та адекватних моделей бізнес-процесів з урахуванням різноманітних структурних елементів та залежностей.

Алгоритм генетичного майнера (Genetic Miner), базується на природному відборі та представляє собою важливий інструмент в галузі аналізу бізнес-процесів. Генетичні алгоритми широко використовуються у різних галузях для оптимізації та пошуку рішень, застосовуючи ідеї еволюції та вибору найкращих альтернатив. Цей алгоритм демонструє високу ефективність у вирішенні проблем, пов'язаних з шумом та неповнотою даних в моделях процесів.

Першим етапом в роботі генетичного майнера є відбір даних із журналу подій. Це дозволяє отримати вхідні дані для аналізу та подальшого використання в процесі генетичного пошуку.

Наступним кроком є побудова стартового представлення бізнес-процесу, яке визначає простір пошуку еволюційного алгоритму. Це представлення стає основою для подальшої еволюції моделі процесу.

Оцінка придатності є ключовим етапом робіт Genetic Miner. Кожна модель процесу у початковому представленні отримує міру придатності. Остання визначає якість моделі бізнес-процесу у просторі пошуку алгоритму, що визначається журналом подій. Ця міра придатності виступає важливим критерієм для відбору кращих моделей для подальшого розвитку.

Слід зазначити, що генетичний майнер використовує концепції генетичного програмування для створення наступних моделей. Генетичні оператори забезпечують ефективне поєднання та мутацію моделей, забезпечуючи ефективну еволюцію в просторі пошуку. Процес зупиняється лише тоді, коли досягнута оптимальна модель, яка відповідає найкраще журналу подій та визначає структуру бізнес-процесу.

Отже, генетичний майнер визначається своєю здатністю пристосовуватися до складних умов аналізу бізнес-процесів, забезпечуючи високу якість та точність отриманих моделей.

1.4 Постановка задачі дослідження

Сучасне процесне управління охоплює задачі підтримки виконання а також удосконалення бізнес-процесів. При вирішенні другої задачі використовуються моделі бізнес-процесів «as is» та «to be». Перша модель відображає реальне виконання бізнес-процесу. Вона відрізняється від моделі «to be», оскільки робітники вносять коригування при виконанні бізнес-процесу з використанням своїх знань. Ці знання відображають бізнес-правила підприємства. Модель «as is» формується з використанням методів інтелектуального аналізу процесів. Порівняння моделей виконується аналітиком. Ключові відмінності між моделями «as is» та «to be» пов'язані із коректним використанням бізнес-правил при виконанні бізнес-процесів, оскільки бізнес-правила задають обмеження на можливі послідовності робіт процесу. Тому використання методів інтелектуального аналізу процесів для виявлення таких бізнес-правил є актуальною задачею

Метою даної роботи є дослідження методів інтелектуального аналізу процесів для побудови бізнес-правил і подальшого удосконалення бізнес процесів.

Об'єктом дослідження є процеси удосконалення БП з використанням бізнес-правил.

Предметом дослідження є методи інтелектуального аналізу процесів.

Для досягнення мети роботи вирішуються такі задачі:

- дослідження властивостей бізнес процесів;
- аналіз процесного управління;
- аналіз задач та методів Process Mining;
- структуризація бізнес-правил;
- удосконалення методу інтелектуального аналізу Alpha-miner для виявлення бізнес-правил;

- розробка інформаційної технології виявлення бізнес-правил засобами інтелектуального аналізу процесів;
- експериментальна перевірка розробленого методу для побудови бізнес-правил.

2 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДУ ALPHA-MINER ДЛЯ ПОБУДОВИ БІЗНЕС-ПРАВИЛ

2.1 Розробка підходу до виділення ієрархії бізнес-правил на основі аналізу логів бізнес-процесів

Бізнес-правила, в концепції їх широкого розуміння, репрезентують собою визначення стратегічних орієнтирів та обмежень, що регулюють діяльність підприємства. Вони формулюють умови експлуатації підприємства та відображають накопичене знання, яке лягає в основу реалізації конкретних бізнес-процесів [18, 21]. Бізнес-правила визначають функціональні вимоги до загальної моделі підприємства та його окремих бізнес-процесів.

Функціональні вимоги є узагальненими описами бізнес-процесів, які підлягають реалізації в рамках створеної моделі представлення діяльності підприємства. Ці вимоги можуть бути виражені різними засобами, такими як:

- структури даних та знань;
- управляючі послідовності (наприклад, у формі діаграм подій та станів);
- об'єктно-орієнтовані технології (з використанням класів об'єктів та описом взаємодії між об'єктами).

Процес виявлення, перевірки на коректність та верифікації функціональних вимог є завданням високого рівня складності [21, 22]. Для виявлення вимог використовують різноманітні технології, такі як інтерв'ювання та розробка прототипів.

Формулювання вимог може приймати різні форми, такі як текстові документи, діаграми, коментарі чи формальні моделі.

Після формулювання функціональних вимог виникає проблема перевірки їх цілісності, взаємної узгодженості та відповідності вимог поставленим цілям, а також контролю над цими функціональними вимогами на протязі всього життєвого циклу бізнес-процесів підприємства.

Ефективне вирішення цієї проблеми пов'язане з ідентифікацією, перевіркою та верифікацією бізнес-правил як базового елемента для формулювання функціональних вимог. Зазначимо, що виявлення бізнес-правил виявляється ключовим аспектом на етапі формування вимог. Неправильні, неповні, неоднозначні та суперечливі вимоги значною мірою ґрунтуються на відсутності чи суперечливості визначених бізнес-правил. Такий підхід сприяє покращенню якості функціональних вимог та забезпечує їх відповідність стратегічним цілям підприємства.

Бізнес-правила втілюють логіку функціонування БП у вигляді обмежень та умов виконання дій бізнес-процесів.

Бізнес-правила визначають життєвий цикл БП, а також результатів бізнес-процесів і відповідної інфраструктури.

Використання бізнес-правил забезпечує низку переваг, пов'язаних з точнішим і формальнішим визначенням вимог до БП підприємства:

- незалежність від технічної бази;
- реалізація правил при побудові бізнес-процесів;
- формалізоване представлення вимог до якості;
- ефективне управління витратами при внесенні змін у бізнес-процеси.

Базове бізнес-правило характеризується низкою загальних властивостей [17, 19], що визначають його сутність:

- представлено у декларативній формі;
- відображає одну закономірність;
- сформульовано у вигляді тексту мовою користувача;
- відображає потреби підприємства, а не технології, що застосовуються на підприємстві;
- враховує особливості роботи підприємства.

Загальну структуру бізнес-правила представлено на рисунку 2.1.

Виділяються такі категорії бізнес-правил, які задають умови функціонування бізнес-процесів:

- визначення термінології предметної області;

- визначення взаємозв'язку між бізнес-об'єктами;
- визначення базових закономірностей предметної області;

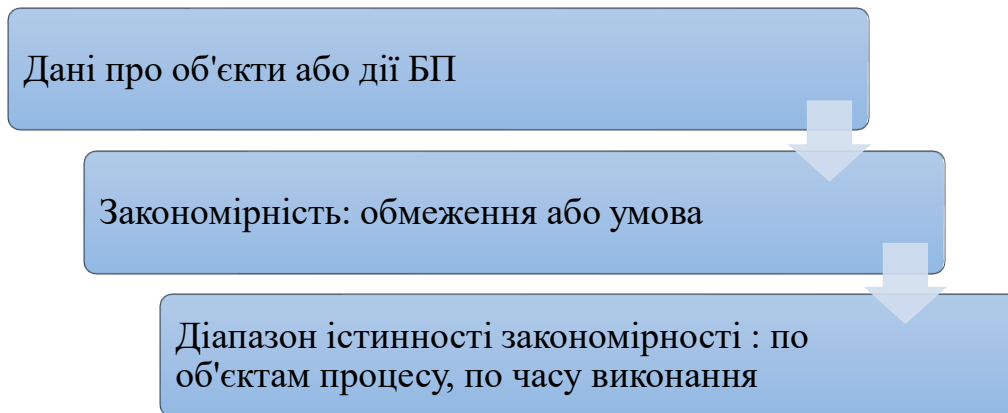


Рисунок 2.1 – Структура бізнес-правила

Наступні категорії бізнес-правил, задають обмеження на порядок функціонування бізнес-процесів:

- правила- загальні обмеження в діяльності підприємства;
- дозволи на виконання процедур;
- обмеження при формуванні результуючих даних бізнес-процесу.

Реалізація процесного підходу до управління призвела до створення формальних моделей представлення бізнес-правил, які відображають особливості процесного представлення підприємства та спрямовані на переосмислення та зміну об'єктів процесу під час його функціонування.

Ключовими елементами бізнес-процесу є бізнес-об'єкти, з якими оперує БП, та дії процесу.

Відмінності формальних бізнес-правил наведено в таблиці 2.1.

Розглянемо правило виділення об'єктів як таке в якому аргументом є один чи кілька об'єктів бізнес-процесу, і в результаті його використання формується визначення нового об'єкта бізнес-процесу.

Кожен новий об'єкт у рамках бізнес-процесу формується шляхом застосування правила, що базується на вже використовуваних об'єктах. Практичне використання цих правил пов'язане із здатністю розширювати

перелік бізнес-об'єктів як при визначенні бізнес-процесу, так і під час його функціонування, створюючи передумови для формалізації управління бізнес-процесами змінною структурою.

Таблиця 2.1 – Відмінності формальних бізнес-правил

Правило	Відмінності
Правило визначення об'єктів БП	При визначенні об'єктів використовуються властивості вже існуючих об'єктів
Правило класифікації об'єктів БП	Дозволяють визначити належність певного об'єкта до підмножини всіх об'єктів бізнес-процесу
Правило управління процедурами	Визначає умови та обмеження для запуску або завершення процедури бізнес-процесу
Правило визначення залежностей між процедурами	Визначає послідовність процедур бізнес-процесу – є обмеження на можливі екземпляри БП

Важливо відзначити, що представлені правила визначення об'єктів у контексті процесного підходу до управління відповідають правилам визначення термінів або об'єктів, які мають конкретне значення для діяльності підприємства при функціональному управлінні.

Текстове формулювання таких правил має наступний вигляд: "термін (об'єкт) визначається як терміни (об'єкти)".

Бізнес-правило, яке базується на аргументації через об'єкт бізнес-процесу та призводить до формування підмножини об'єктів БП через використання оператора, можна визначити як правило класифікації об'єктів бізнес-процесу.

Правила класифікації дозволяють визначити належність певного об'єкта до підмножини всіх об'єктів бізнес-процесу.

Цей тип правил сприяє стандартизації процедур бізнес-процесу, які взаємодіють з об'єктами підмножин, забезпечуючи можливість вводити та обробляти нові об'єкти БП у процесі його виконання.

Додатково, правила цього типу дозволяють виділяти підмножини об'єктів у позаштатному стані та обробляти їх стандартним чином. Також вони відображають асоціативні зв'язки між об'єктами і дозволяють створити ієрархію об'єктів для вивчених бізнес-процесів.

Таким чином, практичне використання правил класифікації об'єктів спрямоване на застосування уніфікованих бізнес-процедур для обробки нових об'єктів БП.

Класифікація дозволяє порівняти характеристики нових та існуючих об'єктів та вибрати відповідні процедури БП для їх обробки. Це спрощує реорганізацію та управління БП через використання типових бізнес-процедур.

Бізнес-правило, що ґрунтується на бізнес-процедурі і викликає активацію чи припинення відповідної процедури через використання оператора, отримує назву "правило управління процедурами бізнес-процесу". Згідно з цим визначенням, такі правила можна класифікувати на правила активації та правила припинення процедур.

Розглянуті правила функціонують як керівні обмеження для управління підприємством та детально описують умови, при яких може виникнути переривання операцій, процедур, транзакцій або прийняття рішень.

Наприклад, «кожне замовлення слід формалізувати лише від одного покупця.»

Розглянуті правила втілюють обмеження для ефективного управління підприємством, детально описуючи умови, при яких може відбутися переривання операцій, процедур, транзакцій чи ухвалення рішень.

Наприклад, обмеження на виконання процедур має вигляд:

IF <УМОВА>,
THEN <необхідно припинити

(2.1)

виконання процедури виконавцем R1>.

Правило циклічного виконання процедури має вигляд:

$$\begin{aligned} & \text{IF } \langle \text{УМОВА} \rangle \quad , \\ & \quad \text{THEN} \quad (2.2) \\ & \langle \text{Виконати процедуру N разів} \rangle \quad . \end{aligned}$$

Правила містять у собі дозвіл на конкретні дії та визначають умови виконання цих дій на підприємстві.

Найпростіші приклади таких правил, виражених текстом, включають:

«Якщо постачальник постачає комплектуючі протягом більш ніж 6 місяців, слід визначити спеціальні умови оплати для цього постачальника.»

"У разі перевищення міжсервісного інтервалу обладнання слід провести сервісне обслуговування."

Типові правила для запуску процедури в текстовій формі можуть бути сформульовані так:

«Виконавець R1 має/може виконати процедуру БП.»

«При досягненні <ТЕРМІН> виконати процедуру бізнес-процесу.»

«Якщо виконується <УМОВА>, виконати дію БП.»

На практиці правила цього типу надають можливість коригування структури бізнес-процесу через додавання нових або заборону виконання існуючих процедур БП. Це коригування може відбуватися навіть під час активного функціонування БП. Розглянемо також правила 4 типу, що стосуються визначення структурних взаємозв'язків між елементами БП.

Правило, що використовується для визначення структурних взаємозв'язків між елементами бізнес-процесу, має аргументом об'єкт, бізнес-процедуру або послідовність процедур. Після застосування правила до цього аргументу, отримуємо елемент бізнес-процесу, який містить у своєму складі аргумент правила.

Розглянуті правила формують відповідують ієрархії елементів бізнес-процесу (рисунок 2.2).

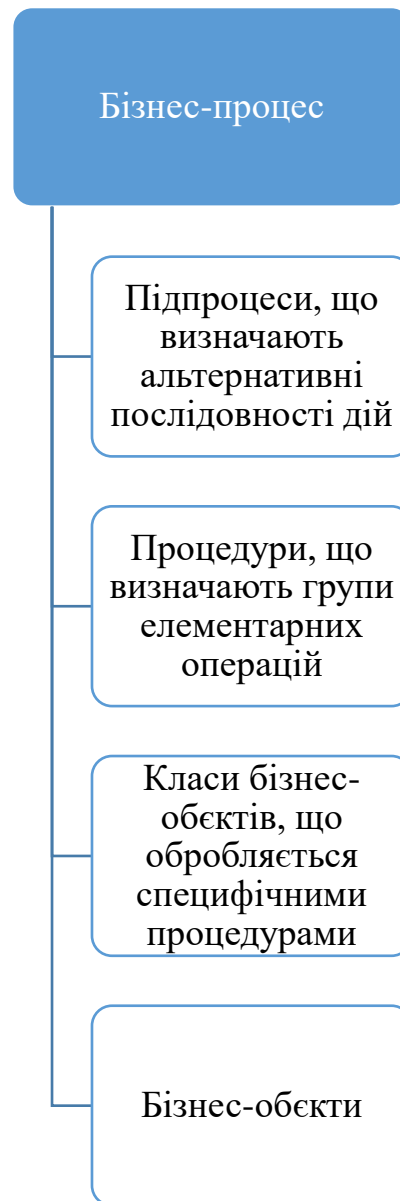


Рисунок 2.2 – Ієрархія елементів бізнес-процесу, що відображена в бізнес-правилах

Правила другого типу встановлюють взаємозв'язки між об'єктом і бізнес-процедурою, яка обробляє цей об'єкт.

Правила третього типу визначають приналежність процедури до послідовності процедур бізнес-процесу, що регулює виконання під час реалізації цього бізнес-процесу.

Правила четвертого типу встановлюють ієрархію послідовностей процедур для конкретного процесу, де одна послідовність може бути частиною іншої.

Таким чином, ці правила сприяють визначенню та структуризації елементів бізнес-процесу, розглядаючи їх у взаємозв'язку в ієрархічній формі.

Відповідно, відхилення у виконанні бізнес-процесів свідчить про порушення правил відповідного рівня ієрархії. Тому загальна схема побудови бізнес-правил з метою знайти порушення у виконанні бізнес-процесу має таку послідовність етапів.

Спочатку методами інтелектуального аналізу процесів виявляються типові послідовності процедури і, на цій основі, бізнес-правила визначення залежностей між процедурами.

На даному етапі використовується лог процесу в цілому, оскільки він містить всі можливі варіанти його виконання у вигляді лінійних послідовностей трас. Кожна трас складається із множини упорядкованих у часі подій. Події відображають виконання процедур бізнес-процесу.

Потім в рамках цих залежностей визначаються правила управління процедурами.

Процедури можуть виконуватись не на всіх трасах логу. Тому на даному етапі в якості вхідних даних використовуються лише підмножина трас, що містять пов'язані процедури.

На третьому етапі визначаються правила, які оперують із класами об'єктів. В даному випадку використовуються підмножини подій, оскільки об'єкти пов'язані не з усіма процедурами бізнес-процесу. Такі підмножини виділяються по трасам (послідовностям подій) логу.

На четвертому етапі визначаються окремі об'єкти на основі аналізу окремих атрибутів подій на трасах логу. Наприклад, визначаються виконавці,

об'єкти з якими оперує процес, підрозділи організації, важливість дій процесу, тощо.

Схематично запропонований підхід представлено на рисунку 2.3.



Рисунок 2.3 – Послідовність виявлення бізнес-правил на основі аналізу логу бізнес-процесу

Результатом виконання даного підходу є ієрархія правил, в якій правила верхнього рівня можуть бути деталізовані на правила нижчих рівнів.

Тому даний підхід дає можливість визначити умови удосконалення бізнес-процесів на різних рівнях організаційної ієрархії підприємства.

Ключовими правилами в рамках даного підходу є правила визначення залежностей між процедурами.

Для побудови цих правил необхідно розглянути методи визначення послідовності процедур бізнес-процесу на основі встановлення логічних залежностей між подіями логу – метод Alpha Miner.

2.2 Визначення часткових порядків на послідовності подій логу для відображення результатів виконання бізнес-правил

Сфера інтелектуального аналізу процесів зазвичай фокусується на отриманні знань про виконання процесу на основі даних подій, які генеруються та зберігаються під час його виконання та відображають виконані операції.

Більшість існуючих методів інтелектуального аналізу процесів передбачає, що дані про події описують виконання діяльності без урахування абсолютних значень часу, лише через загальний порядок для відомих виконаних дій. При такому підході можна виконати порівняльний аналіз однакових або схожих послідовностей подій, які були виконані у різні періоди часу.

Наприклад, бізнес-процес виконувався багаторазово для декількох клієнтів. Тоді можна порівняти послідовності дій і виявити бізнес-правила, що відрізняють поведінку бізнес-процесу для різних клієнтів.

Однак при визначенні бізнес-правил, що задають на практиці умови виконання дій процесу, наприклад, наприклад, реєстрації виконання діяльності з ненульовою тривалістю та невизначеністю щодо правильності записаних часових позначок виконання діяльності, необхідно враховувати частковий порядок у спостережуваних екземплярах бізнес-процесу.

Використання часткових порядків для представлення виконання процесів, дозволяє сформулювати бізнес-правила, що визначають паралельне виконання операцій та обмежують можливі дії у випадку неповноти інформації щодо стану БП в журналі подій.

Інформаційні системи, що автоматизують діяльність підприємств, включаючи системи планування ресурсів підприємства (Enterprise Resource Planning, ERP), такі як SAP, і системи управління взаємовідносинами з клієнтами (Customer Relationship Management, CRM), такі як Salesforce, реалізують моніторинг та відстеження виконання дій, що відбуваються в рамках відповідних бізнес-процесів.

Дані, які аналізуються за допомогою алгоритмів аналізу процесів, фіксуються у журналах подій (логах). У найпростішій формі, такий журнал подій може представляти собою таблицю з трьох стовпців.

Характеристики мінімального набору властивостей подій журналу представлені на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Задачі процесного управління

Наприклад, постачальник страхових послуг може добути з цих журналів точний перелік дій, пов'язаних з страховою претензією. Доступні дані включають всі виконані дії, від ідентифікатора клієнта та типу транспортного засобу до загальних вимог та використаних ресурсів.

При адекватному аналізі такого обсягу інформації можна суттєво покращити загальне розуміння процесу та, відповідно, використати його для оптимізації самого процесу. Отже, журнали таких інформаційних систем стають цінним ресурсом для управління діяльністю підприємства та вдосконалення його ефективності.

Розглянемо таблицю 2.1, яка містить приклад з мінімальною множиною змінних для опису подій, що відображають виконання бізнес-процесів. Перший стовпець містить записи екземплярів процесу.

Таблиця 2.1 Приклад логу з мінімальною кількістю атрибутів

ID	Діяльність	Мітка часу
1	Реєстрація заявки на ремонт	2023-11-02 14:23
1	Аналіз дефекту	2023-11-02 14:30
1	Інформування користувача	2023-11-02 14:45
1	Простий ремонт	2023-11-02 14:45
2	Реєстрація заявки на ремонт	2023-11-02 14:23
1	Тестовий ремонт	2023-11-02 15:05
1	Ремонт архіву	2023-01-12 15:21 вечора
2	Аналіз дефекту	2023-11-02 14:30
2	Інформування користувача	2023-11-02 14:45

Екземпляр процесу може бути виділений, наприклад, по клієнтам, для яких був виконаний бізнес-процес. Другий стовпець фіксує процедури, виконані в кожному екземплярі процесу. Третій стовпець вказує час виконання дії, що дає можливість упорядкувати події для побудови бізнес-правил. Кожен рядок у

таблиці 2.1 представляє одну подію. На практиці для кожної події часто фіксується більше атрибутів даних.

Більшість алгоритмів інтелектуального аналізу процесів використовують відповідну математичну формалізацію вхідних даних, які представляють собою послідовності атомарно виконаних дій. Однак реальні процеси часто включають дії, які не є атомарними, тобто мають ненульову тривалість. Таким чином, декілька дій можуть перекриватися під час виконання. Представлення такого накладення за допомогою послідовностей дій виявляється важким завданням, оскільки необхідно відокремити час початку та завершення діяльності.

Однак ці дії, що перекриваються, свідчать про виконання бізнес-правил, оскільки таке перекриття може виникати внаслідок адаптації бізнес-правил з використанням внутрішніх неявних знань виконавців. Іншими словами, бізнес-правила задають явний порядок і обмеження дій. Однак перекриття дій свідчить про скориговане робітниками виконання бізнес-правил. Тому виявлення таких перекритих послідовностей дій та співставлення їх із бізнес-правилами дає можливість врахувати можливості виконавців та покращити відповідні бізнес-процеси.

Для виявлення таких невідповідностей, крім аналізу логів, доцільно використати поняття часткових порядків з використанням часу початку та завершення дій. В подальшому можна упорядкувати екземпляри бізнес-процесу, а також розв'язувати проблеми, такі як впорядкування екземплярів діяльності з однаковою міткою часу та загальна невизначеність у журналі подій.

Частковий порядок може бути отриманий як моделі процесу, побудованої засобами Process Mining, або з журналу подій. На відміну від повного порядку, частково впорядкована поведінка не визначає взаємовідношення між усіма подіями журналу. Таке представлення загального порядку, яке є виведеним з часткового порядку, може бути корисним для побудови бізнес-правил із логу подій.

Слід зауважити, що перетворення журналу подій у представлення часткового порядку та наступне отримання послідовностей підсумкових

порядків (що відображають бізнес-правила) може призвести до значно більшої кількості результатів порівняно з прямим отриманням загальних порядків з журналу подій (тобто порівняно з моделлю процесу, що був виконаний на підприємстві).

Приклад часткового порядку для трьох екземплярів процесу наведено на рисунку 2.5.

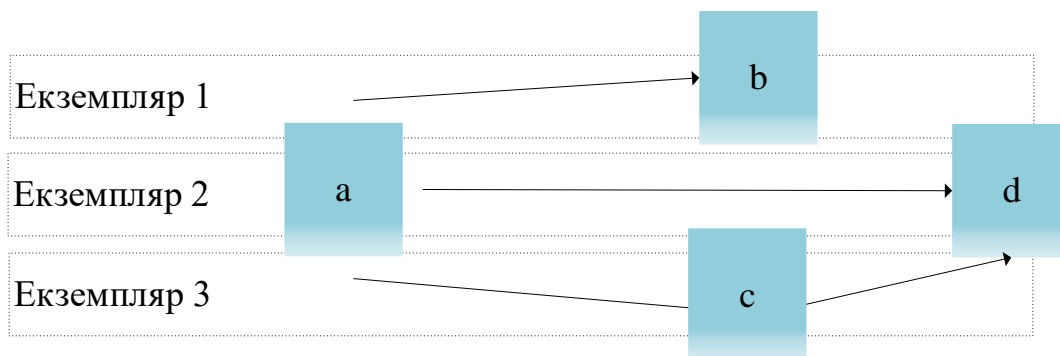


Рисунок 2.5 – Ілюстрація часткового порядку подій для трьох екземплярів бізнес-процесу

Згідно даного рисунку, маємо три можливих послідовності подій (для трьох екземплярів процесу π_1, π_2, π_3), для яких задано строгий порядок:

$$\begin{aligned} \pi_1 &= \langle a_1, b_1 \rangle, \\ \pi_2 &= \langle a_2, d_2 \rangle, \\ \pi_3 &= \langle a_3, c_3, d_3 \rangle. \end{aligned} \quad (2.3)$$

Сукупність цих послідовностей Π становить лог процесу, представленого на рисунку 2.5:

$$\Pi = \{\pi_1, \pi_2, \pi_3\}, \quad (2.4)$$

Однак, якщо порівнювати події з різних екземплярів бізнес-процесу π_1, π_2, π_3 , то ми отримуємо нестрогий порядок:

$$\begin{aligned} s_1 &= \{ \langle b_1, c_3 \rangle, \langle c_3, b_1 \rangle \}, \\ s_2 &= \{ \langle b_1, d_2 \rangle, \langle d_2, b_1 \rangle \}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

Тоді із логу Π не зрозуміло, чи задано порядок між подіями b_1, c_3 , b_1, d_2 . Відсутність порядку свідчить про можливе невиконання бізнес-правил. Тобто обмеження на послідовність робіт, задані бізнес-правилами, «обходяться» при реальному виконанні. Тоді виділення таких бізнес-правил при проведенні інтелектуального аналізу процесів дає можливість виявити можливі порушення (або можливі удосконалення за рахунок неявних знань) моделі бізнес-процесу, що була задана при впровадженні процесного управління.

Формально позначимо частковий порядок між подіями b_1, c_3 , b_1, d_2 таким чином:

$$\begin{aligned} s_1 &= b_1 \succ c_3 \{ \langle \rangle \}, \\ s_2 &= \{ \langle b_1 \succ d_2 \rangle \}. \end{aligned} \quad (2.6)$$

Тоді задача пошуку множини бізнес-правил R на основі аналізу логу є задачею пошуку часткового порядку між подіями:

$$R = \{ e_{ij} \succ e_{kl} \}, \quad (2.7)$$

де e_{ij} , e_{kl} – дві події на різних трасах логу π_i та π_k .

2.3 Адаптація методу Alpha-Miner для вирішення задачі виділення бізнес-правил на основі часткової упорядкованості подій.

Для виявлення бізнес-правил доцільно використати метод Alpha-майнер, оскільки він використовує логічні залежності між подіями логу. Даний метод встановлює послідовність дій між початковим та кінцевим станами бізнес-процесу.

Початковий стан ініціює усі набори дій. Кінцевий стан завершує всі дії процесу. Послідовність дій відображає алгоритм роботи бізнес-процесу і обумовлює хід виконання процесу.

У прикладі на рисунку 2.5 процес має один початковий стан, в якому виконується дія *a*, та 2 кінцевих стани, в яких завершуються дії *b* та *d*. На практиці при моделюванні процесів з декількома вихідними станами може штучно додаватись віртуальний кінцевий стан. Тоді модель набуває узагальненого вигляду з одним початковим і одним кінцевим станом, що спрощує її подальший аналіз.

Однак при вирішенні задачі виявлення бізнес-правил з метою подальшої перевірки та можливого удосконалення моделі бізнес-процесу такий фіктивний стан вводити недоцільно. В даному випадку вивчаються логічні зв'язки між фрагментами бізнес-процесу на предмет порушення/удосконалення існуючих умов та обмежень.

Alpha-алгоритм будує послідовність дій на основі чотирьох відношень між діями процесу, що відповідають відношеннями між подіями логу. Ці відношення представлені на рисунку 2.6.

Пряма або лінійна послідовність подій позначається символом більше " $>$ ". Наприклад, якщо при виконанні бізнес-процесу процедура *a* слідує за процедурою *b*, то такий зв'язок формально відображається як " $b > a$ ", безпосередньо вказуючи на прямий хід виконання процедур для всіх відомих екземплярів бізнес-процесу.

Каузальний зв'язок між подіями позначається символом стрілки “ \rightarrow ”. Наприклад, якщо при виконанні бізнес-процесу процедура а слідує за процедурою б, і ніколи навпаки, тобто б за а, то такий зв'язок формально відображається як “ $b \rightarrow a$ ”, визначаючи б причиною виконання процедури а бізнес-процесу.

Паралельна послідовність помічається за допомогою символу паралельності “ \parallel ”. Якщо для одного екземпляру процесу процедура а слідує за процедурою б, а для іншого навпаки, тобто б за а, то відповідні події позначаються як паралельні “ $a \parallel b$ ”, вказуючи на незалежність таких дій.

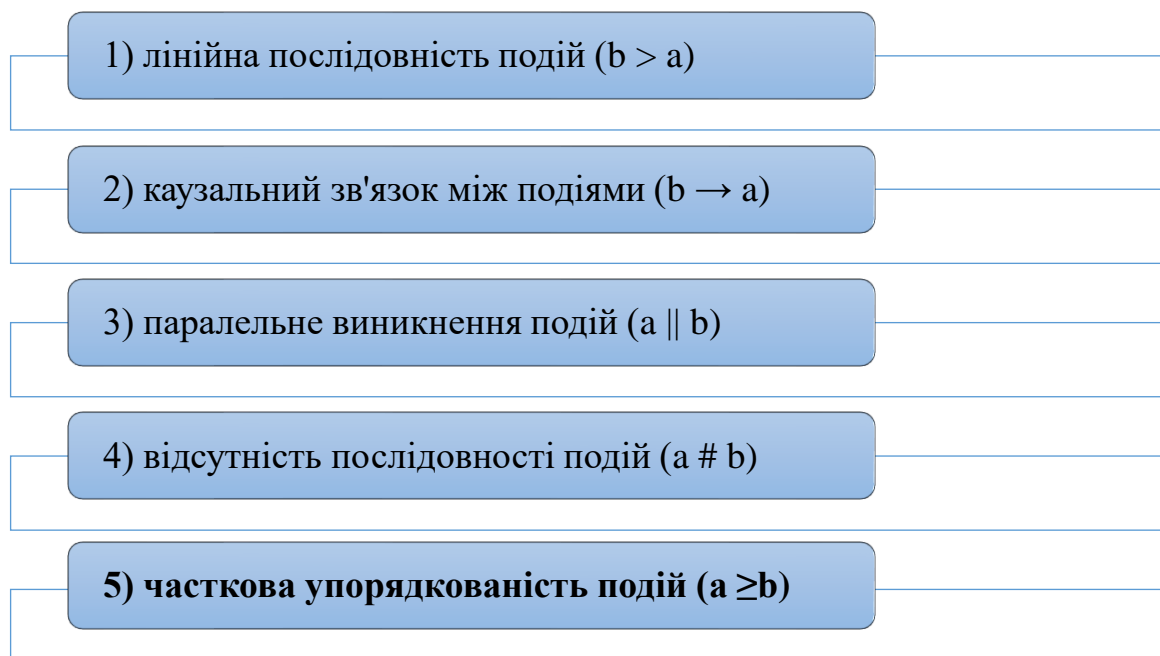


Рисунок 2.6 – Відношення упорядкованості між подіями логіки

Відсутність послідовності позначається символом “ $\#$ ”. Якщо а не слідує за процедурою б за а, то така ситуація позначається решіткою як $a \# b$, що вказує на відсутність прямого порядку між цими діями.

Однак наведені відношення, що використовує альфа-майнер, не враховують частковий порядок подій. Тому пропонується доповнити ці відношення відношенням часткового порядку, що задаються для дій в різних

екземплярах бізнес-процесу (і для відповідних подій з різних трас логу, як було показано на рисунку 2.5).

Відповідно, при вирішенні задачі виявлення бізнес-правил «потрібно знайти часткову упорядкованість. В подальшому ця упорядкованість має бути перевірена аналітиком на предмет виконання визначених бізнес-правил або ж формування нових бізнес-правил, що по факту виконуються на виробництві.

Alpha-miner на основі аналізу логів формує моделі послідовності робіт бізнес-процесу. Даний метод містить основні фази, представлені на рисунку 2.7.

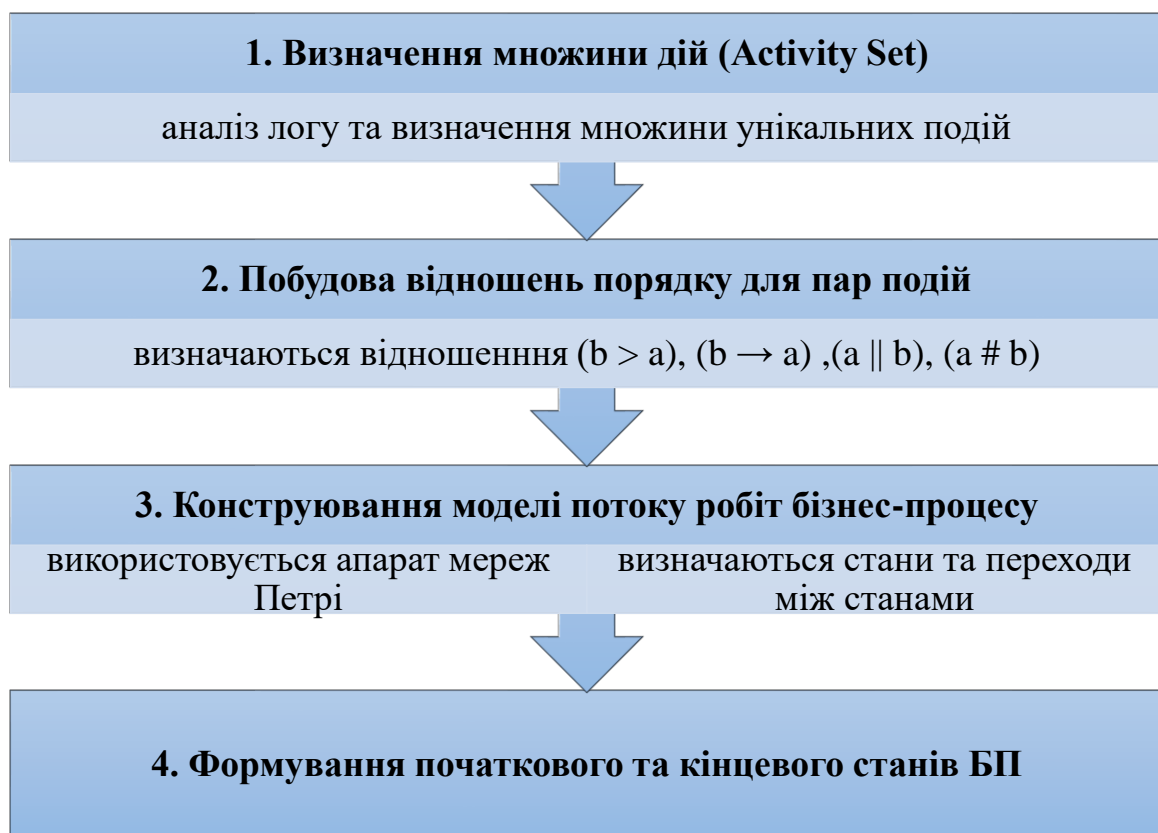


Рисунок 2.7 – Основні фази методу Alpha-miner при побудові моделі бізнес-процесу

Визначення множини дій (Activity Set). На даній фазі алгоритм аналізує журнал подій і виділяє унікальні дії бізнес-процесу, створюючи множину відповідних подій.

Далі виконується побудова відношень порядку для пар подій. Алгоритм визначає відносини порядку між діями на основі їхнього взаємовідношення у журналі подій. Формуються представлені на рисунку 2.6 відношення.

На основі отриманих відношень порядку алгоритм конструює модель потоку робіт бізнес-процесу з використанням математичного апарату мереж Петрі.

На даному етапі визначаються:

- стани процесу, що відповідають подіям логу;
- переходи між станами з урахуванням визначених зв'язків між подіями.

На наступному етапі виконується визначення унікальних початкового та кінцевого стану бізнес-процесу. Початковий стан вказує на початок виконання процесу. Кінцевий стан відображає завершення процесу.

Покращення результатів: Деякі модифікації Alpha-miner можуть використовуватися для поліпшення результатів, таких як уникнення зайвих зв'язків або врахування додаткової інформації про процес.

Alpha-miner орієнтований на побудову моделей бізнес-процесів з журналів подій у випадках, коли структура процесу може бути складною або неповною. Використання цього алгоритму дозволяє отримати відомості про послідовності та взаємодії між діями в рамках процесу для подальшого аналізу та оптимізації.

Тому даний метод може бути модифікований для виявлення бізнес-правил.

Адаптований метод інтелектуального аналізу Alpha-miner містить представлені на рисунку 2.8 етапи.

Особливість розробленого методу полягає в тому, що виділяються неоднозначні фрагменти бізнес-процесу «як є». Така неоднозначність може свідчити про порушення відомих бізнес-правил, або про використання на практиці таких бізнес-правил, які не були відомі розробникам моделі бізнес-процесу «як має бути».

Метод орієнтований на визначення правил, що відображають залежності між процедурами бізнес-процесу і тому використовує відношення часткового порядку між подіями з різних трас логу.

Додаткове уточнення залежностей між подіями може бути досягнуто за рахунок врахування абсолютних значень часу виникнення подій.

1. Визначення множини унікальних подій

- з множини подій логу видаляються дублюючі події, що виникали на різних трасах логу

2. Побудова відношень нестрогого порядку для пар подій

- **2.1 Виділяються події, для яких виконуються відношення $b > a$), $(b \rightarrow a)$, $(a \parallel b)$**
- **2.2 З множини подій видаляються події за результатами кроку 2.1, для яких яких виконуються відношення $b > a$), $(b \rightarrow a)$, $(a \parallel b)$.**
- Формуються відношення нестрогого порядку для подій, для яких традиційних відношень не було виявлено, тобто виконувалась умова $(a \# b)$

3. Конструювання моделей фрагментів потоку робіт бізнес-процесу, для яких задано відношення часткового порядку

Рисунок 2.8 – Адаптований для побудови бізнес-правил метод Alpha-miner

Однак такий підхід має обмеження: різні екземпляри бізнес-процесу, в результаті виконання яких в лог записуються різні траси, можуть бути виконані з великими часовими проміжками. Відповідно, в такому випадку абсолютні значення часу не можуть бути використані для уточнення залежностей між подіями.

3 ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ПРОЦЕНИХ МОДЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ БІЗНЕС-ПРАВИЛ «ЯК Є»

3.1 Обґрунтування основних етапів технології

Розроблена технологія дає можливість вирішити одну з ключових задач процесного управління: постійне удосконалення бізнес-процесів з урахуванням як формалізованих вимог, так і знань співробітників.

Останні зазвичай мають неявну форму. Такі неявні знання підрозділяються на дві групи:

- знання, які можуть бути вербалізованими, тобто отриманими в результаті бесід із інженером знань;
- знання, які не вербалізуються, тобто можуть бути отримані лише в результаті спостереження за виконанням бізнес-процесів робітниками.

Перші можна розглядати як декларативні знання.

Другі представляють собою опис послідовностей дій в різних ситуаціях і тому їх доцільно розглядати як процесні знання.

В рамках процесного управління процедура спостереження реалізується через підсистему моніторингу відповідної ІУС. Результати моніторингу представляються у вигляді журналів подій, як показано на рисунку 3.1.

Такі журнали, як розглядалось раніше, аналізуються засобами process mining.

Аналіз процесів передбачає таку послідовність дій.

По-перше, виконується збір та підготовка даних, тобто збір журналів подій, що містять інформацію про різні дії та події в організації.

По-друге, виконується виявлення процесів (Process Discovery) шляхом використання методів виявлення структури та послідовностей подій, що утворюють процес.

По-третє, здійснюється створення графічних моделей бізнес-процесів, таких як мережі Петрі чи BPMN-діаграми.

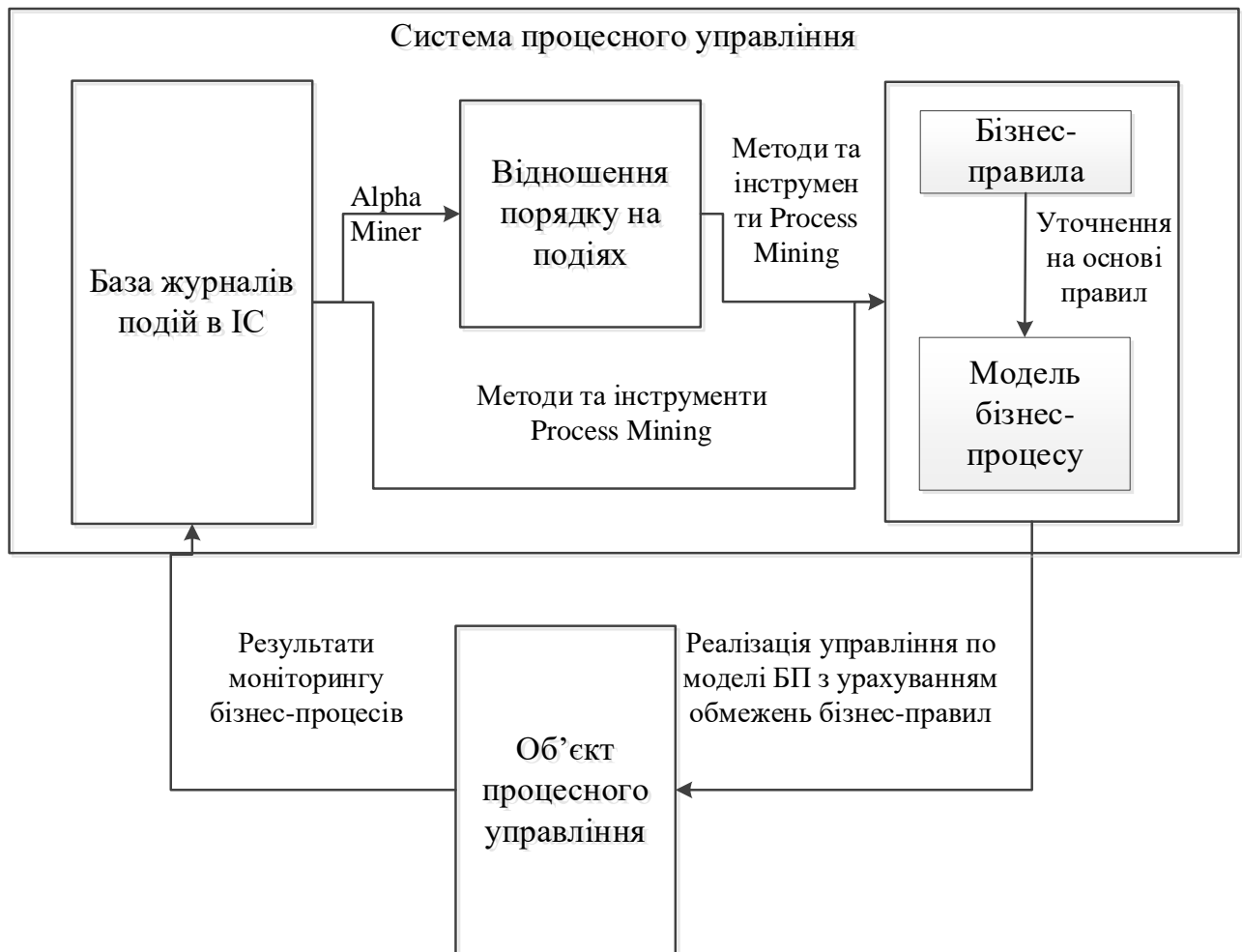


Рисунок 3.1 – Удосконалення бізнес-процесів в рамках процесного управління на основі побудови бізнес-правил «як є» засобами Process Mining

Після побудови процесних моделей виконується аналіз відхилень, виявлених через порівняння фактичної роботи з моделлю.

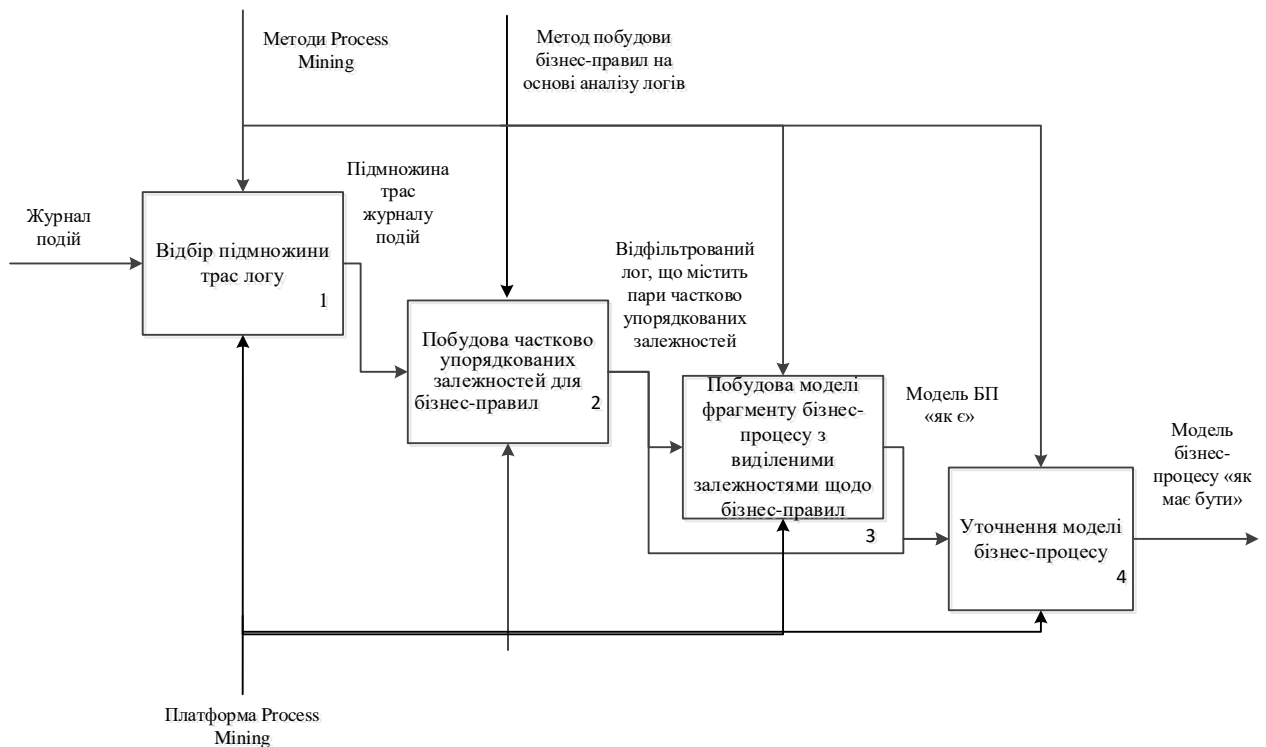
За результатами аналізу пропонуються вдосконалення для оптимізації ефективності бізнес-процесу.

В подальшому проводиться регулярний моніторинг процесів та внесення змін для підтримки відповідності стратегії та досягнення бізнес-цілей. Мета моніторингу полягає в формуванні журналів подій, які можуть бути використані для побудови бізнес-правил, що фактично виконуються на підприємстві.

Аналіз процесів з використанням бізнес-правил доповнює наведену послідовність дій побудовою фрагменту моделі БП, де можуть бути порушені наявні (або введені додаткові) бізнес-правила.

3.2 Опис інформаційної технології

Схему інформаційної технології наведено на рисунку 3.2. Технологія поєднує виявлення бізнес-правил та моделі процесу в цілому.



Рисунк 3.2 – Інформаційна технологія удосконалення моделі бізнес-процесу на основі виявлення бізнес-правил засобами Process Mining

На першому етапі виконується відбір трас логу за визначений період часу. Кожна траса містить запис про виконання екземпляру бізнес-процесу. Деякі

варіанти виконання бізнес-процесу можуть бути застарілими. Тому відбирається лише підмножина трас.

Після відбору трас формуються залежності для пар подій.

На основі строгих залежностей традиційно формується модель бізнес-процесу.

На основі залежностей, що задають частковий порядок, формуються фрагмент моделі бізнес-процесу, що містить «непорядковані» бізнес-правила.

На останньому етапі технології виконується порівняння фрагменту з бізнес-правилами та моделі «як є» з тим, щоб виявити слабкі місця та неточності існуючого опису бізнес-процесу та удосконалити його модель.

Таким чином, інформаційну технологію, що використовує адаптований метод, доцільно застосовувати разом із традиційним методом Alpha-miner, оскільки порівняння можливих правил та моделі процесу в цілому дає можливість виявити шляхи подальшого удосконалення бізнес-процесу.

4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА МЕТОДУ

4.1 Опис платформи проведення експерименту та вхідних даних

Базовою платформою Process Mining є ProM. Це відкрита платформа для проведення аналізу бізнес-процесів. Вона розроблена для виявлення, моделювання та аналізу бізнес-процесів на основі журналів подій.

Платформа має наступні функції.

Функція Process Discovery дозволяє виявляти бізнес-процеси на основі журналів подій, використовуючи бібліотеку алгоритмів. Бібліотека поповнюється по мірі проведення наукових досліджень.

Функція моделювання бізнес-процесів полягає у створенні графічних процесних моделей. Використовується різна нотація. Базовим математичним описом є апарат мереж Петрі.

Функція аналізу та оптимізації орієнтована на виявлення аномалій, відхилень та створенню можливості для оптимізації послідовності робіт бізнес-процесу з урахуванням існуючих обмежень.

Функція інтеграція полягає у інтеграції з іншими інструментами та платформами для аналізу даних.

Даний продукт є відкритою платформою, що дозволяє користувачам розширювати та модифікувати її функціональність.

Платформа сумісна з різними форматами журналів подій.

Більш просунутою є платформа Disco.

Disco – це програмне забезпечення, призначене для аналізу процесів шляхом використання методів Process Mining. Це інструмент, який дозволяє організаціям отримати об'єктивний вигляд на фактичні бізнес-процеси на основі журналів подій.

Disco дозволяє виявляти бізнес-процеси на основі журналів подій за допомогою різних алгоритмів Process Mining.

Програма надає інтуїтивні графічні інтерфейси для візуалізації та моделювання процесів, що допомагає користувачам краще зрозуміти структуру та логіку.

Disco дозволяє аналізувати характеристики процесів, такі як часові затрати, частота виконання етапів та інші метрики.

Disco може бути сумісним з різними форматами журналів подій і дозволяє експортувати результати для подальшого аналізу.

Програма може підтримувати співробітництво, що дозволяє різним членам команди працювати над аналізом.

В цілому Disco є потужним інструментом для Process Mining, який надає користувачам засоби для виявлення, аналізу та вдосконалення бізнес-процесів. Його функціональність, інтуїтивний інтерфейс та підтримка спільноти роблять його ефективним рішенням для організацій, які прагнуть оптимізувати свою діяльність. Тому в подальшому в роботі використаний даний програмний продукт. Вхідні дані представлені у вигляді логу у форматі хес. Приклад, що відображає елементи логу, представлено на рисунку 4.1.

```
<trace>
  <string key="concept:name" value="1-578612990"/>
  <event>
    <string key="org:group" value="Org line C"/>
    <string key="resource country" value="Belgium"/>
    <string key="org:resource" value="Peter"/>
    <string key="organization country" value="be"/>
    <string key="org:role" value="E_1"/>
    <string key="concept:name" value="Accepted"/>
    <string key="impact" value="High"/>
    <string key="product" value="PROD745"/>
    <date key="time:timestamp" value="2011-09-28T11:10:15+02:00"/>
    <string key="lifecycle:transition" value="In Progress"/>
  </event>
```

Рисунок 4.1 – Фрагмент вхідних даних для виявлення правил у форматі «xes»

На рисунку 4.1 представлено фрагмент траси журналу подій. Траса позначається дужками `<trace>`, `</trace>` та містить запис виконання одного екземпляру бізнес-процесу. Тому всі події траси упорядковані по абсолютному значенню часу.

Елементами траси є події, які в складі журналу позначаються дужками `<event>`, `</event>`.

Подія відображає результат виконання дії/процедури бізнес-процесу і характеризується набором атрибутів, які можуть бути використані для аналізу фактичного виконання бізнес-правил.

Атрибути відображають об'єкти, з якими процес оперує, а також об'єкти, які виконують цей процес.

На рисунку 4.2 представлено приклад опису виконавця у журналі подій, а на рисунку 4.3 – продукту, з яким виконувалась процедура.

```
<string key="org:resource" value="Peter"/>
```

Рисунок 4.2 – Опис виконавця у журналі подій

Також лог подій містить часові мітки, за якими задається упорядкованість для пар подій.

```
<string key="product" value="PROD745"/>
```

Рисунок 4.3 – Опис продукту у журналі подій

Фрагмент коду по запуску та виконанню альфа-алгоритму наведено на рисунку 4.4.

Алгоритм формує лог для частково упорядкованих подій. В подальшому цей лог використовується для візуалізації схеми процесу на платформі Process Mining.

```
# Dataframe to EventLog
log = log_converter.apply(df)

# data processing by algorithm
# input - EventLog
# output - PetriNet, Initial marking, Final marking
print()
print("Running Alpha-miner...")
net, initial_marking, final_marking = alpha_miner.apply(log)
```

Рисунок 4.4 – Запуск алгоритму

4.2 Результати експериментальної перевірки

Метод виділення бізнес-правил містить два ключових етапи. На першому з них формуються пари подій, для яких задано часткова упорядкованість. Ці події відносяться до різних трас логу. Ілюстрація до результатів даного етапу наведено на слайді.

Із рисунку 4.4 видно, що при побудові пари подій враховується відносне, а не абсолютне значення часу, оскільки екземпляри були запуснені на різних часових інтервалах.

На основі виділення таких залежностей у вхідних логах на платформі інтелектуального аналізу було сформовано представлення бізнес-правил. Потім побудовано для порівняння модель бізнес-процесу «як є» (рисунок 4.5) та проблемний фрагмент моделі, де можливим є порушення бізнес-правил (рисунок 4.6).

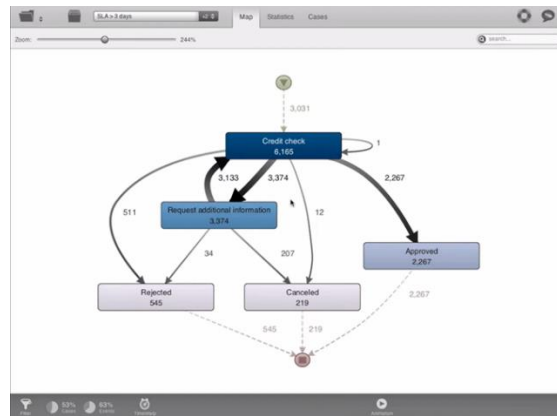


Рисунок 4.6 – Фрагмент моделі процесу, де можуть бути порушені бізнес-правила

Перша модель містить повний процес, включаючи відношення строгого порядку, які відповідають повному виконанню бізнес-правил. Другий фрагмент містить лише відношення нестрогого порядку, що може свідчити про порушення існуючих або використання нових правил. Відповідно, аналітик отримує для аналізу лише критичні фрагменти процесу, що дає можливість більш ефективно удосконалювати бізнес-процес.

ВИСНОВКИ

Магістеська робота присвячена проблемі побудови бізнес-правил «як є» методами інтелектуального аналізу процесів при вирішенні задач процесного управління.

Процесне управління охоплює підтримку виконання, а також постійне удосконалення бізнес-процесів. При вирішенні першої задачі контролюється відхилення параметрів процесу від заданих у моделі. В разі відхилення виконуються коригуючі дії. При вирішенні другої задачі порівнюються апріорно задана модель процесу і фактична модель. Остання може бути отримана методами інтелектуального аналізу процесів.

Відмінності між моделями зазвичай пов'язані із порушенням або удосконаленням «по факту» бізнес-правил підприємства, оскільки останні відображають умови та обмеження на виконання окремих процедур, а також послідовностей процедури бізнес-процесу.

В роботі виконано дослідження властивостей бізнес-процесів. Проведено аналіз характеристик процесного управління, а також аналіз задач та методів Process Mining в контексті управління бізнес-процесами. Виконано структурування бізнес-правил із урахуванням їх ієрархії.

Набув подальшого розвитку методу інтелектуального аналізу Alpha-Miner в контексті виявлення бізнес-правил на основі аналізу журналів подій. Метод виділяє частково упорядковані пари подій з різних трас логу з тим, щоб в подальшому сформувані з них прототипи бізнес-правил «як є». Нестрогий порядок подій бізнес-процесу свідчить про порушення або неформальне удосконалення бізнес-правил виконавцями. Тому в практичному плані метод дає можливість виявити причини невідповідності моделі бізнес-процесу в системі процесного управління та фактичного бізнес-процесу. Після виявлення невідповідності виникає можливість удосконалити апріорно задану модель бізнес-процесу.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлювання. Чинний від 22.06.2015. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 31 с.
2. Методичні вказівки щодо розробки та оформлення кваліфікаційної роботи (для студентів усіх форм навчання другого (магістерського) рівня програми "Інформаційні управляючі системи та технології") / Упоряд.: Петров К.Е., Левикин В.М., Чалий С.Ф., Євланов М.В., Саєнко В.І., Міхнов Д.К., Міхнова А.В., Чала О.В. Харків: ХНУРЕ, 2021. 30 с.
3. Weske M. Business Process Management: Concepts, Languages, Architectures. SpringerVerlag, Berlin, 2007.
4. Desel J., Pernici B., Weske M. Lecture Notes in Computer Science. International Conference on Business Process Management (BPM 2004). SpringerVerlag, Berlin. 2004. Vol. 3080.
5. Van der Aalst W.M.P. Business process management: a comprehensive survey. ISRN Software Engineering. 2013. P. 1-37.
6. Chalyi S., Levykin I., Petrychenko A., Bogatov I. Causality-based model checking in business process management tasks. IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies DESSERT'2018.
7. La Rosa M., Dumas M., Hofstede A., Mendling J. Configurable Multi-Perspective Business Process Models. Information Systems. 2011. Vol. 36(2). P. 313-340.
8. Van der Aalst W.M.P. Workflow Verification: Finding Control-Flow Errors using Petri-netbased Techniques. Oberweis, editors, Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies. 2000. Vol. 1806 of Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, Berlin. P. 161–183.

9. Weijters A.J.M.M., Van der Aalst W.M.P. Rediscovering Workflow Models from EventBased Data using Little Thumb. *Integrated Computer-Aided Engineering*. 2003. Vol.10(2). P. 151–162.
10. 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.
11. Van der Aalst W.M.P. *Process Mining: Discovery, Conformance and Enhancement of Business Processes*. Springer-Verlag, Berlin, 2011.
12. Van der Aalst W.M.P. The Application of Petri Nets to Workflow Management. *The Journal of Circuits, Systems and Computers*. 2011. Vol. 8(1). P. 21-66.
13. Muehlen M. *Workflow-based Process Controlling: Foundation, Design and Application of workflow-driven Process Information Systems*. Logos, Berlin, 2004.
14. 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.
15. Chalyi S., Bogatov Ie. Method of constructing an attribute description of the business process "as is" in the process approach to enterprise management *EUREKA: Physics and Engineering*. 2018. Vol. 6. P. 35-40.
16. 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.
17. Чала О.В. Еволюційний підхід до управління життєвим циклом знання-ємних бізнес-процесів. *Наукоємні технології*. 2017. № 1(33). С. 53-59.

18. Чала О.В. Формалізація неявних процедурних залежностей в знання-ємних бізнес-процесах. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2016. № 4. С. 43-47.
19. Chalyi S., Levykin I., Biziuk A., Vovk A., Bogatov I. Development of the technology for changing the sequence of access to shared resources of business processes for process management support. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020. Vol 2, NO 3 (104). С. 22-29.
20. Cicirelli F., Furfaro A., Nigro L. A service-based control engine for the distributed execution of Petri nets and its application to workflow management systems. *Systems and Computers*. 2017. Vol. 4. P.124-129.
21. Lassen K.B., Van der Aalst W.M.P. Complexity Metrics for Workflow Nets. *Information and Software Technology*, 51(3):610–626, 2009.
22. Reichert M., Weber B. *Enabling Flexibility in Process-Aware Information Systems: Challenges, Methods, Technologies*. Springer-Verlag, Berlin, 2012.
23. Rosemann M., Van der Aalst W.M.P. A Configurable Reference Modelling Language. *Information System*. 2007. 32(1). P. 1–23.
24. Streit A., Pham B., Brown R. Visualisation Support for Managing Large Business Process Specifications. *International Conference on Business Process Management (BPM 2005)*. Vol. 3649 of *Lecture Notes in Computer Science*. P. 205-219. Springer-Verlag, Berlin, 2005.
25. Van der Aalst W.M.P., Desel J. *Business Process Management: Models, Techniques, and Empirical Studies*. Vol.1806 of *Lecture Notes in Computer Science*. Springer-Verlag, Berlin, 2000.
26. Van der Aalst W.M.P., Hofstede A.H.M., Weske M. *Business Process Management*. *International Conference on Business Process Management (BPM 2003)*. *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 2678. Springer-Verlag, Berlin, 2003. P. 1–12.
27. Van Dongen B.F., Alves de Medeiros A.K., Wenn L. *Process Mining: Overview and Outlook of Petri Net Discovery Algorithms*. *Transactions on Petri Nets*

and Other Models of Concurrency. Vol. 5460 of Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, Berlin, 2009. P. 225–242.

28. Van der Aalst W.M.P., M. Pesic, and H. Schonenberg. Declarative Workflows: Balancing Between Flexibility and Support. Computer Science - Research and Development. 2009.Vol. 23(2). P.99–113.

29. Van der Aalst W.M.P. Business Process Management Demystified: A Tutorial on Models, Systems and Standards for Workflow Management. Lectures on Concurrency and Petri Nets. Lecture Notes in Computer Science. Springer-Verlag, Berlin, 2004. Vol. 3098. P. 1–65.