

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук  
(повна назва)

Кафедра Інформаційних управляючих систем  
(повна назва)

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Дослідження методів процесного управління виробництвом в Індустрії 4.0  
(тема)

Виконав:

студент 2 курсу, групи ІУСТМ-22-1

Аршава Артем Юрійович  
(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 проф. Чала О.В.  
(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

  
(підпис)


Костянтин ПЕТРОВ  
(Власне ім'я ПРІЗВИЩЕ)

2024 р

## Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук  
Кафедра Інформаційних управляючих систем  
Рівень 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)

« 20 » листопада 20 23 р.

### ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Аршаві Артему Юрійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження методів процесного управління виробництвом в Індустрії 4.0 затверджена наказом університету від 16 листопада 2023 р. № 1359Ст
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 14 січня 2024 р.
3. Вихідні дані до роботи Матеріали звіту з науково-дослідної практики, опис об'єкта досліджень, науково-технічні публікації та інтернет-джерела з тематики кваліфікаційної роботи
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі аналіз особливостей Індустрії 4.0; дослідження моделей бізнес-процесів; дослідження підходів до процесного управління в Індустрії 4.0; розробка покращеного методу постійного поліпшення бізнес-процесів; апробація покращеного методу постійного поліпшення бізнес-процесів.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз схеми організаційної структури, літератури та джерел	20.11.2023	Виконано
2	Опис постановки задачі дослідження	20.11.2023-22.11.2023	Виконано
3	Обробка матеріалів передатестаційної практики	22.11.2023-24.11.2023	Виконано
4	Аналіз особливостей Індустрії 4.0.	24.11.2023-26.11.2023	Виконано
5	Дослідження моделей бізнес-процесів	26.11.2023-28.11.2023	Виконано
6	Дослідження підходів до процесного управління в Індустрії 4.0	28.11.2023-30.11.2023	Виконано
7	Розробка покращеного методу постійного поліпшення бізнес-процесів	30.11.2023-01.12.2023	Виконано
8	Апробація покращеного методу постійного поліпшення бізнес-процесів	01.12.2023-02.12.2023	Виконано
9	Підготовка та оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу до атестаційної роботи	02.12.2023-05.12.2023	Виконано
10	Підготовка презентаційних матеріалів	05.12.2023-09.12.2023	Виконано
11	Подання студентом роботи для перевірки на плагіат	10.01.2024	Виконано
12	Подання роботи на підпис науковому керівнику	11.01.2024	Виконано
13	Попередній захист роботи	12.01.2024	Виконано
14	Надання роботи на рецензію	13.01.2024	Виконано
15	Надання роботи на підпис завідувачу кафедри	15.01.2024	Виконано
16	Захист кваліфікаційної роботи	16.01.2024	Виконано

Дата видачі завдання 20 листопада 2023 р.

Студент  Аршава Артем Юрійович

(підпис)

Керівник роботи 

(підпис)

проф. Чала О.В.

(посада, власне ім'я, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської кваліфікаційної роботи містить: 78с., 4 розділи, 22 рис., 5 табл., 1 додаток, 30 джерел.

АНАЛІЗ, БІЗНЕС-ПРОЦЕСИ, ВИРОБНИЦТВО, ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ, ІНДУСТРІЯ 4.0, УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ, PROCESS MINING.

Об'єкт дослідження – бізнес-процеси.

Предмет дослідження – методи інтелектуального аналізу процесів для поліпшення процесного управління.

Мета дослідження – мета дослідження методів процесного управління в Індустрії 4.0, для безперервного поліпшення бізнес-процесів з використанням паттернів, що відображають набір бізнес-правил підприємства, що фактично використовуються на виробництві.

## ABSTRACT

Explanatory note to the master's thesis: 78 pages, 4 sections, 22 figures, 5 tables, 1 addition, 30 sources.

ANALYSIS, BUSINESS PROCESSES, PRODUCTION, INTELLECTUAL ANALYSIS, INDUSTRY 4.0, PROCESS MANAGEMENT, PROCESS-MINING.

The object of research is business processes.

The subject of research is the methods of intellectual analysis of processes to improve process management.

The purpose of the research is the purpose of researching methods of process management in Industry 4.0, for continuous improvement of business processes using patterns that reflect a set of business rules of the enterprise that are actually used in production.

## ЗМІСТ

Скорочення та умовні позначки.....	7
Вступ.....	8
1 Аналіз особливостей процесного управління в індустрії 4.0 .....	10
1.1 Аналіз особливостей індустрії 4.0.....	10
1.2 Дослідження моделей бізнес-процесів .....	15
1.3 Дослідження підходів до процесного управління в індустрії 4.0 .....	21
1.4 Постановка задачі дослідження.....	28
2 Розробка удосконаленого методу підтримки постійного удосконалення бізнес-процесів в індустрії 4.0 .....	31
2.1 Виділення паттернів залежностей між діями бізнес-процесу з використанням методології інтелектуального аналізу процесів .....	31
2.2 Удосконалений метод підтримки поліпшення бізнес-процесів на основі аналізу логів бізнес-процесів.....	34
3 Технологічне забезпечення удосконаленого методу.....	37
3.1 Інформаційна технологія підтримки постійного удосконалення методу.....	37
3.2 Імплементация інформаційної технології з використанням сі/cd.....	39
4 Реалізація та експериментальна перевірка отриманих теоретичних результатів .....	44
4.1 Обґрунтування вибору платформи для експериментальної перевірки ..	44
4.2 Побудова процесних моделей на платформі prom.....	48
4.3 Результати експериментальної перевірки.....	57
Висновки .....	61
Перелік джерел посилання .....	62
Додаток А Графічний матеріал .....	66

## СКОРОЧЕННЯ ТА УМОВНІ ПОЗНАКИ

AI – Штучний інтелект

BPM – Business Process Management

BPMN – Business Process Model and Notation

CI/CD – Continuous Integration (CI) та Continuous Delivery (CD)

CPS – Кіберфізичні системи

IoT – Інтернет речей

IIoT – Industrial Internet of Things

ML – машинне навчання

SDP – Сервісорієнтоване проектування та виробництво

WFM – Workflow Management

XES – Extensible Event Stream

## ВСТУП

Розвиток економіки України в умовах глобалізації характеризується зростанням конкуренції на зовнішніх і внутрішніх ринках. Це пов'язано з появою нових форм організації та управління, а також з інтенсивним розвитком інноваційних процесів, зокрема індустрії 4.0.

Інноваційні процеси визначаються створенням і впровадженням передових науково-технічних розробок у виробництво. Вони є ключовим ресурсом країни, ефективність якого визначає розвиток національного господарства.

У сучасному турбулентному середовищі суб'єкти промислової діяльності змушені застосовувати нові методи управління, призначені для досягнення комерційного успіху, адже відбувається постійний розвиток технологій.

Серед різних методів управління, які враховують вплив зовнішніх факторів, особливу роль відіграють процесні методи управління. Вони дозволяють підвищити ефективність використання матеріальних і нематеріальних ресурсів, зміцнити конкурентоспроможність бізнесу та уникнути впливу загрозливих факторів.

Розробка та впровадження ефективної бізнес-моделі розвитку підприємства може відповісти на це завдання. Вона дозволяє отримати максимальний ефект від наявних ресурсів, забезпечуючи підприємству конкурентоспроможність у сучасному турбулентному середовищі.

Актуальність теми дослідження обумовлена тим, що методи процесного управління виробництвом в індустрії 4.0 пропонують ряд переваг, які дозволяють підприємствам підвищувати свою ефективність, якість та конкурентоспроможність. Методи процесного управління виробництвом в індустрії 4.0 дозволяють підприємствам підвищити ефективність виробництва за рахунок кращого використання ресурсів та зниження витрат. Цифрові

технології, такі як Інтернет речей (IoT), штучний інтелект (AI) та машинне навчання (ML), дозволяють підприємствам збирати та аналізувати великі обсяги даних про виробництво. Ці дані можуть використовуватися для оптимізації процесів виробництва, виявлення проблем та підвищення ефективності використання ресурсів.

Мета даного дослідження полягає в розкритті потенціалу та визначенні оптимальних стратегій використання методів процесного управління в умовах індустрії 4.0. Вивчення цих методів в контексті сучасного виробництва не лише дозволить зрозуміти їхню придатність та ефективність, але й визначить шляхи їх оптимізації та адаптації до вимог динамічного та конкурентного ринку.

Дослідження методів процесного управління виробництвом в індустрії 4.0 стає важливим кроком у розумінні та оптимізації виробничих процесів, сприяючи подальшому розвитку підприємств у новому етапі промислового розвитку.

# 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ В ІНДУСТРІЇ 4.0

## 1.1 Аналіз особливостей Індустрії 4.0

Індустрія 4.0, або Четверта промислова революція, представляє новий етап еволюції виробництва, змінюючи спосіб, яким підприємства проектують, виробляють та взаємодіють з продукцією та послугами. Особливості Індустрії 4.0 визначають новий парадигмальний підхід до виробництва та управління, розширюючи можливості підприємств та забезпечуючи їхню конкурентоспроможність у світі сталих інновацій.

Індустрія 4.0, також відома як четверта промислова революція, - це термін, що використовується для опису переходу до повністю діджиталізованих, автоматизованих виробничих систем.

Таблиця 1.1 – Ключові особливості та переваги Індустрії 4.0

Характеристика	Опис	Переваги
Повна автоматизація	У виробничому процесі використовується все більше автоматизованих машин і систем, які контролюються комп'ютерами.	Скорочення витрат, підвищення продуктивності, покращення якості продукції
Кіберфізичні системи	Ці системи поєднують фізичні об'єкти з віртуальними моделями, що дозволяє їм взаємодіяти один з одним в режимі реального часу.	Краще управління процесами, ефективні рішення
Змінні зовнішні умови	Індустрія 4.0 дозволяє підприємствам адаптуватися до змінних зовнішніх умов	Збереження конкурентоспроможності

Автоматизація дозволяє звільнити працівників від рутинних завдань та зосередити їх на більш творчих та складних задачах. Вона також може призвести до зниження витрат на матеріали, енергію та робочу силу, а також до підвищення якості продукції та зменшення кількості браку.

Кіберфізичні системи дозволяють підприємствам краще управляти своїми процесами та приймати ефективні рішення. Вони забезпечують моніторинг стану обладнання та процесів, а також дозволяють прогнозувати можливі проблеми.

Завдяки Індустрії 4.0 підприємства можуть швидко переключатися між виробництвом різних продуктів та адаптуватися до змін умов ринку. Це дозволяє їм залишатися конкурентоспроможними в мінливому середовищі.

Згідно з прогнозами Всесвітнього Економічного Форуму, до 2027 року більшість технологій, які є характерними для Четвертої промислової революції, стануть широко використовуваними. Це означає, що ми можемо очікувати не лише розумні будинки, але і розумні міста, впровадження безпілотних автомобілів на вулицях, застосування штучного інтелекту в офісних середовищах та наявність суперкомп'ютерів у кишенях [5]. Це вказує на швидкий розвиток технологій і їх впровадження в різні сфери життя, що обіцяє перетворити наше оточення та спосіб ведення бізнесу.

Індустрія 4.0 представляє собою сучасний підхід до виробництва, який характеризується використанням передових технологій та стратегій для досягнення високої автоматизації, підвищення ефективності та гнучкості виробничих процесів. Основні особливості Індустрії 4.0, що визначають сучасні технологічні та виробничі тенденції, намічені на рисунку 1.1. Спостереження за цими особливостями дозволяє краще розуміти еволюцію промисловості та вплив технологічних інновацій на сучасні підприємства. Крім того, характеристика основних технологій, подана у вигляді таблиці, глибше розкриває їхні функціональні особливості та взаємодію. Для більш детального розуміння впливу Індустрії 4.0 на різні галузі, а також допомагає у формуванні стратегій впровадження цих технологій на підприємствах

Таблиця 1.2 – Характеристики технологій Індустрії 4.0

Характеристика	Опис	Переваги
Кіберфізичні системи	Об'єднання фізичних процесів та кібернетичних систем	Моніторинг та керування фізичними об'єктами в режимі реального часу
Інтернет речей (IoT)	Підключення різних об'єктів, від машин до датчиків, до Інтернету	Обмін даними та взаємодія між об'єктами без прямого втручання людей
Аналітика великих даних	Використання потужних аналітичних інструментів для обробки та аналізу великого обсягу даних	Покращення якості продукції, прогнозування попиту, зниження витрат
Цифрові екосистеми	Створення інтегрованих систем, що об'єднують різні компоненти виробничого середовища	Гнучкість виробництва, адаптація до змінних умов ринку
Аддитивні технології (3D-друк)	Використання технологій, які дозволяють створювати об'єкти шляхом нанесення матеріалу шар за шаром	Гнучкість та індивідуалізація виробництва
Інтелектуальна автоматизація	Застосування технологій штучного інтелекту та машинного навчання для створення систем, які можуть самостійно приймати рішення та	Краще управління процесами, ефективні рішення

## Продовження таблиці 1.2

Гнучкі виробничі системи	Можливість швидко переключатися між виробництвом різних продуктів та адаптуватися до змінних умов ринку	Збереження конкурентоспроможності
Системи безпеки та конфіденційності	Розробка і впровадження спеціальних заходів для захисту від кібератак та забезпечення конфіденційності даних	Захист даних від несанкціонованого доступу, використання та поширення

Ці особливості роблять Індустрію 4.0 перспективною для виробництва, дозволяючи підприємствам підвищувати продуктивність, знижувати витрати та швидко реагувати на зміни в ринкових умовах.



Рисунок 1.1 - Групові технології та інструменти для промисловості 4.0

Однією з головних рис Індустрії 4.0 є не просто використання окремих технологій, але їхнє комплексне впровадження для створення інтегрованих та ефективних виробничих систем. Це сприяє підвищенню конкурентоспроможності та стійкості підприємств у сучасному глобальному економічному середовищі.

Отже, в умовах розвитку Індустрії 4.0 відбувається трансформація ринку праці. Основними чинниками змін виступають автоматизація й інтеграція процесів. Наслідком окреслених змін стає зміна структури зайнятості, зокрема, вивільнення працівників, що належать до низькокваліфікованих професій і виконують рутинні й чітко структуровані завдання.

Таблиця 1.3 – Вимоги й особливості процесного управління

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Покращення ефективності: процесне управління допомагає підприємствам ідентифікувати та усунути неефективність у своїх бізнес-процесах, що може призвести до підвищення продуктивності та ефективності.</li> <li>- Підвищена адаптивність: процесне управління допомагає підприємствам бути більш гнучкими та адаптивними до змін, що є важливою вимогою в умовах індустрії 4.0.</li> <li>- Покращена співпраця: процесне управління допомагає підприємствам налагодити ефективну співпрацю між різними відділами та підрозділами</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Висока складність: процесне управління може бути складним для впровадження та управління.</li> <li>- Вартість: впровадження процесного управління може бути дорогим.</li> <li>- Необхідність зміни культури: процесне управління вимагає зміни культури підприємства, що може бути складно.</li> </ul>

Процесне управління в індустрії 4.0 потрібно з кількох причин.

По-перше, процесне управління допомагає підприємствам краще зрозуміти свої бізнес-процеси. Це важливо в умовах індустрії 4.0, коли підприємства використовують все більш складні технології та системи. Процесне управління дозволяє підприємствам ідентифікувати та усунути неефективність у своїх бізнес-процесах, що може призвести до підвищення продуктивності та ефективності.

По-друге, процесне управління допомагає підприємствам краще адаптуватися до змін. Індустрія 4.0 характеризується швидкими змінами, і підприємствам потрібно бути готовими до них. Процесне управління допомагає підприємствам бути більш гнучкими та адаптивними до змін.

По-третє, процесне управління допомагає підприємствам краще співпрацювати. Індустрія 4.0 передбачає тісну співпрацю між різними відділами та підрозділами підприємства. Процесне управління допомагає підприємствам налагодити ефективну співпрацю між різними підрозділами.

В цілому, процесне управління є потужним інструментом, який може допомогти підприємствам в індустрії 4.0 підвищити ефективність та конкурентоспроможність. Однак, для успішного впровадження процесного управління підприємствам необхідно враховувати як сильні, так і слабкі сторони цього підходу.

## 1.2 Дослідження моделей бізнес-процесів

У сучасному динамічному бізнес-середовищі підприємствам необхідно постійно удосконалювати свої системи управління. Одним із ефективних способів цього є застосування процесного підходу.

Процесний підхід передбачає розгляд діяльності підприємства як сукупності взаємопов'язаних процесів, які починаються з ідеї та закінчуються отриманням результату. Цей підхід дозволяє підприємствам підвищити

ефективність управління, покращити взаємодію між підрозділами та впровадити інновації.

Удосконалення управління бізнес-процесами в сучасному менеджменті призводить до змін у діяльності працівників організацій. Ці зміни можна описати як перехід від традиційної моделі до нової.

У традиційній моделі управління бізнес-процесами співробітники розподілені по функціональним підрозділам і відповідають за виконання певних ролей. Вони отримують оплату за час, проведений на роботі, або за займану посаду. Керівники фокусуються на контролі діяльності співробітників.

У новій моделі управління бізнес-процесами співробітники об'єднуються в тимчасові групи для виконання конкретних завдань. Вони відповідають за результати своєї роботи, а не за виконання певних ролей. Ці зміни також вимагають від організацій створення відповідної системи управління персоналом, яка буде сприяти розвитку необхідних навичок і компетенцій у співробітників.

Практичний підхід до побудови бізнес-процесів на підприємстві полягає в тому, щоб схематично представити сукупність операцій та описати ключові моменти їх здійснення. Схематичний опис бізнес-процесу дозволяє отримати повне розуміння його функціонування, включаючи послідовність і взаємодію дій, а також виявити недоліки в його організації та реалізації.

Реалізація концепції бізнес-процесів на підприємствах, особливо в сфері виробництва, має ряд недоліків, які перешкоджають ефективній роботі процесів та ускладнюють їх взаємодію.

Різні мови моделювання, які використовуються для опису бізнес-процесів, ускладнюють розуміння та взаємодію між різними підрозділами підприємства. Це пов'язано з тим, що кожна мова має свої власні правила та термінологію. В результаті співробітники різних підрозділів можуть розуміти один одного неправильно, що може призвести до помилок та втрат часу.

Різні системи бізнес-процесів, які використовуються на підприємстві, можуть призвести до дублювання інформації та неефективного використання ресурсів. Це пов'язано з тим, що кожна система має свої власні дані та процеси. В результаті інформація може зберігатися в декількох місцях, що ускладнює її пошук та обробку. Крім того, різні системи можуть мати різні вимоги до ресурсів, що може призвести до їх неефективного використання.

Недосконалість системи управління даними в бізнес-процесах може призвести до помилок і втрат інформації. Це пов'язано з тим, що бізнес-процеси часто включають в себе обробку великих обсягів даних. В результаті помилки в даних можуть призвести до серйозних проблем, таких як неякісна продукція або послуга, або навіть фінансові втрати.

Відсутність єдиної концептуальної моделі даних, необхідних для виконання бізнес-процесів, ускладнює управління даними та може призвести до непотрібних витрат. Це пов'язано з тим, що кожний підрозділ підприємства може використовувати свої власні дані та процеси. В результаті дані можуть бути дубльовані, що ускладнює їх управління. Крім того, відсутність узгодженої моделі даних може призвести до непотрібних витрат на розробку та підтримку різних систем.

Основними ознаками бізнес-процесів є:

- наявність межі, встановленої початковим входом (ресурсами) і виходом у вигляді продукту, що задовольняє потреби споживачів. Це дозволяє визначити початок і кінець процесу, а також його результати;

- комплексне охоплення всієї структури організації. Це означає, що бізнес-процес не може бути реалізований лише одним підрозділом підприємства. Він вимагає участі всіх зацікавлених сторін;

- наявність відповідальної особи за реалізацію бізнес-процесу та затвердженого на підприємстві регламенту його проведення. Це забезпечує ефективну реалізацію бізнес-процесу та уникнення помилок.

Новітні дослідження в галузі процесного управління пропонують декілька способів удосконалення механізмів управління бізнес-процесами

підприємств. Ці зміни дозволяють компаніям швидко адаптуватися до змін у зовнішньому середовищі та залишатися конкурентоспроможними.

Більшість розвинених компаній вже використовують ці новітні підходи. Сучасний бізнес-контекст вимагає від підприємств швидкої адаптації до змін. Удосконалення бізнес-процесів є одним із ключових способів забезпечити таку адаптацію. Зокрема, широко застосовуються методи автоматизації бізнес-процесів. Однак найбільш універсальним інструментом удосконалення бізнес-процесів є концепція безперервного поліпшення (BPI).

Концепція редизайну бізнес-процесів передбачає плавну (покрокову) зміну бізнес-процесів. Цей підхід дозволяє уникнути ризиків, пов'язаних з радикальними змінами, і забезпечує більш плавний перехід до нового стану. Нові підходи до управління бізнес-процесами, такі як безперервне удосконалення та редизайн, дозволяють підприємствам досягти кращих результатів у конкурентній боротьбі.

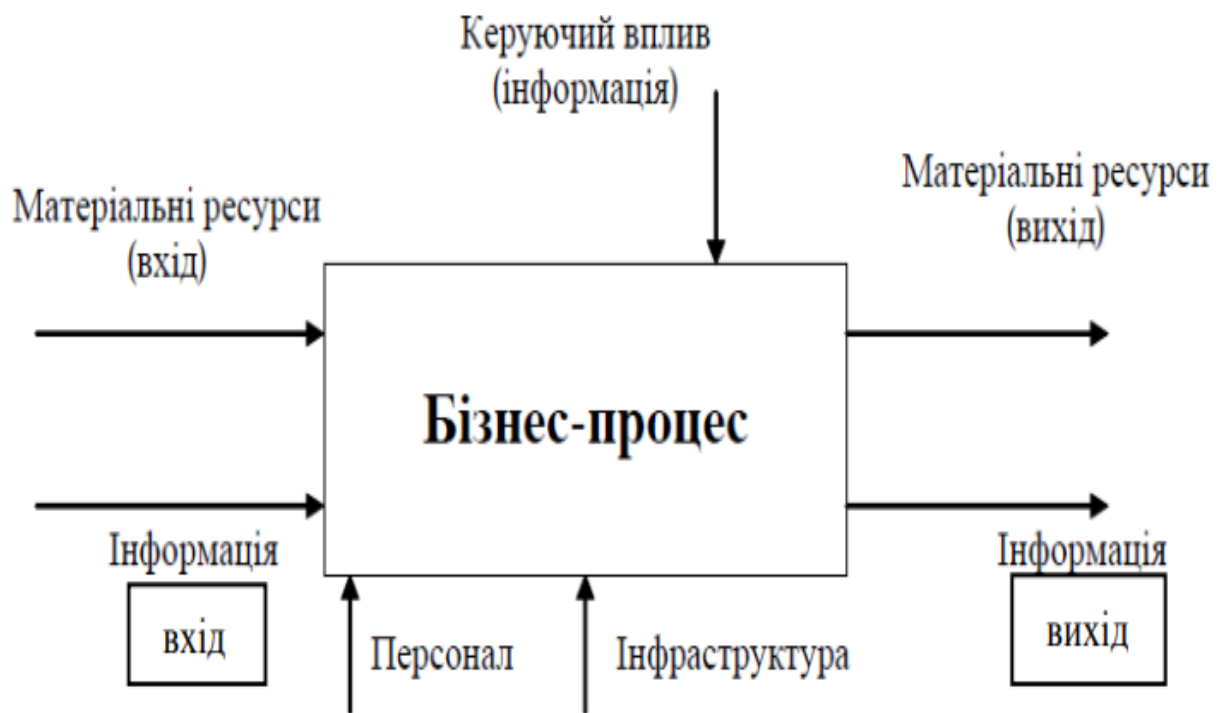


Рисунок 1.2 – Узагальнена схема бізнес-процесу



Рисунок 1.3 - Задачі управління бізнес-процесами

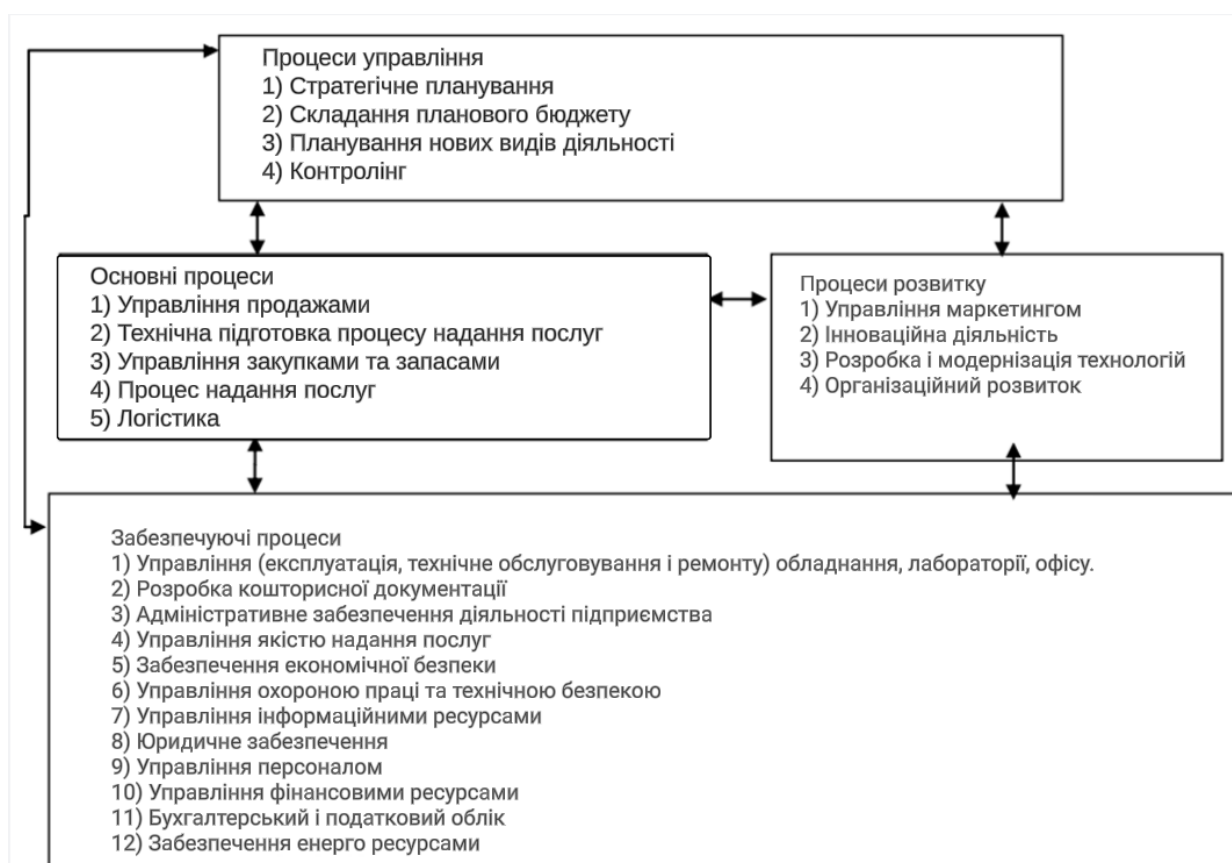


Рисунок 1.4 - Класифікація бізнес-процесів

Інструменти автоматизації бізнес-процесів (ІБП) на підприємстві визначаються такими факторами, як гнучкість налаштування інтерфейсу користувача та можливості інтеграції з різними сучасними системами. Використання СМАРТ-технологій Індустрії 4.0, таких як віртуальна та доповнена реальність, а також штучний інтелект, відкриває нові можливості для спрощення роботи кожного працівника у їхніх щоденних завданнях.

Один із прикладів – штучно інтелектуалізовані боти, що використовують можливості штучного інтелекту. Боти навчаються на попередніх прикладах та використовують функції обробки даних та розпізнавання зображень, часто називаються когнітивними або розумними. Вони можуть виконувати різні завдання, такі як робота з великими обсягами даних, отриманих від датчиків на підприємстві заповнення веб-форм, створення звітів та проведення розрахунків, та інші операції.

Інший перспективний напрям - це платформи додатків з низьким кодом, які дозволяють нелінійним користувачам швидко автоматизувати програми. Зокрема, це корисні інструменти для розвитку додатків та автоматизації завдань в будь-якій галузі. Автоматизація інформаційних бізнес-процесів - це інший перспективний інструмент, який може автоматизувати складні багатосистемні процеси та скоротити час обслуговування через автоматизацію загальних завдань.

Розглядаючи інструменти автоматизації бізнес-процесів, слід уважно аналізувати стратегію розвитку бізнесу. Автоматизація конкретного процесу може виявитися неефективною, якщо не враховувати загальну картину. Тому важливо впроваджувати комплексні рішення для автоматизації бізнес-процесів на підприємстві. Спочатку платформи додатків з низьким кодом були розроблені для швидкого створення додатків з графічним інтерфейсом користувача. Однак вони швидко стали гнучкими інструментами, які можна використовувати для ефективного розроблення додатків та автоматизації різних завдань у будь-якій галузі чи сфері бізнесу.

Спеціалізовані засоби автоматизації для бізнесу, такі як автоматизація інформаційних бізнес-процесів (АІБП), є перспективним інструментом для автоматизації складних багатосистемних процесів. АІБП допомагає підрозділам скоротити час обслуговування завдяки автоматизації загальних завдань. АІБП може автоматизувати процес надання віртуального сервера. Цей процес зазвичай вимагає ручного введення даних, але АІБП може виконувати такі завдання автоматично. Модуль автоматизації виконує такі функції: моніторинг затверджених запитів щодо надання резервів, запуск процесу активації сервера після отримання схваленого запиту на зміну резерву, налаштування параметрів сервера та ініціювання завершення його роботи. Модуль автоматизації виконує важливі функції, які можуть допомогти поліпшити продуктивність роботи підприємства. Вибір інструменту для автоматизації бізнес-процесів також є важливим рішенням, яке може мати значний вплив на успіх підприємства.

Процес автоматизації бізнес-процесів на підприємстві повинен бути комплексним.

### 1.3 Дослідження підходів до процесного управління в Індустрії 4.0

Індустрія 4.0, також відома як Четверта промислова революція, - це новий етап розвитку промисловості, який характеризується використанням кіберфізичних систем, сервісно-орієнтовного проектування виробництва та нових технологій аналізу даних.

Кіберфізичні системи (CPS) об'єднують фізичні об'єкти, такі як машини, з цифровими системами, такими як комп'ютери. Це дозволяє їм взаємодіяти між собою та з людьми в реальному часі.

Кіберфізична система для контролю виробництва може включати в себе датчики, які вимірюють температуру, тиск та інші параметри обладнання, а

також комп'ютер, який збирає та аналізує ці дані. Комп'ютер може використовувати ці дані для керування обладнанням, щоб забезпечити його оптимальну роботу.

Сервісно-орієнтоване проектування та виробництво (SDP) передбачає, що продукти та послуги розробляються та виробляються як сервіси, які можуть бути налаштовані відповідно до індивідуальних потреб споживачів.

Наприклад, компанія, яка виробляє автомобілі, може використовувати SDP для створення платформи, яка дозволяє споживачам налаштовувати свій автомобіль відповідно до своїх уподобань. Покупець може вибрати колір, матеріали, опції та інші характеристики автомобіля.

Аналіз даних використовується для отримання інформації про стан виробничих процесів, виявлення відхилень та розробки заходів щодо їх усунення.

Прикладом використання є аналіз даних для виявлення тенденцій у продажах та попиту. Ця інформація може використовуватися для оптимізації виробничих процесів та забезпечення того, щоб компанія виробляла потрібні продукти у потрібній кількості.

Індустрія 4.0 має потенціал для значного підвищення ефективності та продуктивності промисловості.

Процесне управління в рамках Індустрії 4.0 представляє собою стратегічний підхід до організації та контролю виробничих процесів, який враховує використання передових цифрових технологій та "кіберфізичних систем". Основна мета цього підходу полягає в створенні ефективної та гнучкої системи управління, яка може адаптуватися до змін у реальному часі та максимізувати результативність виробничих процесів.

Основні характеристики процесного управління в Індустрії 4.0 включають:

- інтеграція технологій: всі машини та обладнання виробництва з'єднуються в єдину мережу, що дозволяє обмінювати даними та інформацією

в реальному часі. Це створює умови для автоматизації та координації всіх етапів виробничого процесу;

- кіберфізичні системи: об'єкти виробництва обладнані датчиками, електронікою та програмним забезпеченням, що дозволяє їм сприймати оточуючий світ, аналізувати дані та взаємодіяти з іншими системами. Це створює умови для збору та обробки великої кількості інформації для прийняття рішень;

- сервісно-орієнтовне проектування: врахування концепції "сервісно-орієнтованого проектування та виробництва", де "розумні машини" можуть взаємодіяти із "розумними речами". Це дозволяє обладнанню адаптуватися до змін у потребах споживачів та оптимізувати виробничі процеси;

- аналітика та штучний інтелект: застосування аналітичних інструментів та штучного інтелекту для обробки великих обсягів даних, аналізу робочих процесів та автоматизації прийняття стратегічних та тактичних рішень;

- гнучкість та адаптивність: система управління побудована таким чином, що може швидко адаптуватися до змін в ринкових умовах, технологічних вдосконалень чи інших факторів, що можуть вплинути на виробничі процеси.

Узагальнюючи, процесне управління в Індустрії 4.0 розглядається як стратегічна складова, яка сприяє підвищенню ефективності та конкурентоспроможності виробничих підприємств завдяки інтеграції цифрових технологій та вдосконаленому управлінню виробничими процесами.

ВРМ (процесне управління) - це визначення, яким використовується в багатьох компаніях. Термін ВРМ використовувався різними способами, і було запропоновано кілька альтернатив — від вдосконалення процесу до інтелектуального ВРМ (iВРМ). Деякі використовують ВРМ для посилання на загальну теорію управління змінами бізнес-процесів, тоді як інші використовують його більш вузько, щоб посилатися на використання автоматизованих програмних методів для контролю за виконанням

корпоративних процесів. Сьогодні питання, зосереджене на BPM, є інтегрованим і безперервним процесом, який однаково стосується технологічних та організаційних міркувань. Важливо розуміти, що BPM сам по собі є процесом. Це процес, що складається з фаз визначення стратегії, опису процесу, впровадження процесу та виконання процесу. Вся реалізація BPM включає такі важливі дії:

- аналіз процесів;
- визначення структури між процесами;
- вибір методу управління;
- моделювання та оптимізація процесів;
- визначення системи вимірювання та діагностики продуктивності.

Основна мета впровадження цього процесу полягає в досягненні підвищення ефективності організації та виконанні визначених цілей. Впровадження процесного управління призначено для поліпшення узгодженості всіх аспектів організації з внутрішніми правилами, забезпечення прозорості, підвищення рівня задоволеності клієнтів, сприяння ефективності бізнесу, максимального використання потенціалу працівників, підвищення якості продукції та зниження витрат

Приклади BPM в сферах, де було досягнуто ефективного прогресу, зокрема:

- систематична перевірка моделей бізнес-процесів перед їх впровадженням. Активно використовується практика перевірки бізнес-процесів перед їх інтеграцією в інформаційні системи. Це сприяє уникненню потенційно кошовних помилок під час реального виконання;

- автоматична генерація налаштованих моделей процесів. Застосовується автоматизований підхід до створення різноманітних конфігурацій моделей на основі набору варіантів. Це служить орієнтацією для аналітиків при виборі оптимальної конфігурації;

- комплексна ідентифікація поведінки процесів на основі ініціативи шаблонів робочого процесу. Використовується наукове розуміння та

ініціативи шаблонів робочих процесів для ідентифікації та аналізу поведінки процесів;

- реалізація процесів на льоту та оцінка впливу змін. Забезпечує реалізацію процесів в реальному часі та оцінює їх вплив для ефективної реакції на несподіваності або винятки;

- автоматичне виконання моделей бізнес-процесів на основі суворо визначеної семантики. Використовує різноманітні інформаційні системи, що підтримують BPM, для автоматизованого виконання моделей з чітко визначеною семантикою;

- автоматичний пошук моделей процесів із необроблених даних подій. Застосовується автоматичний пошук моделей процесів на основі необроблених даних подій, що зберігаються в базах даних інформаційних систем.

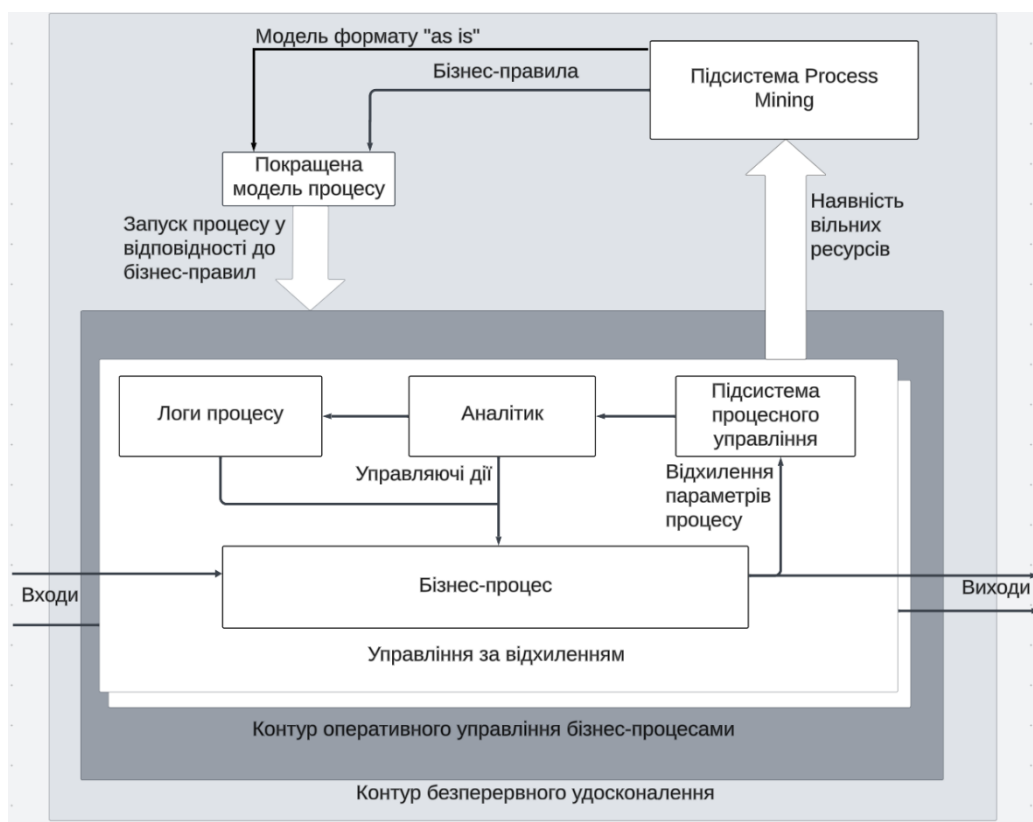


Рисунок 1.5 - Контури процесного управління бізнес процесами в Індустрії 4.0

Process mining – це аналіз процесів на основі журналів подій. Він дозволяє отримувати інформацію про наскрізні процеси в організаціях. Методи Process mining застосовуються майже на усіх етапах життєвого циклу BPM, включаючи проєктування, впровадження, моніторинг та коригування. Цей метод дозволяє добувати інформацію про процеси на виробництві, представляючи бізнес-процеси графічно на основі моделі процесу. Модель процесу, виявлена за допомогою Process Mining, відображає реальні відносини та дозволяє аналізувати залежності між виконуваними діями.



Рисунок 1.6 - Задачі інтелектуального аналізу процесів

На основі рисунку 1.6 можна виділити три ключові фази в Process Mining, які включають виявлення процесів, перевірку відповідності та покращення моделі. Метод виявлення процесу створює модель на основі журналу подій без використання інших джерел даних. Ця модель називається

початковою моделлю процесу. Така модель може бути підґрунтям для перевірок на відповідність, а також як основа для подальшого вдосконалення.

Метод перевірки відповідності порівнює фактичну поведінку, представлену у журналі подій, з модельованою поведінкою у початковій моделі процесу. Основна мета - виявити відмінності між записами у журналі та моделлю процесу. Інформація, отримана під час перевірки відповідності, може використовуватися для удосконалення початкової моделі, надаючи можливість її оптимізації або розширення за урахуванням виявлених розходжень.

- **Alpha Miner**

Алгоритм використовується для виявлення процесів і базується на понятті діаграм  $\alpha$ . Він працює шляхом визначення ймовірності того, що кожна подія може відбутися після заданої події.

- **Heuristics Miner**

Алгоритм використовує евристичні правила для визначення структури процесів на основі даних про події. Він оснований на визначенні зв'язків та залежностей між подіями для створення моделей процесу.

- **Inductive Miner**

Алгоритм виявлення процесів, який базується на індуктивному підході. Будує модель процесу, яка найкращим чином пояснює введені дані про події.

- **Fuzzy Miner**

Метод Fuzzy Miner є одним із популярних підходів в області процесного майнінгу, який використовує нечіткі логічні моделі для аналізу та оптимізації бізнес-процесів. Цей метод спеціалізується на виявленні та моделюванні нечіткостей у великих обсягах даних про події бізнес-процесів.

- **Log Skeleton**

Метод створює скелетну структуру процесу, яка представляє собою абстракцію від конкретних послідовностей подій. Він дозволяє виявити загальні зразки та структуру процесу.

## 1.4 Постановка задачі дослідження

Індустрія 4.0 характеризується використанням новітніх технологій, базові вимоги до яких потребують постійного поліпшення виробництва з використанням швидких змін у відповідних технологіях. Що потребує, постійного удосконалення процесного управління підприємством в рамках індустрії 4.0, при такому удосконаленні використовуються методи інтелектуального аналізу процесів. В умовах індустрії 4.0 бізнес-процеси виробництва стають все більш складними та взаємопов'язаними. Це вимагає від підприємств використання нових методів і підходів до управління процесами. Однак існуючі методи орієнтовані на побудову моделей бізнес-процесів «як є», в той час як зміни бізнес-процеса зазвичай пов'язані зі зміною паттернів, що відображають набір бізнес-правил підприємства, що фактично використовуються на виробництві. Ці правила додають умови та обмеження для бізнес-процесів. Тому актуальною є задача виявлення цих паттернів бізнес-правил засобами Process Mining та подальшого використання цих правил для постійного вдосконалення бізнес-процесів.

Зазвичай, коли ми говоримо про управління бізнес-процесами, ми маємо на увазі процес управління, який включає в себе такі етапи, як опис процесу, та оцінку процесу. Для удосконалення процесу ми впроваджуємо зміни в процес з метою його покращення. Цей процес управління є циклічним, тобто ми постійно повертаємося до етапу оцінки та вдосконалення, щоб забезпечити ефективну працю.

Однак, у сучасному світі, коли бізнес-процеси стають все більш складними та динамічними, цей традиційний процес управління може бути недостатнім.

По-перше, люди адаптуються до управління. Коли ми описуємо процес та визначаємо його ролі, ми виходимо з того, як ми вважаємо, що процес повинен проходити. Однак, люди часто адаптуються до управління, і

починають виконувати свої ролі не так, як ми очікували. Це може призвести до того, що процес буде працювати неефективно, навіть якщо він був добре описаний і оцінений.

По-друге, бізнес-процеси змінюються. Світ змінюється швидко, і бізнес-процеси повинні змінюватися разом з ним. Однак, традиційний процес управління не передбачає постійного моніторингу та адаптації бізнес-процесів до змін.

Для того, щоб забезпечити ефективність бізнес-процесів у сучасному світі, нам потрібно використовувати новий підхід до управління. Цей підхід повинен бути заснований на постійному моніторингу та адаптації бізнес-процесів. Один із способів реалізувати цей підхід – використовувати Process Mining.

Process Mining – це технологія, яка дозволяє нам аналізувати реальні дані про виконання бізнес-процесів. Це дозволяє нам отримувати фактичну картину того, як проходить процес, і виявляти проблеми, які неможливо виявити за допомогою традиційних методів управління.

За допомогою Process Mining ми можемо постійно моніторити бізнес-процеси та виявляти будь-які зміни у їхньому виконанні. Це дозволяє нам швидко реагувати на зміни та впроваджувати необхідні зміни в процес.

Методи інтелектуального аналізу дозволяють підприємствам вирішувати широкий спектр завдань у циклі процесного управління виробництвом.

Методи інтелектуального аналізу дозволяють збирати та аналізувати великі обсяги даних, що можуть бути корисними для розуміння процесів виробництва та виявлення проблем. Наприклад, такі методи можуть бути використані для виявлення тенденцій у даних про час виконання завдань, витрати на виробництво або якість продукції.

Мета дослідження – дослідження методів процесного управління в Індустрії 4.0, що використовуються для безперервного поліпшення бізнес-

процесів з використанням паттернів, що відображають набір бізнес-правил підприємства, що фактично використовуються на виробництві.

Як рішення, запропоновано розробку удосконаленого методу постійного поліпшення бізнес-процесів в контурі процесного управління з використанням технології Process Mining, шляхом виділення паттернів, що відображають набір бізнес-правил підприємства, на основі аналізу логів та подальшого корегування моделі бізнес-процесу у відповідності до визначених правил.

Таким чином, Process Mining може допомогти забезпечити ефективність бізнес-процесів у сучасному світі, де люди адаптуються до управління, а бізнес-процеси змінюються.

## 2 РОЗРОБКА УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ ПІДТРИМКИ ПОСТІЙНОГО УДОСКОНАЛЕННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ В ІНДУСТРІЇ 4.0

2.1 Виділення паттернів залежностей між діями бізнес-процесу з використанням методології інтелектуального аналізу процесів

Бізнес-правила - це формальні визначення, які визначають поведінку бізнесу. Вони визначають, що може і не може бути зроблено в бізнесі, і вони використовуються для забезпечення того, щоб бізнес дотримувався своїх політик, процедур і законів. Бізнес-правила можуть бути написані в будь-якій формі, але вони часто описуються як твердження "якщо-тоді".

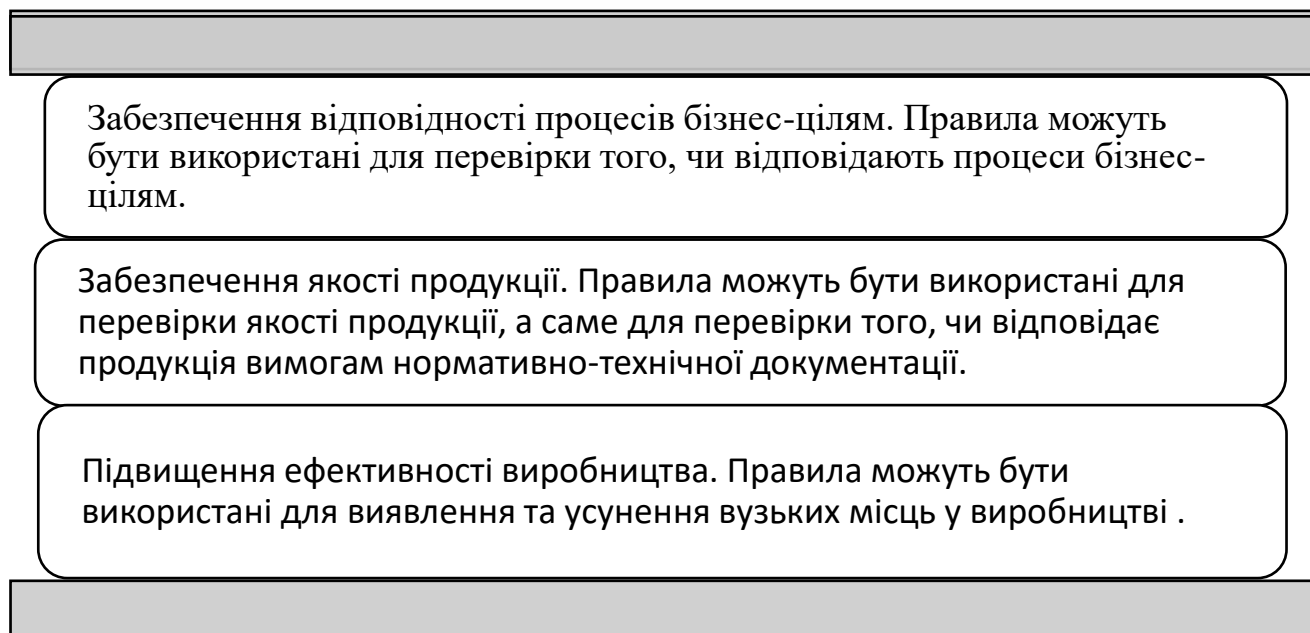


Рисунок 2.1 – Переваги використання бізнес-правил при удосконаленні  
бізнес-процесів

Визначення бізнес-правил для управління виробництвом є важливим кроком у побудові ефективної системи управління виробничими процесами.

Бізнес-правила визначають, як повинні виконуватися виробничі процеси, і забезпечують їх узгодженість та ефективність.

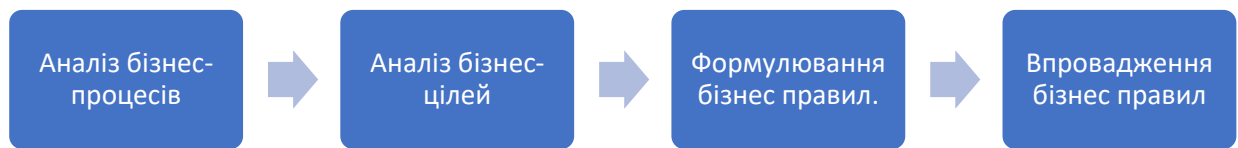


Рисунок 2.2 – Визначення бізнес правил для управління виробництвом

Однак, бізнес-правила не є статичними. Вони повинні постійно оновлюватися відповідно до змін у бізнес-середовищі, таких як зміни в технологіях, ринкових умовах або вимогах клієнтів. Алгоритми process mining можуть бути використані для покращення моделі бізнес-процесів шляхом виявлення та аналізу фактичних потоків робіт. Це може допомогти виявити невідповідності між фактичними потоками робіт та бізнес-правилами, а також визначити можливості для покращення ефективності та продуктивності.

Аналіз архітектури, описує алгоритм до перевірки процесу на основі інтелектуального аналізу процесів. Модель знаходиться завдяки видобутку процесів з журналу логів подій. В результаті, виконується імпорт отриманої моделі процесів до графічного редактора. Правила визначаються графічно. Після чого визначені раніше правила переводяться мовою правил. Отримані правила порівнюються з початковим журналом логів подій. Всі відхилення від норми фіксуються і візуалізовано зображуються на моделі процесу. Особливості архітектури:

Інтелектуальний аналіз процесів. Адаптивна система управління справами фіксує журнал логів подій, який має вигляд неструктурованого процесу. Для структурованої моделі процесу використовується метод інтелектуального аналізу процесів побудови з виявленням процесу в журналі логів подій.

Графікові визначення правил. Результати інтелектуального аналізу структурованої моделі процесу імпортуються до редактора процесів для графічного визначення правил. Коректні та некоректні шаблони правил присвоюються імпортованій моделі процесу.

Перетворення шаблонів правил у мову правил. Правила відповідності, визначені на попередньому етапі за допомогою графічних шаблонів, переводяться на мову правил, яка використовується для перевірки відповідності.

Перевірка відповідності за початковим журналом. Правила відповідності, визначені у мовою правил, перевіряються на основі початкового журналу логу подій. Порушення правил підраховуються та реєструються для всіх екземплярів процесів, які їх порушують.

Візуальне відображення результату. Результати перевірки правил відображаються у вигляді виділення на моделі процесу та у вигляді таблиці, яка містить інформацію про порушені правила, екземпляри процесів та загальну кількість порушених екземплярів процесів.

Ділові правила відіграють ключову роль в організації щоденної діяльності як у бізнесі, так і в у наукових середовищах [13], оскільки вони визначають, як повинна організація керуватися, щоб підтримувати його структуру, впливати на всі її аспекти та забезпечувати важливу інформацію для бізнес-моделей і технологій. Концептуальний представлення бізнес-правил є важливим, оскільки воно забезпечує джерело інформації які полегшують генерацію та підтримку технологічних моделей, і явні як працює організація. Зокрема, правила затвердження умов дії важливі, оскільки вони відображають обмеження або засоби контролю за правилами в організації; вони зрештою обмежують існування бізнес-правил відповідно до наявності інших правил ведення бізнесу. Але, незважаючи на його важливість, багато організацій це роблять не мають задокументованих правил ведення бізнесу. Тому важливо розвиватися автоматизовані механізми для виявлення цих правил

## 2.2 Удосконалений метод підтримки поліпшення бізнес-процесів на основі аналізу логів бізнес-процесів

Process Mining показує справжню та актуальну картину бізнес-процесів з усіма відхиленнями та можливими сценаріями. Технологія аналізує дані та будує карту бізнес-процесів компанії в режимі реального часу, вказуючи на важливі дії, що не відповідають регламентам, та відхилення від виконання процесу.

Деякі можливості використання методів Process Mining:

- Process Mining застосовується для виявлення та аналізу повторюваних процесів на виробництві, що може призвести до їх покращення та підвищення ефективності;

- Process Mining може виявити приховані закономірності в складних виробничих процесах, що допомагає краще їх зрозуміти та управляти ними;

- виявлення закономірностей за допомогою Process Mining може допомогти розробити найкращі практики та шаблони для оптимізації робочих процесів;

- Process Mining може допомогти в аналізі поведінки працівників та надавати рекомендації для прийняття рішень, засновані на минулому досвіді;

- Process Mining може стати фундаментом для інтелектуального аналізу процесів, допомагаючи в розумінні та вдосконаленні як структурованих, так і неструктурованих виробничих процесів.

Інтелектуальний аналіз процесів використовує дані для аналізу бізнес-процесів, нехтуючи аналізом даних. Інакше кажучи, Process Mining, на відміну Data Mining, не цікавиться низькорівневими закономірностями у вихідних даних, але ставить за завдання оптимізацію бізнес-процесів (особливо наскрізних). Питання, на які відповідає Process Mining, можна розбити на дві групи

- питання продуктивності (ефективності) процесів;

- питання узгодженості процесів.

Інтелектуальний аналіз процесів часто починається з аналізу даних з журналів подій. Кожен запис у журналі подій відповідає окремій події, яка містить інформацію про обставини її виникнення, виконані дії та час реєстрації. Таким чином, журнали подій можна розглядати як сукупність випадків, а окремі випадки — як послідовності подій, які пов'язані між собою.

Таблиця 2.1 – Задачі інтелектуального аналізу процесів для удосконалення бізнес-процесів

Задачі інтелектуального аналізу процесів для удосконалення бізнес-процесів	Типові запитання, що ілюструють характеристики задач	Мета інтелектуального аналізу процесів
Виявлення реальних бізнес-процесів	Який вигляд має процес, який насправді?	Перевірити узгодженість між процесом «як є» і «як має бути»
Пошук вузьких місць у бізнес-процесах	Де в процесі розташовані місця, що обмежують загальну швидкість його виконання? Що викликає поява таких місць?	Встановити причини зменшення ефективності бізнес-процесів
Виявлення відхилень у бізнес-процесах	Де реальний процес відхиляється від очікуваного (ідеального) процесу? Чому відбуваються такі відхилення?	Перевірити узгодженість між процесом «як є» і «як має бути»
Пошук швидких/коротких шляхів виконання бізнес-процесів	Як виконати процес найшвидше? Як виконати процес за найменшу кількість кроків?	Встановити причини зменшення ефективності бізнес-процесів
Прогнозування проблем у бізнес-процесах	Чи можна передбачити появу затримок/відхилень/ризиків/... при виконанні процесу?	Продуктивність / Узгодженість

Наведений метод для безперервного поліпшення бізнес-процесів з використанням паттернів, що відображають набір бізнес-правил, складається з таких етапів.

Етап 1. Відбір підмножини трас логу для побудови моделі процесу «as is», засобами Process Mining.

$$L = \{ l_1 \vee l_2 \vee l_j | t_{l_i} \in T \}, \quad (2.1)$$

де  $L$  – журнал подій;

$l_j$  – траса логу (послідовність подій);

$t_{ji}$  – час виникнення подій трас логу;

$T$  – інтервал часу актуальності даних логу.

Етап 2. Розробка моделі процесу «as is» з використанням методів Process Mining.

Етап 3. Аналіз моделі «as is» та виявлення вузьких місць за невідповідністю темпоральних характеристики моделі «as is» та моделі «to be».

Етап 4. Формування підмножин фрагментів трас логу  $E_k$  для виявлених вузьких місць.

Етап 5. Формування паттернів залежностей між діями бізнес-процесу методом Fuzzy miner для фрагментів БП, де було виявлено вузькі місця в моделі процесу «as is».

$$Pt = \{ Pt_k : \forall k \exists E_k \subset L \}, \quad (2.2)$$

де  $Pt$  – паттерн залежності;

$E_k$  – підмножина фрагментів трас логу.

Етап 6. Створення вдосконаленої моделі «to be» з урахування отриманих паттернів.

Етап 7. Імплементация та оцінка отриманої моделі бізнес-процесу.

### 3 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УДОСКОНАЛЕНОГО МЕТОДУ

#### 3.1 Інформаційна технологія підтримки постійного удосконалення методу

В якості вхідних даних використовується журнал подій, що відображає записи про реальні події зареєстровані під час виконання процесів виробництва. Технологічні етапи створення та оцінки вдосконаленої моделі бізнес процесу на основі методів аналізу процесів Process Mining зображені на рисунку 3.1.

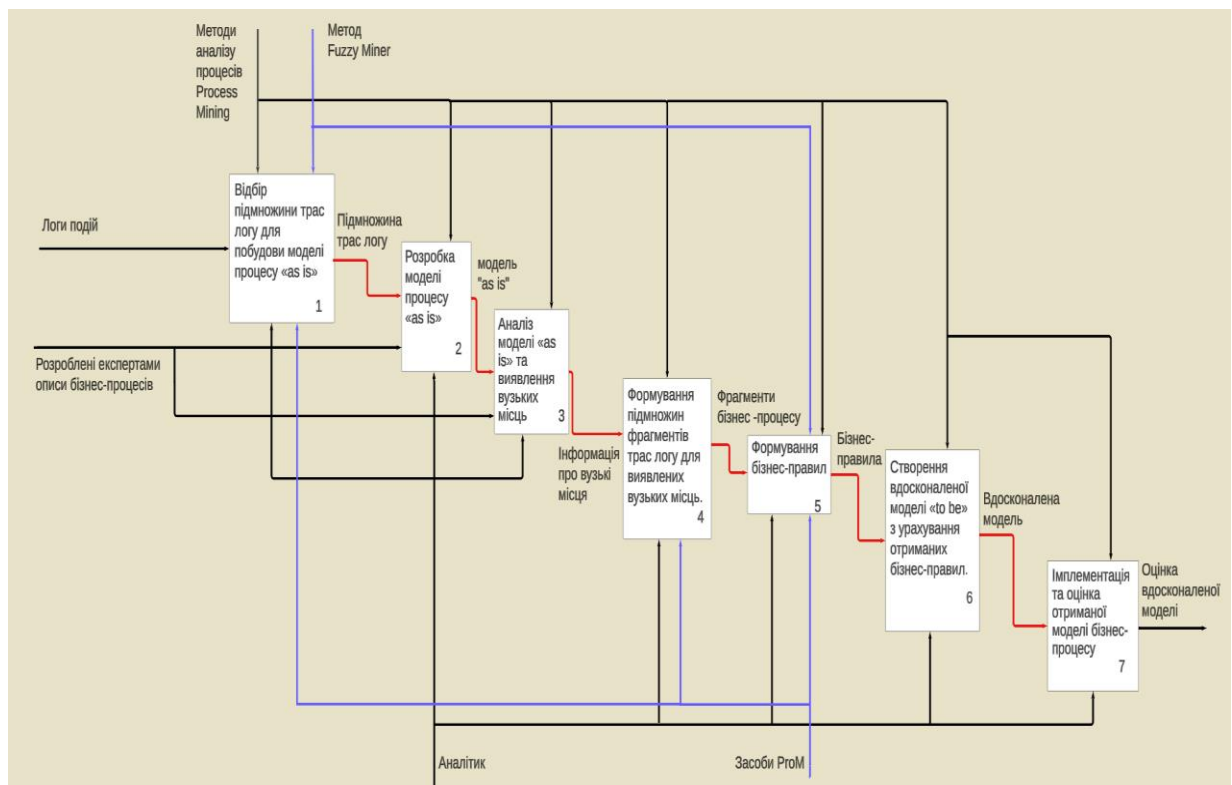


Рисунок 3.1 – Технологічні етапи створення та оцінки вдосконаленої моделі бізнес процесу на основі методів аналізу процесів Process Mining

На першому етапі формується відбір підмножини трас логу для побудови моделі процесу «as is», засобами Process Mining. Відібрані дані

обробляються та формуються за допомогою моделі представлення вхідних даних Fuzzy Miner алгоритму, що використовується у наступних етапах.

На другому етапі методу розробляється модель процесу «as is». Для цього використовується метод видобутку даних Process Mining. Цей метод дозволяє досліджувати дані про бізнес-процес і виявляти шаблони в цих даних. Модель процесу «as is» відображає реальний стан бізнес-процесу. Вона може бути використана для виявлення проблем та областей для покращення.

На третьому етапі методу проводиться аналіз моделі процесу «as is». Цей аналіз дозволяє виявити вузькі місця в процесі. Вузьке місце - це ділянка процесу, яка є більш уповільненою, ніж інші ділянки. Вузькі місця можуть призводити до зниження продуктивності та ефективності процесу.

На четвертому етапі методу формуються підмножини фрагментів трас логів для виявлених вузьких місць. Ці підмножини містять дані про траси, які відбулися в рамках вузьких місць. Формування цих підмножин дозволяє отримати більш детальну інформацію про вузькі місця. Ця інформація може бути використана для формування бізнес-правил, які будуть спрямовані на усунення вузьких місць в подальшому.

На п'ятому етапі методу формуються паттерни, що відображають набір паттернів бізнес-правил підприємства, методом Fuzzy Miner. Ці правила визначають, які дії необхідно виконати для усунення вузьких місць. На даному етапі виконуються описані кроки виконання класичного Fuzzy Miner алгоритму:

- підготовка даних: отримати дані процесу в формі логів, де кожний запис містить інформацію про виконані події та їх порядок;
- побудова графа процесу: перетворити дані логів у графову структуру, де вершини представляють події, а ребра відображають зв'язки між ними;
- визначення частоти подій: для кожної події обчислити її частоту виникнення в логах;
- визначення ступеня нечіткості: розрахувати ступінь нечіткості для кожного зв'язку між подіями на основі їх частоти виникнення та контексту;

- виявлення нечітких правил: використовуючи ступінь нечіткості, визначити нечіткі правила, що описують взаємодію між подіями;
- кластеризація правил: згрупувати нечіткі правила у кластери або категорії для полегшення аналізу та інтерпретації;
- аналіз результатів: оцінити отримані нечіткі правила та їхній вплив на процес, ідентифікувати можливість оптимізації та вдосконалення.

На шостому етапі методу створюється вдосконалена модель «to be» з урахуванням отриманих бізнес-правил. Ця модель відображає стан процесу після усунення вузьких місць.

На сьомому етапі методу вдосконалена модель бізнес-процесу імплементується та оцінюється. Імплементация означає впровадження змін у процесі відповідно до вдосконаленої моделі. Оцінка дозволяє перевірити ефективність впроваджених змін.

### 3.2 Імплементация інформаційної технології з використанням CI/CD

У сучасних умовах бізнесу для успішного функціонування та конкурентоспроможності організаціям необхідно постійно вдосконалювати свої процеси та системи. Одним із ефективних підходів до цього є впровадження Continuous Integration (CI) та Continuous Delivery (CD).

Безперервна інтеграція CI/CD є стратегією розробки та набір практик, у яких у код вносяться малі зміни з регулярними комітами. У зв'язку з тим, що більшість сучасних програм розробляються з використанням різних інструментів та платформ, виникає потреба в ефективному механізмі інтеграції та тестування внесених змін.

Безперервна інтеграція (CI) — це практика розробки програмного забезпечення, при якій розробники часто об'єднують свої зміни в код в єдиний

репозиторій. Це дозволяє виявляти і усувати проблеми інтеграції на ранніх етапах розробки, а також допомагає підтримувати код в актуальному стані.

Неперервне постачання (CD) — це практика, яка автоматизує розгортання додатків у цільові середовища. Вона є продовженням безперервної інтеграції і дозволяє командам розробників випускати нові функції та оновлення швидше і більш надійніше

З технічної точки зору основна мета безперервної інтеграції (CI) полягає у забезпеченні послідовного та автоматизованого процесу складання, пакування та тестування додатків. При успішній реалізації процесу безперервної інтеграції розробники найімовірніше будуть часто вносити зміни, що, у свою чергу, сприяє покращенню комунікації та підвищенню якості програмного забезпечення.

Безперервне постачання (Continuous Delivery) є автоматизованим процесом розгортання програми в цільовому оточенні.

Безперервне постачання є логічним продовженням безперервної інтеграції. Ця технологія дозволяє автоматично розгортати додатки в різні середовища, такі як робоче, тестове та продакшн. Інструменти для CI/CD допомагають налаштовувати специфічні параметри оточення, які конфігуруються під час розгортання. Крім того, автоматизація CI/CD виконує необхідні запити баз даних, до веб-серверів, та інших сервісів, які можуть вимагати перезапуску або виконання додаткових дій під час розгортання програми.

У цій роботі розглянуто можливість застосування CI/CD у процесному управлінні процесами виробництва. Охарактеризовано основні переваги впровадження CI/CD у виробництво, а також наведено ключові етапи цього процесу.

Підвищення ефективності: CI/CD дозволяє автоматизувати процеси тестування, розробки та розгортання, що може призвести до значного підвищення ефективності виробництва. Наприклад, автоматизовані процеси збірки та розгортання можуть скоротити час циклу розробки, а автоматизоване

тестування може допомогти виявити та усунути помилки на ранніх етапах розробки.

CI/CD може допомогти підвищити якість продукції, оскільки автоматизовані тести можуть забезпечити більш надійне виявлення помилок. Крім того, CI/CD може допомогти забезпечити більш високу відповідність продукції вимогам.

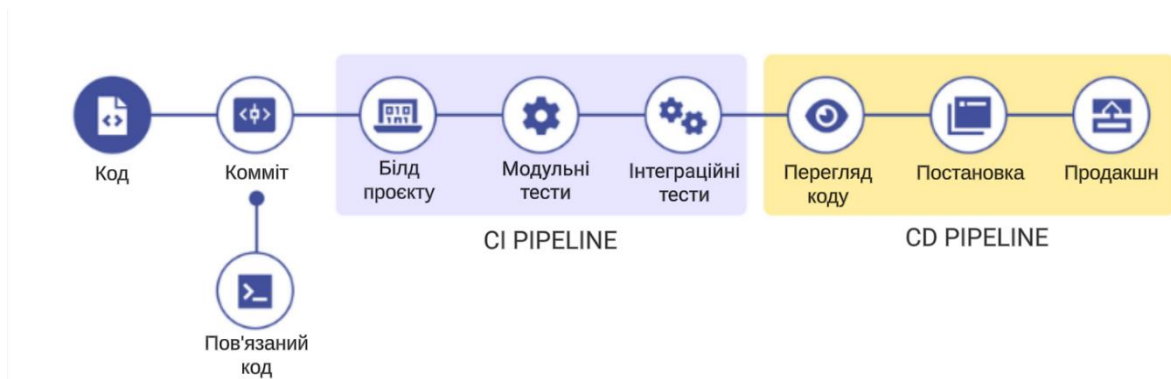


Рисунок 3.2 – Конвейер робочого процесу CI/CD

Використання CI/CD може призвести до зниження часу виведення на ринок, оскільки автоматизовані процеси розробки, тестування та розгортання можуть прискорити процес впровадження та розробки нових продуктів і послуг.

Впровадження CI/CD у виробництво є складним процесом, який вимагає ретельного планування та підготовки. Ключовими етапами цього процесу є:

- аналіз та визначення процесів: на цьому етапі необхідно оцінити поточні виробничі процеси та визначити етапи, на яких можна впровадити автоматизацію через CI/CD;

- автоматизована збірка: на цьому етапі необхідно використовувати інструменти для автоматизації збірки виробничого коду;

- тестування якості коду: на цьому етапі необхідно включити автоматизовані тести, які виконуються на кожному етапі збірки та підтверджують якість коду;

- автоматизована розгортка: на цьому етапі необхідно використовувати інструменти для автоматизації розгортки на виробниче обладнання та лінії виробництва;

- інфраструктура як код: на цьому етапі необхідно застосовувати підходи IaC для автоматизованого керування конфігурацією виробничої інфраструктури;

- моніторинг та логування : на цьому етапі необхідно впроваджувати системи моніторингу та логування для виявлення проблем та моніторингу продуктивності в реальному часі;

- безпека: на цьому етапі необхідно розглядати можливість використання інструментів автоматизованої перевірки безпеки виробничого коду та систем;

- етапи доставки на виробництво: на цьому етапі необхідно визначити етапи доставки на виробничу лінію, включаючи тестові стенди, етапи підтвердження та розгортання;

- інтеграція з управлінням замовленнями та логістикою: на цьому етапі необхідно інтегрувати CI/CD з системами управління замовленнями та логістикою для покращення координації та ефективності виробництва;

- навчання та підтримка персоналу: на цьому етапі необхідно забезпечити навчання персоналу стосовно нових процесів та інструментів, які вводяться за допомогою CI/CD;

- вдосконалення на основі звітності та аналізу: на цьому етапі необхідно використовувати звітності та аналіз результатів CI/CD для постійного вдосконалення виробничих процесів.

Jenkins представляє собою популярний сервер автоматизації з відкритим вихідним кодом, що дає розробникам можливість безперервно створювати, тестувати та розгортати програмні проекти. Відзначається великою кількістю плагінів, які взаємодіють з різними інструментами та платформами, надаючи універсальність та потужність для реалізації безперервної інтеграції та поставки. Jenkins допомагає автоматизувати та оптимізувати життєвий цикл

розробки програмного забезпечення, підвищуючи при цьому якість та надійність результатів.

Pipeline є ключовим елементом процесу CI/CD, представляючи собою автоматизований набір кроків, якими керує команда розробників програмного забезпечення для створення, тестування та розгортання програмних додатків. Pipeline є стандартизованим процесом, що гарантує, що кожна зміна коду проходить однаковий шлях від розробки до випуску, забезпечуючи єдність та надійність у всьому процесі.

Використання CI/CD (Continuous Integration/Continuous Delivery) у процесному управлінні є ключовим етапом для забезпечення ефективності, автоматизації та стабільності в життєвому циклі розробки програмного забезпечення.

## 4 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА ОТРИМАНИХ ТЕОРЕТИЧНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

### 4.1 Обґрунтування вибору платформи для експериментальної перевірки

У попередньому розділі обрано та пояснені методи та технології, що використовуються в дослідженні методів процесного управління в Індустрії 4.0, для безперервного поліпшення бізнес-процесів з використанням бізнес-правил, що фактично використовуються на виробництві

У цьому розділі демонструється реалізація прототипу рішення удосконаленого методу постійного поліпшення бізнес-процесів в контурі процесного управління з використанням технології Process Mining, шляхом виділення бізнес-правил на основі аналізу логів та подальшого корегування моделі бізнес-процесу у відповідності до визначених правил. Також вказуються проблеми, з якими довелося зіткнутися під час його впровадження.

На першому етапі здійснюється виявлення в логах опис послідовності подій з виконання бізнес-процесів, який містить опис паттернів, що відображають набір бізнес-правил підприємства.

Опис паттернів може бути представлений у вигляді набору правил, які визначають, які події можуть відбуватися в бізнес-процесах, в якому порядку вони повинні відбуватися, а також які умови повинні бути виконані для того, щоб процес вважався завершеним.

Потім, за цими шаблонами, здійснюється пошук схожих процесів-аналогів. Порівняння описів бізнес-процесу з описами процесу-аналога дозволяє визначити, чи є вони схожими, і якщо так, то паттерни використовуються й для нового процесу.

Після успішного виконання бізнес-процесу формується бізнес-правило у вигляді його опису і отриманого «рішення», яке заноситься в базу бізнес-правил для його повторного застосування при управлінні аналогічними наскрізними бізнес-процесами.

Таким чином, фактично формується покращена модель бізнес-процесу. Ця модель заснована на наборі паттернів, які відображають типові бізнес-процеси, що відбуваються в організації.

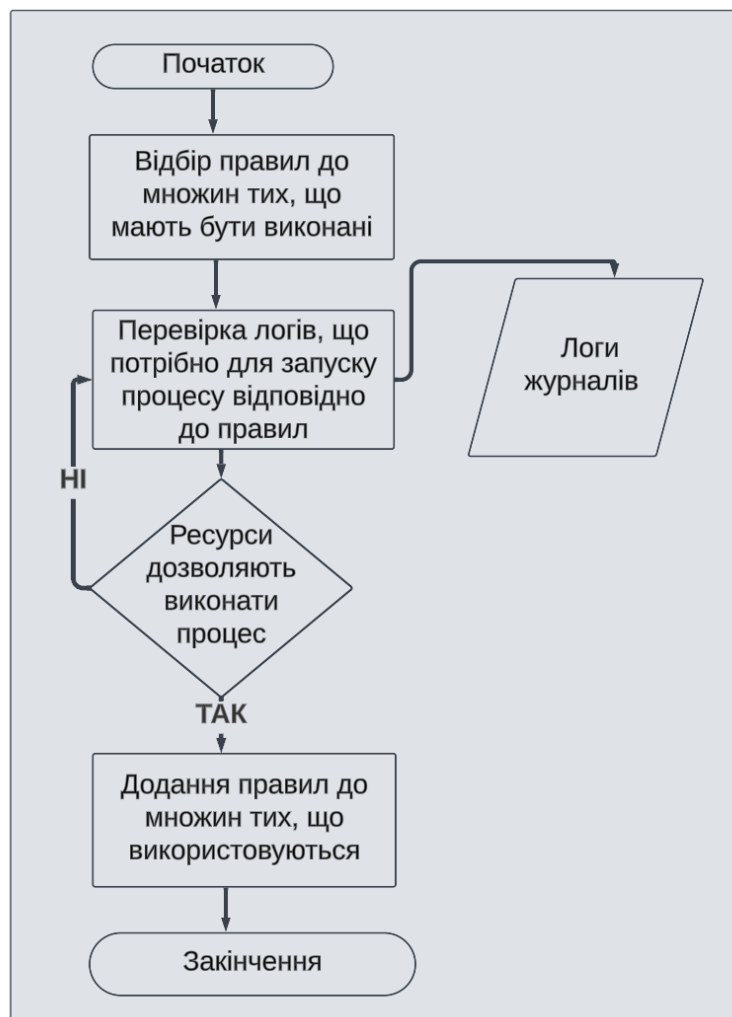


Рисунок 4.1 – Алгоритм запуску управління новим бізнес-процесом

В якості програми для проведення інтелектуального аналізу було обрано ProM (Process Mining framework)

Програма ProM – це вільне та відкрите програмне забезпечення, яке використовується для проведення інтелектуального аналізу лог-файлів. Воно дозволяє візуалізувати лог-файли, аналізувати їх з точки зору різних аспектів, а також виявляти закономірності та аномалії.

Програма має широкий спектр функцій, які дозволяють її використовувати для вирішення різних завдань інтелектуального аналізу.

Програма Prom – це безкоштовна програма, яка дозволяє автоматизувати розгортання додатків у різні оточення, включаючи робоче, тестове та продакшн. Програма складається з двох основних компонентів:

- процесор правил – це інструмент, який дозволяє визначати правила відповідності для кожного середовища;

- інструмент розгортання – це інструмент, який виконує розгортання додатків відповідно до правил відповідності.

Процесор правил використовує журнал подій для визначення того, чи відповідає додаток правилам відповідності. Якщо додаток не відповідає правилам, процесор правил генерує повідомлення про помилку.

Інструмент розгортання використовує правила відповідності для визначення того, які файли та каталоги потрібно розгорнути в кожному середовищі. Інструмент також може виконувати інші завдання, такі як запуск скриптів або команд.

Переваги використання ProM:

- автоматизацію розгортання – ProM дозволяє автоматизувати розгортання додатків, що зменшує ризик помилок і покращує ефективність;

- забезпечення відповідності – ProM дозволяє визначати правила відповідності для кожного середовища, що допомагає забезпечити, що додатки відповідають вимогам кожного середовища;

- масштабованість – ProM є масштабованим рішенням, яке можна використовувати для розгортання додатків у будь-якому розмірі.

Джерела інформації для Process Mining – це дані, які використовуються для виявлення та моделювання бізнес-процесів. Джерела інформації можна розділити на два основних типи.

Лог-файли є найпоширенішим джерелом інформації для Process Mining. Вони містять інформацію про фактичну поведінку бізнес-процесів, що

дозволяє отримувати точні і надійні результати. Однак лог-файли можуть бути великими і складними, що ускладнює їх аналіз.

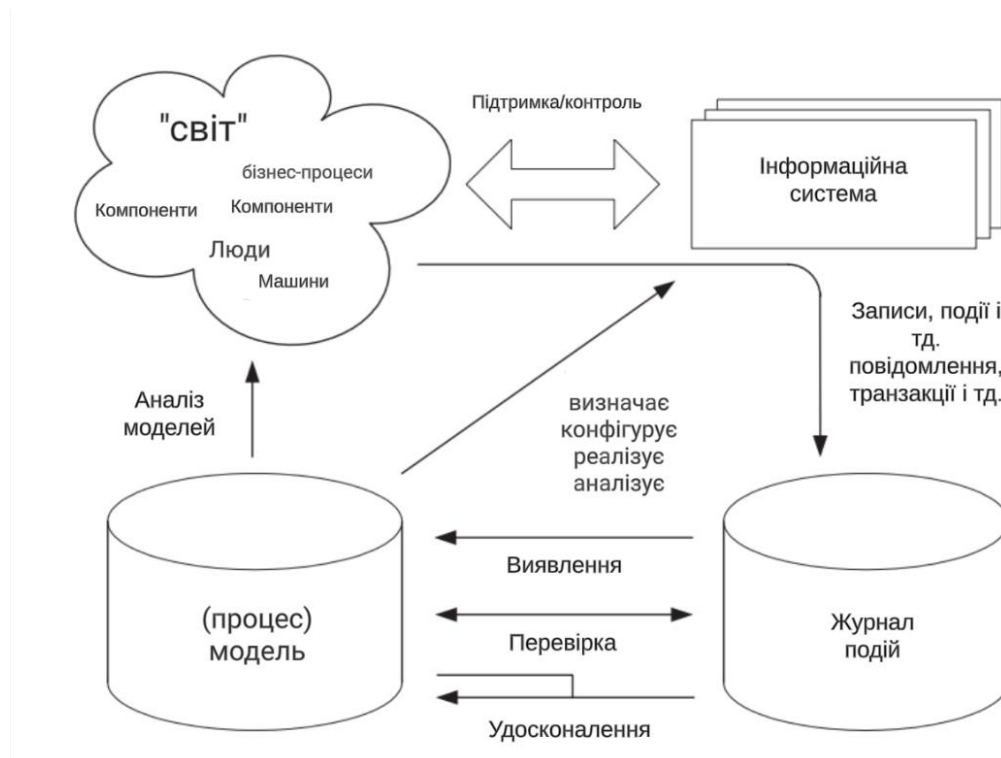


Рисунок 4.2 – Джерела інформації для Process Mining

Програма Prom може використовуватися як інструмент для перевірки відповідності додатків вимогам. Для цього можна використовувати наступні кроки:

Першим кроком є визначення правил відповідності, які повинні виконуватися додатками. Правила відповідності можуть визначати такі фактори, як:

- версія програмного забезпечення;
- налаштування конфігурації;
- наявність певних файлів або каталогів;
- результати виконання певних тестів.

Наступним кроком є збір журналу подій для додатка. Журнал подій містить інформацію про роботу додатка, включаючи його конфігурацію, параметри запуску та результати виконання.

Після збору журналу подій можна використовувати процесор правил Prom для перевірки відповідності додатка правилам відповідності. Якщо додаток не відповідає правилам, процесор правил генерує повідомлення про помилку.

Результати перевірки відповідності можна відобразити у вигляді звіту, таблиці або діаграми. Це допоможе зрозуміти, які правила не дотримуються додатком.

За допомогою Process Mining можна швидко виявити, між якими етапами зависають процеси і скільки часу йде на кожен із них. При цьому систему досить один раз налаштувати, а далі просто користуватися. ProM надає кілька варіантів одержання звіту після аналізу. Це граф, варіативний (сценарний) звіт, базові звіти щодо процесу. Крім того, можна використовувати конструктор звітів та конструктор фільтрів. Зокрема, головна сторінка рішення Process Mining у Сфері є глобальним графом аналізованого процесу.

Одна з основних складностей, з якою доводиться стикатися під час впровадження – відсутність галузевих стандартів зберігання даних. Адже кожна компанія зберігає дані по-своєму.

## 4.2 Побудова процесних моделей на платформі ProM

Process mining у програмі Prom є потужним інструментом для інтелектуального аналізу даних процесів в організації. Однією з ключових можливостей є виділення частини логу, яка відображає виконання певних бізнес-правил підприємства. Це дозволяє виявити та проаналізувати залежності між різними етапами процесів та визначити паттерни, що характеризують специфіку функціонування організації.

За допомогою виокремленої частини логу можна визначити, які саме бізнес-правила використовуються у конкретних країнах чи галузях діяльності. Патерни, які відображають ці бізнес-правила, можуть включати в себе послідовності дій, умови виконання та інші характеристики, які визначають та оптимізують роботу підприємства.

Важливо відзначити, що залежності у реалізації бізнес-правил можуть виникати з різних причин. Наприклад, різні країни можуть мати різні правові вимоги або культурні особливості, що впливають на виконання певних етапів процесів. Також можуть враховуватися місцеві особливості ринку, конкурентні умови та стратегії компанії.

У випадках, де бізнес-правило виконується в одному місці, а в іншому – ні, може впливати низка факторів. Це може бути пов'язано з різним рівнем використання технологій, доступністю ресурсів, кваліфікацією персоналу чи іншими факторами. Process mining дозволяє ідентифікувати ці відмінності та допомагає організації оптимізувати свої процеси для досягнення кращої ефективності та відповідності вимогам бізнес-правил у різних контекстах.

Після запуску PROM відкривається робочий простір, в якому відображаються матеріали, з якими користувач працює. Це можуть бути CSV-файли, XES-файли та їх похідні. Робочий простір розділений на три вкладки (рисунок 4.3).

- Workspace - основна вкладка, на якій відображаються всі матеріали, що завантажені в програму;

- Actions - вкладка, на якій представлені інструменти для обробки матеріалів;

- View - вкладка, на якій можна переглянути результати обробки матеріалів.

Основна функціональна кнопка на вкладці Workspace – «імпорт». З її допомогою в робочий простір можна завантажувати файли, з якими користувач планує працювати. Перше завдання, з яким користувач стикається при використанні PROM, це завантаження логів. Для цього потрібно

натиснути кнопку Імпорт у правому верхньому кутку вкладки Workspace. Якщо файл знаходиться в архіві, його можна завантажити в PROM в архівованому вигляді.



Рисунок 4.3 – Графічний інтерфейс ProM Framework

На наступному етапі користувачу пропонується вибрати плагін для імпортування. У результаті завантаження користувач отримує журнал подій, який буде відображатися на вкладці Workspace.

Найпростіший спосіб отримати лог - це імпорт файлу в форматі XES. Однак на практиці частіше зустрічається імпорт файлів у форматі CSV і їх подальша конвертація в формат логів.

Для конвертації CSV-файлу в лог-файл користувач повинен виконати наступні кроки:

Перейти на вкладку Workspace.

Натиснути кнопку Імпорт.

Вибрати CSV-файл, який потрібно конвертувати.

Натиснути кнопку Імпорт.

Після цього користувач потрапить на вкладку Actions, на якій розташований інструмент для конвертації CSV-файлів у лог-файли. У результаті користувач отримає лог-файл, який буде відображатися на вкладці Workspace.

Сторінка views (рисунок 4.4) призначена для того, щоб переглянути докладну інформацію за даними нашого лог-файлу, включаючи графіки, мережі Петрі та багато іншого. Можна помітити що при перегляді файлів на сторінці views на екрані зліва з'являються 3 функціональні вкладки: вкладка Dashboard, Inspector та Summary.

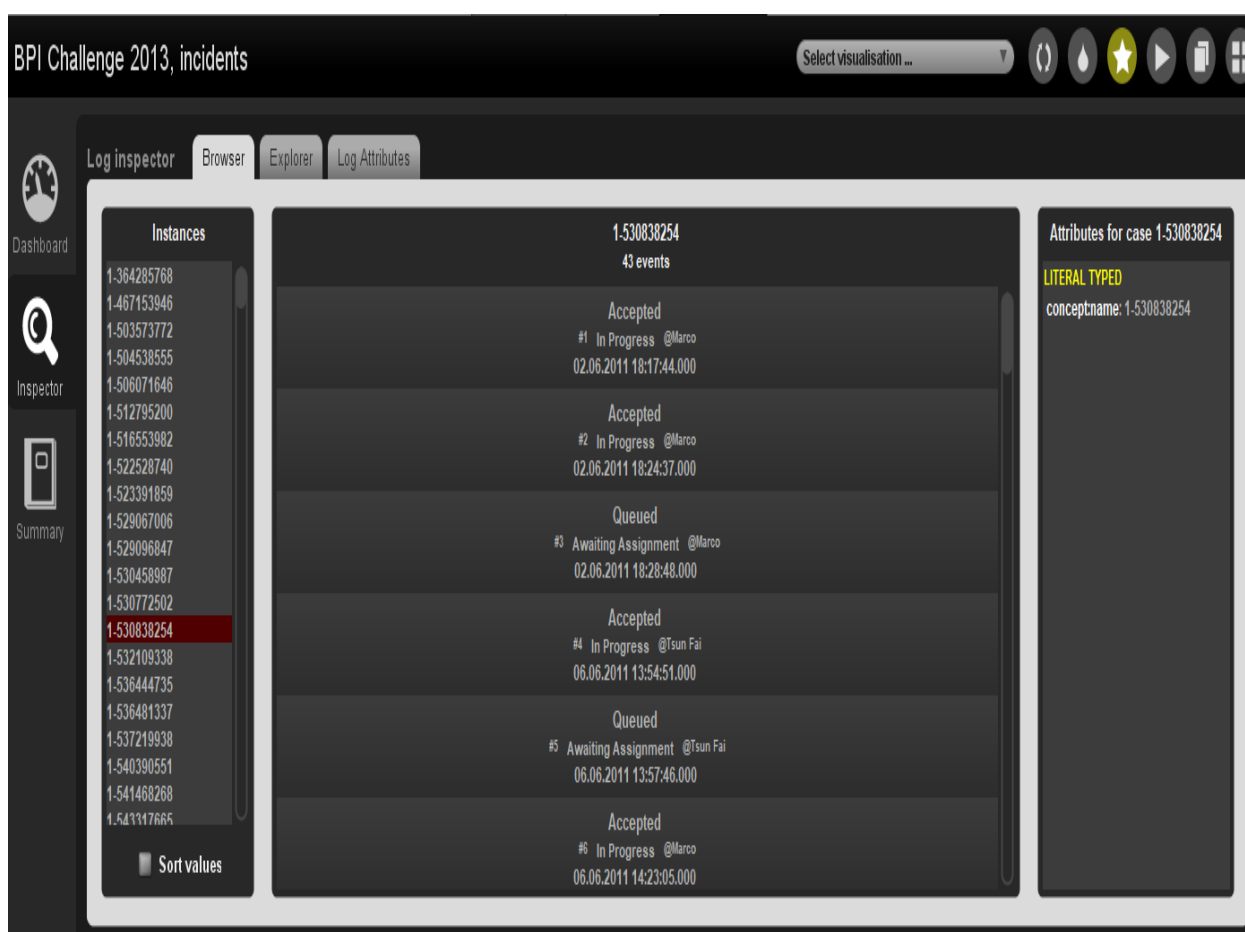


Рисунок 4.4 – Вкладка Inspector

На вкладці Dashboard ми бачимо розподіл наших кейсів, зверху розподіл подій, що припадають на один кейс, знизу розподіл класів подій, що припадають на один кейс. Також у розділі key data можна подивитися зведену статистику за нашим логом – це кількість процесів, кількість випадків, кількість подій, кількість класів подій і т.д.

Якщо відкрити вкладку Inspector, то на ній можна побачити всі кейси та подивитися кожен кейс індивідуально.

Вкладка Summary містить у собі зведену агреговану інформацію з журналу логу (рисунок 4.5). На цій вкладці можна переглянути кількісні дані щодо кожної події, частоту їх виникнення і т.д.



Рисунок 4.5 – Візуалізація інформації журналу логу в ProM

**Log Summary**

Total number of process instances: **819**  
Total number of events: **2351**

**Activity classifier**

Event classes defined by Activity classifier  
**All events**

Total number of classes: **5**

Class	Occurrences (absolute)	Occurrences (relative)
Accepted+In Progress	1154	49.050%
Completed+Closed	387	16.461%
Queued+Awaiting Assignment	383	16.291%
Accepted+Assigned	215	9.145%
Accepted+Wait	212	9.017%

**Start events**

Total number of classes: **5**

Class	Occurrences (absolute)	Occurrences (relative)
Accepted+In Progress	725	88.520%
Queued+Awaiting Assignment	59	7.204%
Accepted+Wait	18	2.199%
Accepted+Assigned	16	1.954%
Completed+Closed	1	0.122%

**End events**

Total number of classes: **5**

Class	Occurrences (absolute)	Occurrences (relative)
Completed+Closed	356	43.466%
Accepted+In Progress	205	25.031%
Queued+Awaiting Assignment	93	11.356%
Accepted+Assigned	87	10.620%
Accepted+Wait	78	9.524%

Рисунок 4.6 – Зведення журналу, згенероване PROM

Після конвертації журналу логу даних потрібно обрати потрібний нам метод інтелектуального аналізу, а саме метод Fuzzy Miner (рисунок 4.7).

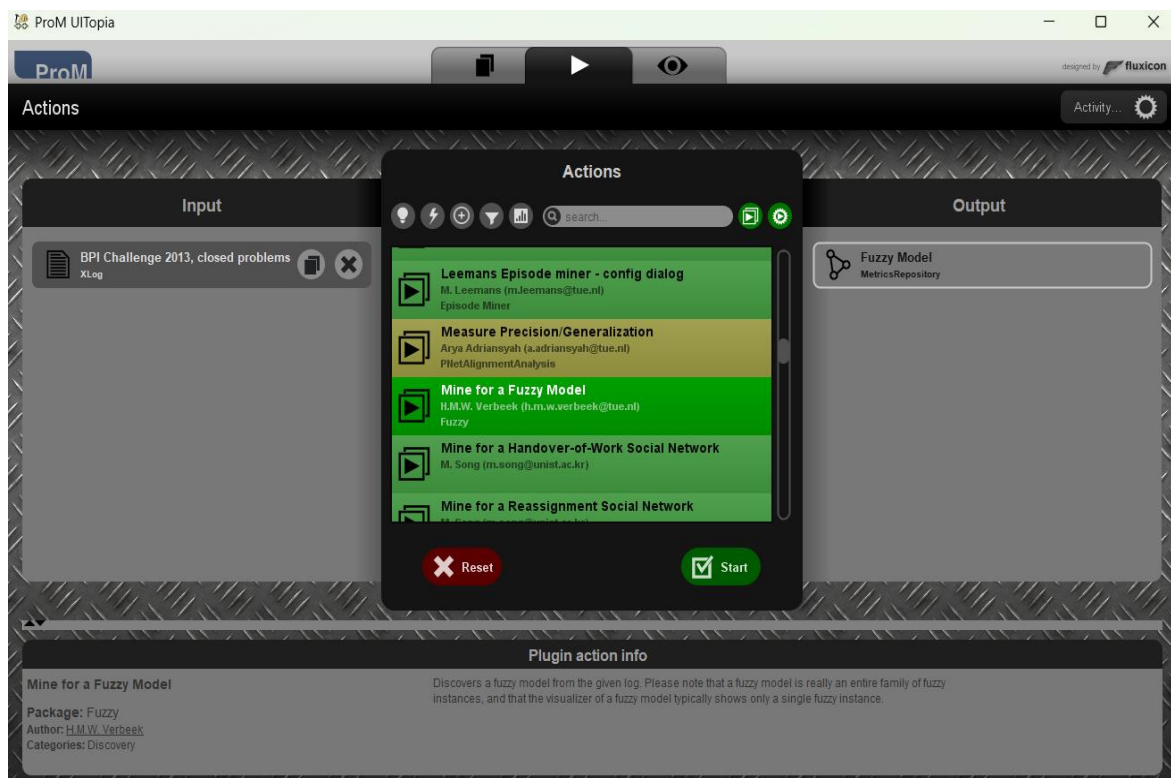


Рисунок 4.7 – Вибір інтелектуального методу аналізу

Fuzyu Miner є алгоритмом розділу discovery process технології Process Mining та використовується для побудови спрощеної моделі зі складних та неструктурованих логів.

Майнер використовує метрики значимості та залежності для спрощення моделі на бажаному рівні абстракції. Значимості події це те, як часто події відбуваються. Залежність це те, як часто був перехід від однієї події до іншої. Бажаний рівень абстракції це вже те, які параметри метрик встановлюються.

Варто відзначити, що особливістю даного майнера є те, що неможливо перетворити отриману модель на мову моделювання процесів іншого типу. Наприклад, отримана модель не може бути переведена в модель BPMN.

Fuzyu Miner є прекрасним засобом для первинної візуалізації даних і дозволяє познайомитися з аналізованим процесом і отримати графічне уявлення, як же відбувається процес насправді. Більше того, за допомогою майнера можна не тільки побудувати граф процесу, але й анімувати його, щоб бачити сам процес у реальному часі (рисунок 4.8).



Рисунок 4.8 – Fuzzy Miner від ProM, відповідна анімація роботи програми

Основними плюсами алгоритму Fuzzy Miner є його гнучкість визначення правил та здатність роботи з великими обсягами даних. Алгоритм Fuzzy Miner надає гнучкість у визначенні та налаштуванні нечітких правил, що дозволяє адаптувати модель до різних контекстів і вимог. За вірного підходу Fuzzy Miner може ефективно вирішувати завдання з видобутку знань з великими журналами логу подій.

Основним же мінусом є те, що метод призначений для конкретного типу даних. Fuzzy Miner часто найбільше підходить для аналізу процесів, де важливі нечіткі або невизначені взаємодії між подіями. У випадках, коли структура даних майже або абсолютно детермінована, інші методи можуть бути більш ефективними.

У різних філіалах виробничої компанії було проведено аналіз трас логів в журналах інцидентів. Результати вказали на те, що філіал в Польщі (рисунок 4.10) виявився найбільш успішним, тоді як філіал в Бразилії (рисунок 4.9) був визначений як найменш успішний.

Далі, для отримання більш глибокого розуміння та виявлення особливостей виробничих процесів, був застосований інтелектуальний аналіз даних.

Завдяки алгоритму Fuzzy Miner, що використовує теорію нечітких множин для виявлення неочевидних та слабо виражених зв'язків у великих масивах даних було виявлено нюанси та нечіткість у процесах, які можуть бути важко виявлені іншими методами.

Отже, результати аналізу Fuzzy Miner дозволили отримати більш детальне уявлення про динаміку виробничих процесів в обраних філіалах. Це може бути важливою інформацією для подальшої оптимізації та вдосконалення діяльності компанії, забезпечуючи здатність адаптуватися до конкретних викликів та умов у різних регіонах.

На основі результатів аналізу Fuzzy Miner були виявлені конкретні паттерни, які відображають набір бізнес-правил підприємства в філіалі в Польщі. Ці паттерни включають в себе взаємодію подій та їхні послідовності

в рамках виробничих процесів. Що включало, часті зв'язки між конкретними етапами виробництва, ефективні практики в управлінні запасами та оптимальний варіант використання ресурсів.

Отримані паттерни стали основою для визначення набору бізнес-правил, які характеризують успішний філіал у Польщі. Ці правила відображають оптимальні практики та стратегії, що призвели до успіху в даному контексті.

З метою вдосконалення діяльності філіалу в Бразилії, було впроваджено практики з Польщі, які включали в себе шаблони бізнес-правила. Цей процес впровадження може включати в себе адаптацію деяких правил до конкретних умов та особливостей бразильського ринку. Враховуючи нечіткість та адаптивність, які надає Fuzzy Miner, таке впровадження може бути більш ефективним та гнучким.

Такий підхід дозволяє компанії оптимізувати свої операції, використовуючи кращі практики, вивчені в одному регіоні, та адаптуючи їх до умов та вимог іншого.

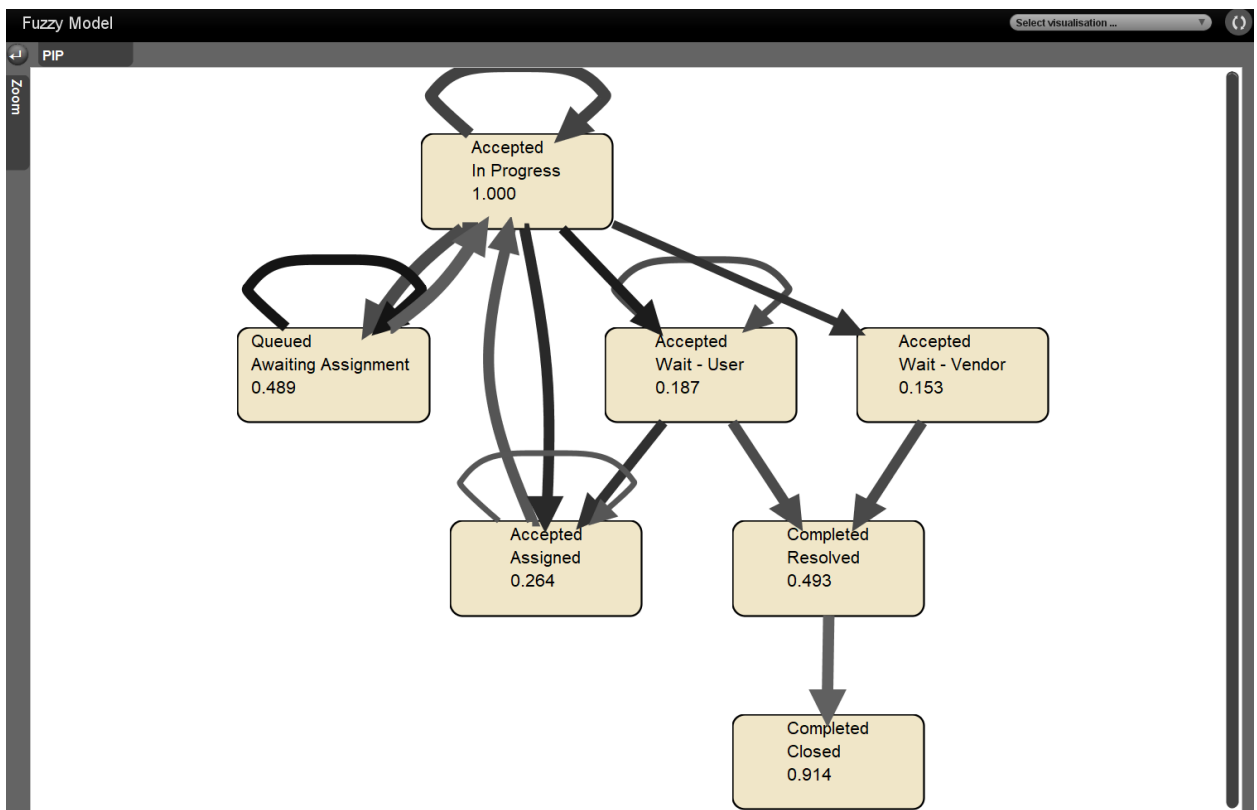


Рисунок 4.9 – Побудова паттернів роботи в Польському філіалі

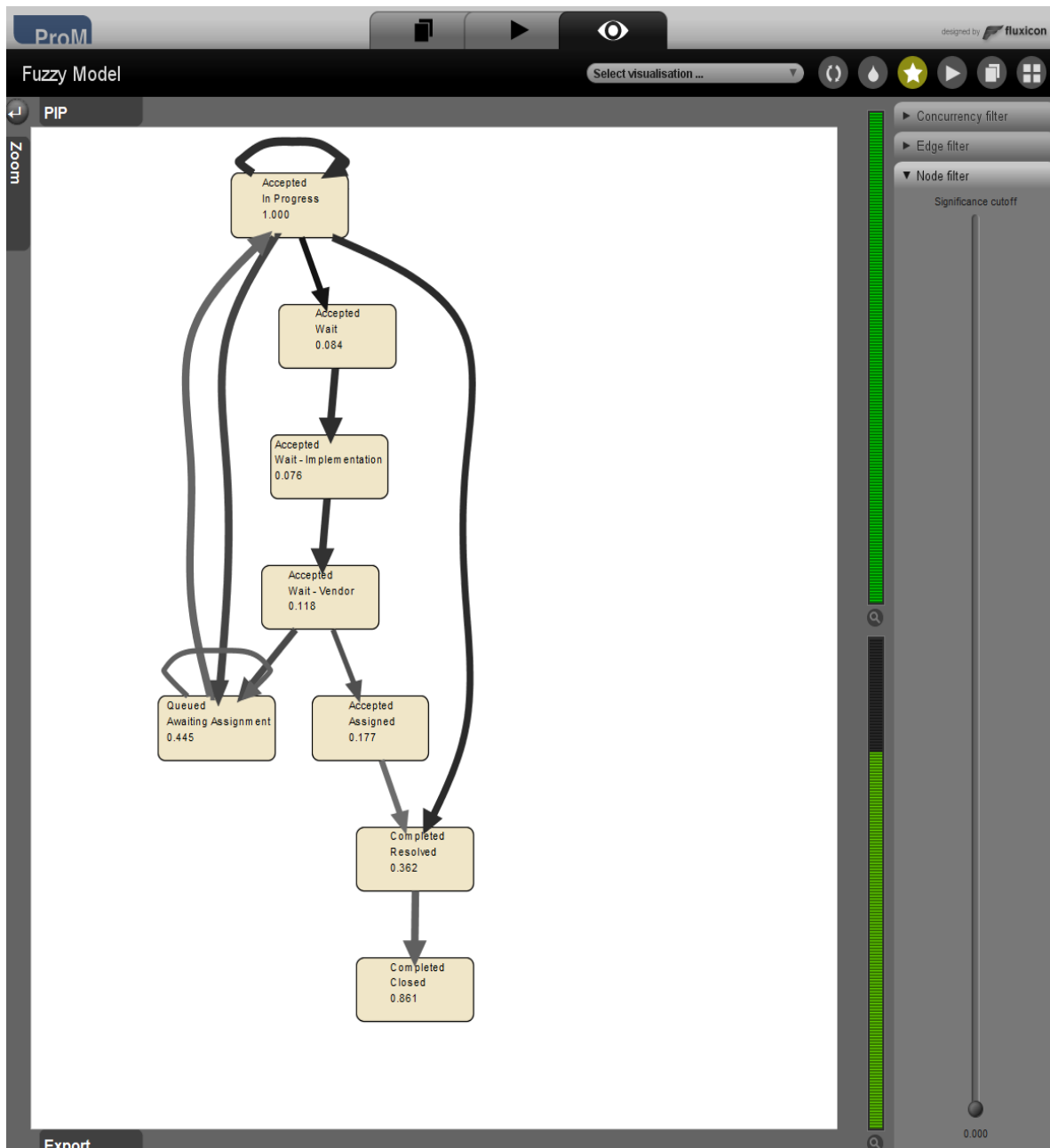


Рисунок 4.10 – Побудова паттернів роботи філіалу в Бразилії

### 4.3 Результати експериментальної перевірки

Після впровадження удосконаленого методу постійного поліпшення бізнес-процесів в контурі процесного управління з використанням технології

Process Mining спостерігаються значні покращення на виробництві.

Використання даної технології сприяло ефективнішому аналізу бізнес-процесів через виділення паттернів, що відображають набір бізнес-правил підприємства на основі аналізу логів.

Одним із суттєвих покращень стало зменшення часу, необхідного для виконання конкретних етапів бізнес-процесів. Проаналізувавши логи, були виявлені ефективні та неефективні кроки у виконанні завдань. Подальша корекція моделі бізнес-процесу у відповідності до визначених правил дозволила оптимізувати послідовність операцій та врахувати найбільш оптимальні шляхи виконання завдань.

Технологія Process Mining також дозволила автоматизувати багато рутинних операцій, що раніше вимагали значної людської участі. Це призвело до скорочення часу на виконання завдань та зниження ймовірності помилок, що, в свою чергу, позитивно позначилося на якості та продуктивності виробництва.

Додатково, впровадження удосконалених методів управління дозволило активно взаємодіяти зі співробітниками та залучати їх до процесу постійного поліпшення. Спільна робота над виявленням та виправленням неефективностей, призвела до покращення комунікації в команді та збільшення загальної свідомості щодо кращих практик у виробничому процесі.

Впровадження інтелектуального аналізу даних на виробництві також призвело до таких поліпшень:

- інтелектуальний аналіз даних використовувався для оцінки використання продукту та отримання фідбеку від користувачів. Це сприяло поліпшенню якості продукту та підвищенню задоволення клієнтів;

- актуалізація бази даних. Оновлені дані було додано до бази даних та пов'язані із відповідними виробничими процесами;

- актуалізація звітів та аналітичних інструментів. Після оновлення бази даних необхідно було актуалізувати всі звіти та інструменти аналізу, щоб вони відображали нові дані;

- підвищення конкурентоспроможності. Впровадження інтелектуального аналізу даних допомогло підприємству підвищити свою конкурентоспроможність, за рахунок більш ефективних рішень, ніж конкуренти;

- покращене управління ризиками. Інтелектуальний аналіз даних допоміг ідентифікувати ризики та запобігти потенційним проблемам;

- швидші рішення. Інтелектуальний аналіз даних прискорив процес прийняття рішень, оброблюючи великі обсяги даних і надаючи більш детальну інформацію;

- більш точні прогнози. Інтелектуальний аналіз даних збільшив точність аналізу та створення прогнозів. Це допомогло компанії приймати точніші рішення та планувати майбутній план дій та розвитку.

Таким чином, впровадження удосконаленого методу постійного поліпшення бізнес-процесів та технології Process Mining виявилось ключовим кроком у напрямку оптимізації виробництва, забезпечивши підприємству інструменти для ефективного управління та неперервного удосконалення своїх бізнес-процесів.

Другим критерієм оцінки ефективності були "відгуки користувачів"(рисунок 4.11). Для цього створено опитувальну анкету в Google Forms та надано доступ до неї експертній групі, яка брала участь у проєкті, де застосовувались схожі методи. В анкетуванні брали участь працівники віком від 21 до 60 років, які займали різні посади.

Для перевірки працездатності покращеного методу було проведено опитування на основі експериментального підходу. В результаті отримані дані по досліджуваним параметрам покращеного методу, що представлені у таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Висновки опитування про успіхи впровадження покращеного методу.

Параметри	Результати опитування
Чи сподобався удосконалений метод?	7.8
Чи підвищилась точність планування робіт?	7.6
Чи підвищилась ефективність?	8.2

## Опитування про удосконалений метод

Загальні питання з приводу удосконаленого методу

Чи сподобався удосконалений метод? \*

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Ні           Так

Чи підвищилась точність планування робіт? \*

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Ні           Так

Чи підвищилась ефективність? \*

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

Ні           Так

Ваші ідеї щодо покращення методу? \*

коротка відповідь

Рисунок 4.11 – Основні питання з приводу удосконаленого методу

## ВИСНОВКИ

Метою магістерської роботи є дослідження методів процесного управління в Індустрії 4.0, для безперервного поліпшення бізнес-процесів з використанням паттернів, що відображають набір бізнес-правил підприємства, що фактично використовуються на виробництві.

Було проведено аналіз особливостей Індустрії 4.0. Досліджено методи інтелектуального аналізу процесів для поліпшення процесного управління. А також досліджено підходи до процесного управління в Індустрії 4.0.

Удосконалено метод постійного поліпшення бізнес-процесів в контурі процесного управління з використанням технології Process Mining, шляхом виділення паттернів, що відображають набір бізнес-правил підприємства, на основі аналізу логів та подальшого корегування моделі бізнес-процесу у відповідності до визначених правил.

Кваліфікаційна робота виконана згідно з методичними вказівками щодо розробки та оформлення магістерської атестаційної роботи за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки (освітня програма «Інформаційні управляючі системи та технології» освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр».

Перелік джерел посилання оформлено згідно з державним стандартом ДСТУ 8302:2015 «Бібліографічне посилання. Загальні положення та правила складання»[14].

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Методичні вказівки до передатестаційної практики для студентів усіх форм навчання спеціальності 122 – Комп’ютерні науки, освітньо-професійної програми "Інформаційні управляючі системи та технології" / Упоряд.: Чалий С.Ф., Євланов М. В., Чала О. В. - Харків: ХНУРЕ, 2021
2. 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.
3. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання. – Чинний від 04.03.2016. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 20 с.
4. Продіус О.І. Теоретично-методичні основи реінжинірингу бізнес-процесів / О.І. Продіус // Економіка: реалії часу. – 2016. – №6 (28). – С. 79-87. – Режим доступу: <https://economics.opu.ua/files/archive/2016/No6/79.pdf>
5. IT enterprise Industry 4.0. URL: <https://www.it.ua/knowledge-base/technology-innovation/industry-4> (дата звернення: 28.12.2023).
6. Четверта промислова революція: зміна напрямів міжнародних інвестиційних потоків: моногр. / за наук. ред. д.е.н., проф. А.І. Крисоватого та д.е.н., проф. О.М. Сохацької. Тернопіль: Осадца Ю.В. 2018. 478 с.
7. W. M. P. van der Aalst, M. Pesic, and M. Song, “Beyond Process Mining: From the Past to Present and Future,” International Conference on Advanced Information Systems Engineering. Springer Berlin Heidelberg, 2010. - 52с
8. R. Bergenthum, J. Desel, R. Lorenz, and S. Mauser, “Process Mining Based on Regions of Languages,” International Conference on Business Process Management, 2007, - 375–383с.
9. A. K. A. de Medeiros, B. F. van Dongen, W. M. P. der Aalst, and A. Weijters, "Process mining: Розширення  $\alpha$ -алгоритму для видобутку коротких

циклів", серія робочих документів ВЕТА, WP 113, Ейндховенський технологічний університет, Ейндховен, 2004, -121-132 с. 71

10. А. Вейтерс і В. М. П. ван дер Аалст, "Переосмислення моделей робочого процесу на основі даних про події за допомогою маленького пальця", Інтегрована комп'ютерна інженерія 10, т. 2, 2003, 151-162 с.

11 А. J. M. M. Weijters, W. M. P. Van Der Aalst, and A. K. A. De Medeiros, "Process Mining with the Heuristics Miner Algorithm," Technische Universiteit Eindhoven, Tech. Rep. WP 166, 2006, - 1-34 с.

12. Чалий С.Ф., Богатов Є.О. Упорядкування трас логу на основі порівняння атрибутів подій в задачі побудови моделей бізнес-процесів засобами. Process mining Materials of the VII International Scientific Conference «Information-Control System and Technologies» 17th-18th September, 2018, Odessa. С.152-154.

13. Чалий С.Ф., Кузьма Є.А., Process Mining – Інструмент менеджмента бізнес процесів Матеріали X-ої Ювілейної Міжнародної науково-практичної конференції «Free and Open Source Software», Харків, 20-22 листопада 2018 р. – Харків: Харківський національний університет будівництва та архітектури, 2018. С.75.

14. ДСТУ 8302:2015. Інформація та документація. Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання. – Чинний від 04.03.2016. – Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 20 с.

15 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.

16. 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.

17. Chalyi S., Levykin I., Petrychenko A., Bogatov I. (2018). Causality-based model checking in business process management tasks. IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies DESSERT'2018
18. Чалий С.Ф., Левикин І.В. Концепція двоконтурного управління множини наскрізних бізнес-процесів на основі прецедентного підходу Поліграфічні, 61 мультимедійні та web-технології. Матеріали III Міжнародної науково-технічної конференції (17–19 жовтня 2018 р.). — Львів : Українська академія друкарства, 2018. —С.
19. Левикин 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.
20. Чала О.В. Формалізація неявних процедурних залежностей в знання-ємних бізнес-процесах. Наукові праці Вінницького національного технічного університету. 2016. № 4. С. 43-47.
21. Чала О.В. Еволюційний підхід до управління життєвим циклом знанняємних бізнес-процесів. Наукоємні технології. 2017. № 1(33). С. 53-59.
22. Левикин 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.
23. Chala O.V., Chaliy S.F. Situational script management of business processes with changeable structure. International conference: “ITA 2008” Varna, Bulgaria. N 3. Vol. 2. 2008. P. 62-66.
- 24 Introduction to Process Mining. URL: <https://towardsdatascience.com/introduction-to-process-mining-5f4ce985b7e5>
25. ProM Tips — Which Mining Algorithm Should You Use?. URL: <https://www.fluxicon.com/blog/2010/10/prom-tips-mining-algorithm/>
26. Business Process Management Definitions. URL: <https://www.comidor.com/knowledge-base/business-process-managementkb/business-process-management-bpm/>

27. PROCESS MANAGEMENT – strategy, organization. URL: <https://www.referenceforbusiness.com/management/Or-Pr/Process-Management.html>

28. 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., Левикін В.М., Чалий С.Ф., Євланов М.В., Саєнко В.І., Міхнов Д.К., Міхнова А.В., Чала О.В. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 30с.

29. Workflow Management Coalition (WfMC), “What is Case Management?,” 2010. URL: <http://adaptivecasemanagement.org/AboutACM.html>.

30. J. Ukelson, “What to do when modeling doesn’t work,” in How Adaptive Case Management Will Revolutionize the Way That Knowledge Workers Get Things Done, Megan-Kiffer Press, 2010.- 209с.