

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

**МАНЄВА РОСІЦА ІЛІЯНОВА**



УДК 004.896:510.635

**МОДЕЛІ, МЕТОДИ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ  
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України.

**Науковий керівник** кандидат технічних наук, доцент  
**Шматко Олександр Віталійович**,  
Національний технічний університет  
«Харківський політехнічний інститут»,  
доцент кафедри програмної інженерії  
та інформаційних технологій управління.

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Удовенко Сергій Григорович**,  
Харківський національний економічний  
університет імені Семена Кузнеця,  
завідувач кафедри інформатики  
та комп'ютерної техніки;

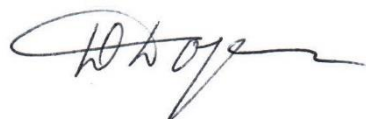
доктор технічних наук, професор  
**Шостак Ігор Володимирович**,  
Національний аерокосмічний університет  
імені М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»,  
професор кафедри інженерії  
програмного забезпечення.

Захист відбудеться «13» травня 2021 р. о 16 годині 00 хвилин на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 в Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою: 61002, м. Харків, вул. Кирпичова, 2.

Автореферат розісланий «12» квітня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



Юрій ДОРОФЄЄВ

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Інформаційні системи широко і досить давно використовуються для підтримки діяльності на підприємствах. Незважаючи на це, дослідження структури та функціоналу інформаційних систем залишається досить актуальним у зв'язку зі швидким розвитком інформаційних технологій. Сучасні підприємства стикаються зі зростаючим конкурентоспроможним ринком. У цьому контексті успіх підприємств критично залежить від якості та ефективності відповідних бізнес-процесів, що реалізуються на цих підприємствах. Одним з важливих практичних завдань є визначення виконавців, тобто формування організаційної структури робіт в умовах швидкої зміни структури та змісту завдань, які стоять перед підприємством. Значний внесок у розвиток інформаційних технологій для підтримки прийняття рішень зробили В.С. Михалевич, В.Л. Волкович, В.К. Акінфієв, А.Д. Цвіркун, А.П. Ладанюк, Н.Д. Панкратова, М.Д. Годлевський, В.Є. Ходаков та інші. Свій внесок в дослідження питань створення розподілених систем зробили такі вчені, як М.М. Глибовець, О.Є. Федорович, В.В. Безкоровайний, Л.І. Нефьодов, Е.Г. Петров, Е.С. Таненбаум. Аналіз наукових публікацій показує, що питання ефективного впровадження гнучких підходів управління стає все більш актуальним із поширенням віртуальних розподілених команд виконавців.

Інтелектуальний аналіз процесів (Process Mining) полягає у виявленні, дослідженні ефективності та оптимізації бізнес-процесів. Технологія Process Mining має ряд обмежень, в основному всі вони пов'язані з якістю вихідної інформації – журналами подій. Значний внесок у постановку і вирішення задач інтелектуального аналізу процесів внесли Wil van der Aalst, Richard T. Snodgrass, Arie Segev, J.F. Allen, Дж. Пітерсон, J. Liang, В.Ф. van Dongen, М. Хаммер, Дж. Чампі, М. Робсон, Ф. Уллах, В.В. Репін, В.Г. Еліферов та багато інших вчених. Основна увага дослідників приділяється лише окремим елементам загальної послідовності побудови та адаптації процесних моделей на основі аналізу журналу подій, що в реальних інформаційних системах не завжди відповідає фактичному виконанню бізнес-процесу.

Практично усі дослідники зазначають високу ефективність використання інформаційних технологій, які базуються на використанні інтелектуальних функцій людини. Теоретичні аспекти моделювання функцій інтелекту знайшли відображення в працях: М.Ф. Бондаренка, Ю.П. Шабанова-Кушнарєнка, Н.В. Шаронової, А.Л. Єрохіна, Г.Г. Четверикова, Т.А. Гаврилової, В.І. Городецького, П.О. Скобелева, N. Nilsson, P. Norvig, M. Wooldridge та інших. Через те, що структура багатоагентних систем дуже близька до структур реального світу, агентні моделі активно використовуються для вдосконалення бізнес-процесів організації. Дослідження розвитку інформаційних систем для підтримки управлінських рішень показали ефективність використання агентних технологій.

Дослідження агентів та багатоагентних систем проводились протягом тривалого часу, але широке впровадження таких технологій стримується через відсутність загального підходу, який би охоплював як побудову формальної моделі процесних знань, так і її адаптацію до заданої предметної області при конфігуруванні і виконанні. Необхідність ефективного використання динамічно мінливого, величезного обсягу інформації, адаптованого до потреб сучасного бізнесу обумовлює актуальність і значимість досліджень у галузі інформаційної інтелектуальної підтримки аналізу бізнес-процесів.

Таким чином, науково-практична задача створення інформаційної технології інтелектуального аналізу бізнес-процесів є актуальною і визначає напрям дисертаційного дослідження.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційна робота виконана на кафедрі програмної інженерії та інформаційних технологій управління НТУ «ХПІ» у рамках НДР: «Розробка інтелектуальних інформаційних технологій для підвищення ефективності та якості процесів створення складних програмних систем» (ДР № 0111U002288); «Розробка інформаційно-аналітичного забезпечення управління ефективністю та якістю в складних системах за умови євроінтеграції України» (ДР № 0117U004806); «Створення моделей та методів збору та автоматизованої переробки бізнес-інформації у веб-просторі» (ДР № 0119U002556), у яких здобувач брала участь як виконавець окремих етапів.

**Мета і задачі дослідження.** Метою дисертаційної роботи є забезпечення ефективності функціонування підприємств в умовах неконтрольованих змін зовнішнього середовища шляхом розробки і використання інтелектуальних інформаційних технологій на основі ситуативно-сценарних моделей.

Відповідно до зазначеної мети поставлено такі задачі.

1. Дослідити сучасні системи організаційного управління та системи підтримки прийняття рішень, визначити особливості управління в розподілених організаційних структурах та динамічних середовищах, визначити можливості сучасних інформаційних технологій для автоматизації процесів підтримки прийняття рішень, дослідити підходи до аналізу бізнес-процесів.

2. Розробити комплексний підхід до вирішення завдання забезпечення ефективності функціонування підприємства в умовах мінливого зовнішнього середовища на основі аналізу бізнес-процесів.

3. Розробити модель управління гнучким бізнес-процесом в умовах неконтрольованих змін зовнішнього середовища для вирішення задачі формування та реорганізації організаційної структури виконання робіт з урахуванням даних, отриманих у реальному часі.

4. Розробити інформаційну технологію для автоматизації процесів інформаційної підтримки та надання рекомендацій щодо прийняття рішень при управлінні гнучкими бізнес-процесами в умовах неконтрольованих змін зовнішнього середовища.

5. Провести апробацію розроблених моделей, підходів та інформаційної технології аналізу бізнес-процесів.

*Об'єктом* дослідження є процеси підтримки прийняття рішень щодо управління бізнес-процесами із змінною структурою в умовах невизначеності.

*Предметом* дослідження є інформаційна технологія інтелектуального аналізу гнучких бізнес-процесів в умовах неконтрольованих змін зовнішнього середовища.

**Методи досліджень** базуються на використанні теорії імітаційного моделювання; теорії ієрархічних систем; методів штучного інтелекту; методів системного аналізу; методів теорії прийняття рішень; теорії програмних агентів; стандартів та специфікації відкритих систем; застосуванні уніфікованої мови моделювання UML та стандартів розробки програмного забезпечення систем на основі агентів FIPA.

**Наукова новизна отриманих результатів:**

- *отримав подальший розвиток* метод формування організаційної структури робіт для підтримки прийняття рішень в умовах динамічного середовища за рахунок реалізації ситуативно-сценарного підходу та формалізації інтелектуальних процесів прийняття рішень на основі агентної моделі, що дозволяє забезпечити адаптацію процесу до поточних даних та неконтрольованих змін зовнішнього середовища;

- *отримала подальший розвиток* формальна модель управління гнучким бізнес-процесом на основі ситуативно-сценарного підходу за рахунок імітаційного моделювання взаємодії мережі агентів потреб та можливостей, що забезпечує можливість проведення оперативної реорганізації під час виконання бізнес-процесу відповідно до змін внутрішнього або зовнішнього середовища;

- *отримала подальший розвиток* модель гнучкого бізнес-процесу за рахунок використання продукційних правил для формалізації знань про функціонування бізнес-процесу, що забезпечує ефективну розробку бізнес-процесів з можливістю їх реорганізації при виникненні непередбачених змін зовнішнього середовища;

- *удосконалено* інформаційну технологію інтелектуального аналізу бізнес-процесів за рахунок використання імітаційної моделі на основі багатоагентної системи та методу відображення поточного стану ситуації у продукційній базі знань, що дозволяє скоротити час на формування рішень та забезпечити ефективність функціонування підприємства в умовах динамічного зовнішнього середовища.

**Практичне значення одержаних результатів** полягає у розробці інформаційної технології інтелектуального аналізу бізнес-процесів, яка дозволяє автоматизувати процес побудови організаційної структури робіт та аналізу ефективності бізнес-процесів для систем інформаційно-аналітичної підтримки електронного бізнесу, врахувати вплив динамічності бізнес-оточення та часові обмеження при формуванні рішень.

Отримані в роботі результати щодо підбору персоналу шляхом застосування автоматизованої обробки даних знайшли практичне застосування в проектах ТОВ «ОПТІ КЛІМАТ» (м. Харків, довідка від 07.09.2018р.). Розроблений прототип програмної системи побудови організаційної структури підприємства інтегрований у інформаційну систему ТОВ Птахоцентр (м. Харків, довідка від 03.08.2018р.). Метод побудови багатоагентної системи для інтелектуального аналізу бізнес-процесів, який дозволяє в режимі реального часу вирішувати завдання побудови організаційної структури робіт та моніторингу ефективності бізнес-процесів в умовах динамічного бізнес-оточення, апробовано при розробці інформаційної системи підтримки прийняття рішень ТОВ «Електронний світ» (м. Харків, акт від 20.12.2020р.) Отримані теоретичні та практичні результати впроваджені в навчальний процес у відокремленому структурному підрозділі ХКТФК НТУ «ХПІ» (акт від 09.09.2020р.). Теоретичні результати дисертації використовуються в навчальному процесі на кафедрі програмної інженерії та інформаційних технологій управління НТУ «ХПІ» (акт від 04.08.2020р.) при викладанні дисциплін «Моделі та методи підтримки прийняття рішень», «Моделювання складних систем», «Теорія прийняття рішень». Інформаційна технологія інтелектуального аналізу бізнес-процесів використана у дисциплінах «Імітаційне моделювання та аналіз бізнес-систем і процесів», «Методи та моделі управління інтелектуальними бізнес-системами», «Інжиніринг та реінжиніринг інтелектуальних бізнес-систем».

**Особистий внесок здобувача.** Усі основні результати дисертаційної роботи, що виносяться на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: огляд сучасних систем організаційного управління та комплексний підхід до вирішення задачі підвищення ефективності інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття рішень при формуванні організаційної структури робіт у динамічному середовищі; формальна модель ідентифікації організаційної структури робіт на основі введення ознак-предикатів для оцінки відповідності організаційної структури управління та ієрархічної структури робіт; модель моніторингу організаційної структури робіт; інформаційна технологія формування організаційної структури робіт для підтримки прийняття рішень в умовах динамічного бізнес-середовища; прототип програмної системи на основі агентно-орієнтованої парадигми.

**Апробація результатів дисертації.** Результати дисертаційної роботи доповідались та обговорювались на міжнародних та всеукраїнських наукових конференціях: «Проблеми та перспективи розвитку IT-індустрії» (Харків, 2013, 2014, 2015, 2018), «Modern informatization problems» (Yelm, WA, USA, 2014), «Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis» (Yelm, WA, USA, 2015), «Modern informatization problems in economics and safety» (Yelm, WA, USA, 2017), «Інформаційні технології: наука, техніка, освіта, здоров'я» (Харків, 2018).

**Публікації.** Основні результати дисертації опубліковані у 19 наукових

працях, у тому числі 7 статей у наукових виданнях, включених до переліку наукових фахових видань України, 2 статті у періодичних наукових виданнях держави, яка входить до Організації економічного співробітництва та розвитку (1 стаття проіндексована у базі даних Scopus), 2 статті опубліковано як розділи у колективних монографіях, 3 статті у наукових працях конференцій, опублікованих у виданнях інших держав, 5 публікацій – у матеріалах конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається з анотації двома мовами, вступу, 4 розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 169 сторінок, з них 37 рисунків по тексту, 10 таблиць по тексту, список зі 159 найменувань використаних джерел на 17 сторінках, додатки на 28 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, зазначено зв'язок роботи з науковими темами, сформульовано мету і задачі дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, наведено інформацію про практичне використання, апробацію результатів та їх висвітлення у публікаціях.

У **першому розділі** проведено класифікацію задач організаційного управління та підтримки прийняття рішень, визначено особливості управління в розподілених організаційних структурах та динамічних середовищах, досліджено задачу аналізу бізнес-процесів на підприємстві, проведено дослідження можливостей сучасних інформаційних технологій.

З метою підтримки належного рівню конкурентоспроможності сучасні, орієнтовані на постійний розвиток компанії постійно вдосконалюють свою діяльність, що потребує розробки нових технологій та прийомів ведення бізнесу, впровадження більш ефективних методів управління та організації діяльності. Електронний бізнес на сьогоднішній день став широко розповсюдженою та досить популярною формою ділової архітектури. Особливістю нової форми ведення бізнесу є така організація операційної діяльності, за якої реалізується розподілена взаємодія замовників та виконавців за допомогою онлайн-платформи (рис. 1).

Бізнес-процес (БП) – послідовність деяких операцій, результатом яких є значимий для організації результат (продукти або послуги). Методики моделювання та аналізу бізнес-процесів сьогодні є одним з найважливіших інструментів підвищення ефективності бізнесу. Використання подібних методик має своєю кінцевою метою реорганізацію бізнес-процесів і, як наслідок, збільшення виручки, скорочення витрат на виробництво продукції і послуг, підвищення якості продукції, оптимальне використання оборотного капіталу, впровадження систем автоматизації.

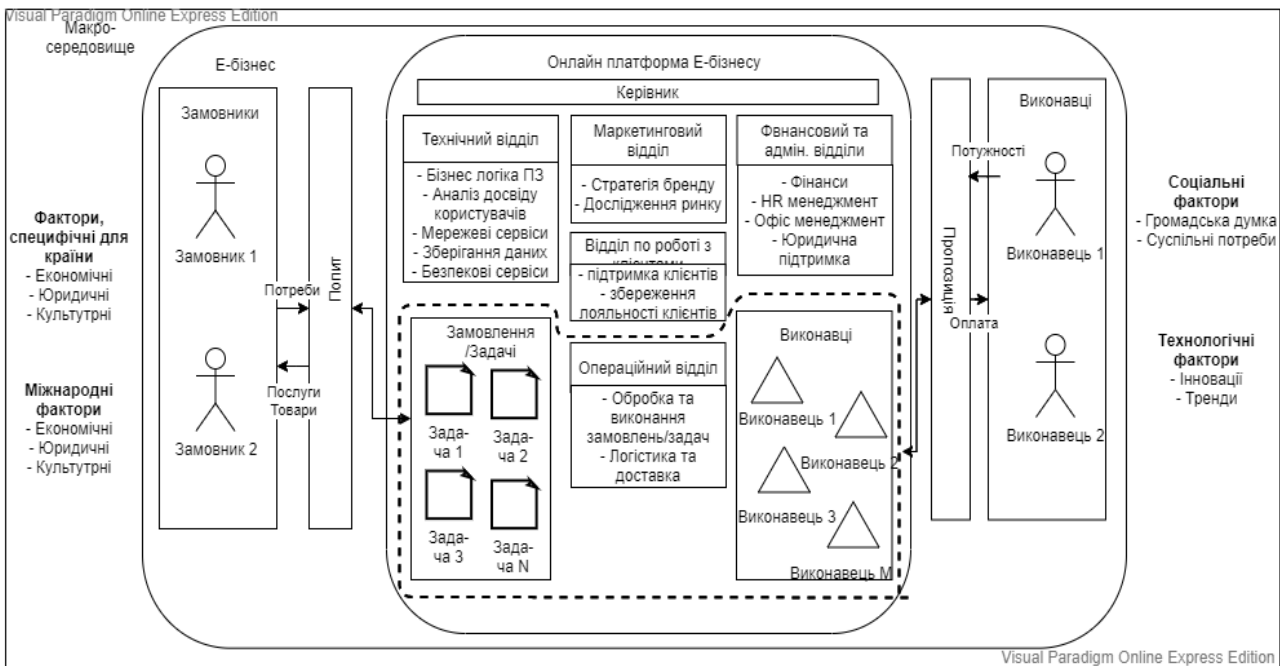


Рисунок 1 – Концепція електронного бізнесу

Інтелектуальний аналіз бізнес-процесів (ІАБП) полягає у виявленні, дослідженні ефективності та оптимізації БП. Найбільш популярними підходами при вирішенні завдання аналізу бізнес-процесів прийнято вважати дискретно-подієве моделювання. Необхідність автоматизації БП призвела до тісної взаємодії бізнесу та інформаційних технологій.

Таким чином, поставлено задачу забезпечення ефективності функціонування підприємства в умовах динамічного зовнішнього середовища, яка складається з таких етапів: 1) розробка концептуальної моделі гнучкого БП; 2) розробка моделі взаємодії замовників та виконавців на основі ситуативно-сценарного підходу; 3) розробка математичної моделі управління гнучким БП; 4) розробка методу формування організаційної структури виконання робіт; 5) розробка методу формування адаптивної команди виконавців; 6) розробка прикладних засад побудови багатоагентної системи як базису інформаційної технології інтелектуального аналізу БП.

У другому розділі проаналізовано основні принципи аналізу та оптимізації бізнес-процесів, обґрунтовано вибір математичного інструментарію, запропоновано комплекс моделей управління гнучкими БП (ГБП) на основі ситуативно-сценарного підходу, розроблено модель організаційної структури виконання робіт на основі взаємодії мережі агентів потреб та можливостей.

Згідно з концепцією управління бізнес-процесами, БП є ключовим ресурсом організації. Визначення моделі бізнес-процесів може допомогти краще зрозуміти специфіку, цілі та структуру організації. БП показує, як протікають процеси, які співробітники в них задіяні та які ситуації прийняття рішень пов'язані з ними. Це дозволяє аналізувати, як бізнес-цілі реалізуються в організації. Аналіз інформаційних систем, пов'язаних із забезпеченням



управління підприємствами, показав, що інформаційні системи, які застосовуються сьогодні, орієнтовані тільки на вирішення завдань планування та обліку роботи і не зачіпають питання дослідження та оптимізації організаційної структури підприємства.

Основне завдання ІАБП це визначення продуктивності або ефективності бізнес-процесів; узгодженість бізнес-процесів. Виконання БП потребує можливості змін структури процесу на основі поточних даних. У роботі показано, що дієвим інструментом аналізу БП є імітаційне моделювання. Схему дослідження БП, на основі якого визначається організаційна структура виконання робіт та формування адаптивної до змін бізнес-середовища команди виконавців, наведено на рис. 2.

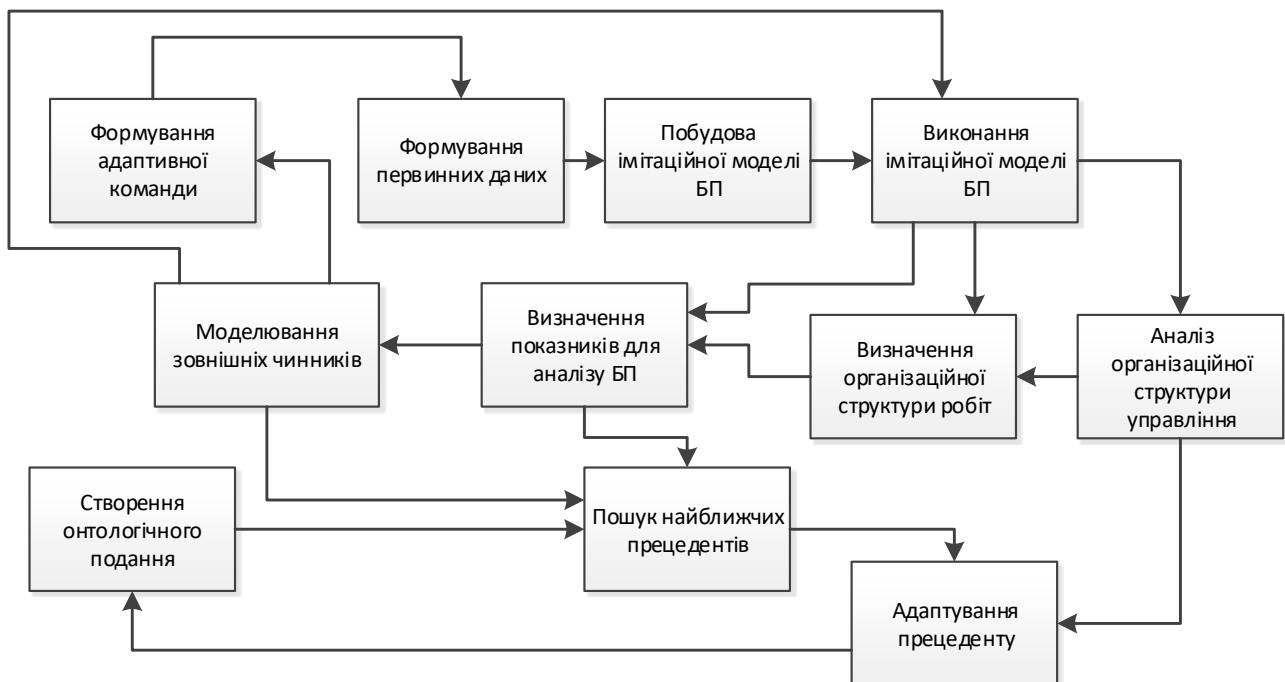


Рисунок 2 – Схема аналізу БП та формування адаптивної команди

Проведено аналіз математичних засобів подання об'єктів предметної області БП. Обґрунтовано використання математичного апарату алгебри скінченних предикатів. В роботі розроблено метод ідентифікації інформації для підтримки прийняття рішень на основі використання апарату алгебри скінченних предикатів. Описано за допомогою мови АСП поточний стан БП та можливі ситуації відповідно до альтернативних рішень управління БП.

Процес управління БП описано у вигляді послідовності множин  $U_\eta = \{T_\eta | \eta \in \Delta_\eta\}$ , де  $\Delta_\eta$  – інтервал управління,  $T_\eta$  – множина заходів, що виконуються на цьому інтервалі. Прийняття рішень щодо управління БП здійснюється шляхом аналізу поточного стану БП та виявлення ситуації, що не відповідає фрейму нормальних режимів типової моделі БП. Після цього управління передається фрейму прийняття рішень. За допомогою змісту слотів і приєднаних процедур цього фрейму визначається цільова ситуація управління у

вигляді множин умов  $P_{\eta}^{(M)}$  та наявних ресурсів  $\{R_{S\eta}\}$ . Всі рішення зазначених завдань були отримані за допомогою правил продукцій, що містяться в базі знань (БЗ). Аналітичне рішення такого класу задач неможливо, в силу цього у ході дослідження було сформульовано принципи, які дозволяють створити практичні засоби прийняття ефективних рішень. До таких принципів відносяться: принцип зворотного зв'язку, який передбачає оцінку поточного стану БП; принцип максимального розпаралелювання операцій, який сприяє мінімізації часу адаптації БП; принцип імітаційного моделювання процесів на основі БЗ в реальному часі, що передбачає формування ефективних рішень шляхом логічного висновку, завдяки використанню інформації, накопиченої в БЗ.

Багатоагентна система (Multi-agent system) – це система, яка утворена декількома взаємодіючими агентами. Базовим інструментом розробки інтелектуальних багатоагентних систем, що дозволяє створювати, знищувати, інтерпретувати, запускати і переміщати агентів, є агентна платформа. Основними функціями агентних платформ є: організація взаємодії агентів; передача повідомлень всередині платформи та між різними платформами; підтримка онтологій; управління агентами, їх життєвими циклами; пошук агентів і даних про них всередині системи; забезпечення безпеки агентів. Методологічну основу створення агентної платформи визначають стандарти MASIF (Mobile Agent System Interoperability Facility) та FIPA (Foundation of Physical Intelligent Agents). У роботі запропоновано використання стандартів FIPA, які надають базові визначення комунікації агентів. Використання програмних агентів дозволяє підтримувати та вдосконалювати БП. Програмний агент є основоположним елементом агентної платформи, який поєднує одну або кілька можливостей обслуговування, опублікованих в описі послуги, в єдину та інтегровану модель виконання. Програмний агент повинен мати такі властивості, як автономність, суспільне поведіння, реактивність, проактивність, тощо.

На основі аналізу існуючих підходів до проектування агентно-орієнтованих програмних систем та специфікацій стандартів багатоагентних систем були виділені підходи для побудови архітектури агентної платформи та відповідні вимоги. Еталонна модель агентної платформи складається з таких компонентів: 1) агент – це обчислювальний процес, який реалізує автономну комунікаційну функціональність програми; 2) фасилітатор каталогів, який надає послуги «жовтих сторінок» іншим агентам; 3) система управління агентом – обов'язковий компонент, який здійснює контроль за доступом до агентної платформи та його використанням; 4) служба транспортування повідомлень – це метод зв'язку за замовчуванням між агентами на різних агентних платформах.

Для проектування та реалізації агентних систем важливо мати формальний спосіб опису та специфікації поведінки таких систем. Для

визначення формальної архітектури агента позначимо зовнішнє середовище агента за допомогою множини станів  $E$ . Можливі дії агента описуються за допомогою множини дій  $A$ . Абстрактно агент представляється як функція  $g_e: E \rightarrow A$ , тобто вибір конкретної дії із множини можливих дій агент здійснює на основі поточного стану зовнішнього середовища  $e_i \in E$ . При цьому дії агента можуть впливати на середовище, але не контролювати його повністю.

Припустимо, що навколишнє середовище може знаходитися в будь-якому скінченному наборі дискретних поточних станів  $E = \{e_0, e_1, \dots\}$ . Передбачається, що агенти мають визначену множину можливих дій, які перетворюють стан навколишнього середовища. Введено множину дій агента  $A = \{\alpha_0, \alpha_1, \dots\}$ . Запуск агента в середовищі є послідовністю станів навколишнього середовища та дій агента:

$$r: e_0 \xrightarrow{\alpha_0} e_1 \xrightarrow{\alpha_1} e_2 \xrightarrow{\alpha_2} \dots \xrightarrow{\alpha_{u-1}} e_u.$$

Припустимо, що  $R$  – набір усіх таких можливих скінченних послідовностей;  $R^{AC}$  – підмножина таких послідовностей, які закінчуються дією агента;  $R^E$  – підмножина елементів, які закінчуються станом середовища. Для відображення ефекту дії агента на середовище введено функцію трансформації стану, яка відображає виконання дій агента до множини можливих станів середовища

$$\tau: R^{AC} \rightarrow \wp(E).$$

Слід зауважити, що середовища вважаються залежними від історії. Іншими словами, наступний стан середовища визначається не лише дією, яку виконує агент, та поточним станом середовища, а також діями, що виконані агентом раніше, які також впливають на визначення поточного стану. Формально середовище  $Env$  є множиною з трьох елементів  $Env = (E, e_0, \tau)$ , де  $E$  – сукупність станів середовища,  $e_0$  – початковий стан,  $\tau$  – функція трансформації стану. Введено модель агента, який функціонує в системі:  $Ag: R^E \rightarrow A_c$ . Агент приймає рішення про те, яку дію обрати, спираючись на історію системи.

Припустимо, що система – це пара, що містить агента і середовище. Будь-яка система матиме асоційований з нею набір можливих запусків  $R(Ag, Env)$ . Формально послідовність  $e_0, \alpha_0, e_1, \alpha_2, e_2 \dots$  визначає запуск агента  $Ag$  у середовищі  $Env = (E, e_0, T)$ , де  $e_0$  – це початковий стан середовища, який визначає вибір дії  $\alpha_0 = Ag(e_0)$ . Далі для  $u > 0$ :

$$\begin{aligned} e_u &\in \tau((e_0, \alpha_0, \dots, \alpha_{u-1})), \\ \alpha_u &= Ag((e_0, \alpha_0, \dots, e_u)). \end{aligned}$$

У роботі введено поняття поведінково еквівалентних агентів таких, що два агенти  $Ag_1$  і  $Ag_2$  є поведінково еквівалентними щодо середовища  $Env$ , тоді і лише тоді, коли  $R(Ag_1, Env) = R(Ag_2, Env)$ , і просто поведінково еквівалентні, тоді й лише тоді, коли вони поведінково еквівалентні стосовно всього середовища. Запропонована в роботі формальна модель агента використана для побудови моделі взаємодії двох типів агентів: агентів потреб

та агентів можливостей. Показано, що імітаційна модель взаємодії агентів потреб та агентів можливостей дозволяє побудувати модель управління гнучким БП на основі ситуативно-сценарного підходу.

Таким чином, розроблено комплекс концептуальних моделей управління та представлення гнучких БП; запропоновано формальну модель агентної системи на основі імітаційного моделювання взаємодії агентів потреб та агентів можливостей, що дозволяє проводити аналіз та оперативну реорганізацію БП відповідно до змін внутрішнього або зовнішнього середовища; визначено стандарт FIPA як основу для проектування архітектури агентної платформи.

**У третьому розділі** розглянуто комплексний підхід до вирішення задачі забезпечення ефективності функціонування підприємства в умовах динамічного бізнес-середовища. Розроблено метод формування організаційної структури виконання робіт в умовах динамічного середовища. Розроблено ситуативно-сценарну модель управління БП для вирішення задачі формування та реорганізації оргструктури виконання робіт з урахуванням даних, отриманих у реальному часі. Запропоновано концептуальні засади створення спеціалізованої інформаційної технології інтелектуального аналізу БП.

У роботі терміни вживаються у такому значенні. Організаційна структура підприємства (ОСП) – це документ, що схематично відображає склад та ієрархію підрозділів підприємства. Декомпозиція проекту (WBS, work breakdown structure) – це ієрархія елементів, яка дозволяє розбивати план проекту на окремі робочі завдання. Організаційна структура робіт (OBS) – це ієрархічне представлення організації проекту, що ілюструє зв'язки між операціями проекту та підрозділами організації, що будуть виконувати ці операції. У роботі показано, що зниження ефективності існуючих систем управління складними організаційними структурами пов'язане з ізолюваністю підсистем, які входять до складу таких систем. Методи побудови організаційних структур, які використовуються на даний час, не відповідають складності і динамічності навколишнього середовища. Розглянуто таку постановку задачі. Необхідно спроектувати структуру управління ієрархічною системою, яка повинна досягти певної мети в певний термін з використанням доступних ресурсів. Розглянуто дискретну модель структури управління, яка забезпечує мінімізацію витрат, пов'язаних із залученням претендентів до роботи. Для побудови такої моделі будується граф цілей і робіт. Потім визначається коло претендентів, які здатні вирішувати поставлені завдання. Модель дозволяє визначити найкращу структуру управління для існуючої системи.

У якості вихідних даних розглядається: WBS проекту, що складається з робіт  $W_1, W_2, \dots, W_i, \dots, W_n$ ; список виконавців:  $P_1, P_2, \dots, P_j, \dots, P_m$ ; вагові коефіцієнти важливості кожної з робіт  $w_i$ ;  $t_{ij}$ ,  $f_{ij}$ ,  $q_{ij}$  – оцінки часу, фінансів та якості кожної роботи для кожного виконавця. Ці дані можуть бути отримані за допомогою методів експертного оцінювання, статистичних даних тощо.

Результатом розв'язання задачі буде матриця змінних  $X$ , елементами якої є коефіцієнти відповідності роботи до виконавця, тобто:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо у } i - \text{ї роботи } j - \text{ї виконавець,} \\ 0, \text{ інакше.} \end{cases}$$

Тоді задачу балансування трикутника управління проектами можна представити як багатокритеріальну задачу оптимізації:

$$T(x_{ij}) \rightarrow \min;$$

$$F(x_{ij}) \rightarrow \min;$$

$$Q(x_{ij}) \rightarrow \max;$$

де  $T$  – час на закінчення всього проекту,  $F$  – фінанси, необхідні для всього проекту,  $Q$  – агрегована якість всього проекту.

При обмеженнях: по залежності задач; по кількості виконавців одного завдання; на одночасне виконання задач; та інших.

Після формування списку виконавців-кандидатів необхідно перейти до вибору конкретної стратегії у відповідності до трикутника управління проектами. Нехай для кожного виконавця експертами визначений коефіцієнт якості виконання роботи  $q_{ij} \in [0,1]$ , де  $i$  – номер задачі,  $j$  – номер виконавця. Також для кожної задачі повинна бути встановлена його важливість  $w_i$ ,  $\sum_{i=1}^n w_i = 1$ . Тоді критерієм якості буде максимізація суми відносної якості всіх задач, що виконуються:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} w_i q_{ij} \rightarrow \max.$$

Нехай для кожного  $i$ -го виконавця була дана експертна оцінка по фінансам  $f_{ij}$  для кожної  $i$ -ї задачі. Тоді критерієм фінансів буде мінімізація суми витрат на кожну задачу:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} f_{ij} \rightarrow \min.$$

Нехай для кожного  $i$ -го виконавця була дана експертна оцінка по часу  $t_{ij}$  для кожної  $i$ -ї задачі. Також припустимо, що для кожної роботи  $W_i$  заданий список задач, від яких вона залежить (наприклад, у вигляді мережевої діаграми PERT). Тоді критерієм за часом буде мінімізація критичного шляху:

$$\max_{p \in P} \sum_{i \in p} \sum_{j=1}^m x_{ij} t_{ij} \rightarrow \min,$$

де  $P$  – множина шляхів від початкової задачі до задачі.

Об'єднавши критерії та обмеження, які описані вище, сформулюємо задачу багатокритеріальної оптимізації:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} w_i q_{ij} \rightarrow \max;$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m x_{ij} f_{ij} \rightarrow \min;$$

$$\max_{p \in P} \sum_{i \in p} \sum_{j=1}^m x_{ij} t_{ij} \rightarrow \min;$$

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1, \forall i = \overline{1, n};$$

$$x_{ij} \in \{0,1\}.$$

Побудовану математичну модель можна розширити додатковими обмеженнями. Наприклад, розглянемо таке обмеження: для стратегії  $C_j$  роботи

$A_k$  і  $A_l$  не можуть виконуватися одночасно. Можливі такі 3 події: 1) обидві задачі виконуються виконавцем  $P_j$ ,  $W_k$  виконується до  $W_l$ ; 2) обидві задачі виконуються виконавцем  $P_j$ ,  $W_l$  виконується до  $W_k$ ; 3) максимум одна задача виконується виконавцем  $P_j$ . Таким чином, визначено 3 варіанти постановки задачі, які відрізняються від початкової задачі додаванням нових обмежень і змінних. Розв'язкою початкової задачі буде розв'язка тієї з цих трьох задач, яка має максимальне значення цільової функції.

У випадку 1: вводимо нові змінні  $e_k$ ,  $b_l$  та обмеження:

$$\begin{aligned} e_k &\leq b_l; \\ e_k &\geq \sum_{i \in p_k \cup \{k\}} \sum_{j=1}^m x_{ij} t_{ij}, \forall p_k \in P(k); \\ b_l &\geq \sum_{i \in p_l} \sum_{j=1}^m x_{ij} t_{ij}, \forall p_l \in P(l); \\ x_{kj} &= 1; \\ x_{lj} &= 1. \end{aligned}$$

У випадку 2: вводимо нові змінні  $e_l$ ,  $b_k$  та обмеження:

$$\begin{aligned} e_l &\leq b_k; \\ e_l &\geq \sum_{i \in p_l \cup \{l\}} \sum_{j=1}^m x_{ij} t_{ij}, \forall p_l \in P(l); \\ b_k &\geq \sum_{i \in p_k} \sum_{j=1}^m x_{ij} t_{ij}, \forall p_k \in P(k); \\ x_{kj} &= 1; \\ x_{lj} &= 1. \end{aligned}$$

У випадку 3: вводимо обмеження:

$$x_{kj} + x_{lj} \leq 1,$$

де  $b_i$  та  $e_i$  – час початку та кінця  $i$ -ї роботи відповідно,  $P(i)$  – множина шляхів від початкової роботи до  $i$ -ї.

Нехай в системі є  $N$  завдань, які потребують вирішення та можуть бути виконані одночасно. Для їх вирішення необхідно залучити  $M$  претендентів. Введено наступні позначення:  $p_k$  – витрати, які пов'язані з залученням до вирішення завдання  $k$ -го претендента;  $d_k$  – здатність  $k$ -го претендента до керівництва,  $F_k$  – «увага», яка є у розпорядженні  $k$ -го претендента;  $f_{kl}$  – «увага», яка необхідна  $k$ -му претенденту для керівництва  $l$ -м претендентом;  $f_{kv}$  – «увага», яка потрібна від  $k$ -го претендента для вирішення  $v$ -го завдання.

$$\begin{aligned} x_k &= \begin{cases} 1, & \text{якщо } k \text{ – ий претендент потрапляє до структури} \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \\ x_{kl} &= \begin{cases} 1, & \text{якщо } k \text{ – ий претендент керує } l \text{ – им претендентом} \\ 0, & \text{в іншому випадку,} \end{cases} \\ y_{kv} &= \begin{cases} 1, & \text{якщо } k \text{ – ий претендент вирішуватиме } v \text{ – у задачу} \\ 0, & \text{в іншому випадку.} \end{cases} \end{aligned}$$

Таким чином, структура управління визначається наступними множинами:

$$\begin{aligned} x &= \{x_k, k = 1, 2, \dots, M\}; \\ X &= \{x_{kl}, k = 1, 2, \dots, M, \quad l = 1, 2, \dots, M\}; \\ Y &= \{y_{kv}, k = 1, 2, \dots, M, \quad v = 1, 2, \dots, N\}. \end{aligned}$$

Для знаходження оптимальної структури управління необхідно привести до мінімуму сумарні витрати на прийняття рішень:

$$\sum_{k=1}^M p_k x_k \rightarrow \min \quad (1)$$

при обмеженнях:

$$\sum_{l=1}^M f_{kl} x_{kl} + \sum_{v=1}^N f_{kv} y_{kv} \leq F_k, \quad k = 1, 2, \dots, M; \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^M x_k = \sum_{k=1}^M \sum_{l=1}^M x_{kl} + 1; \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^M y_{kv} = 1, \quad v = 1, 2, \dots, N; \quad (4)$$

$$x_{kl} d_k \geq x_{kl} d_l \quad \text{для всіх } k, l. \quad (5)$$

Умова (2) – обмеження за кількістю «уваги», яким володіє кожен претендент, (3) – умова дерева, (4) – кожна задача повинна мати виконавця, (5) – показує, що зі зростанням рівня ієрархії повинні рости і здатності претендента до керівництва. Для побудови структури управління необхідно вирішити кілька подібних завдань, що визначаються кількістю рівнів ієрархії, кількістю вершин графа цілей і робіт. При побудові організаційної структури часто необхідно оцінити та проаналізувати вже існуючу структуру управління. Для цих цілей в роботі запропоновано модель аналізу структури управління.

Для адаптивних команд проекту додається умова можливості реалізації претендентом декількох функцій (що дозволить здійснити адаптацію команди при зміні вимог або умов виконання проекту), тобто володіння кількома професійними компетенціями. Завдання формування адаптивної команди проекту сформульовано наступним чином. Нехай  $Q = (q_1, \dots, q_n)$  – множина претендентів до команди;  $m$  – кількість компетенцій;  $R_{ij}$  – елемент  $(m \times n)$  матриці, яка відображає володіння компетенціями претендентів до команди проекту. Якщо  $i$ -ий претендент володіє  $j$ -ою компетенцією,  $R_{ij} = 1$ , а інакше  $R_{ij} = 0$ . Коефіцієнт резервування компетенцій  $K = (k_1, \dots, k_z)$  визначає мінімально необхідну кількість людей, які володіють даною компетенцією. Необхідно із множини претендентів в команду знайти підмножину з найменшою потужністю, де для будь-якої компетенції, що належить множині компетенцій команди проекту, знайдеться претендент, що володіє даною компетенцією, і при цьому кількість членів команди, які володіють даною компетенцією, має задовольняти вимогам коефіцієнтів резервування. Оскільки при формуванні адаптивних команд необхідна наявність у претендентів певних комбінацій компетенцій, то на початковому етапі формування команди будується матриця наборів компетенцій. При обраному підході коефіцієнти резервування компетенцій визначають затребуваність компетенцій та їх наборів у команді.

З метою скорочення обсягу обчислень з матриці наборів компетенцій необхідно видалити стовпці, що містять лише нулі. Якщо коефіцієнт резервування  $j$ -ї компетенції дорівнює нулю, то виключаємо  $j$ -ий стовпець з матриці. У роботі запропоновано наближений метод формування адаптивних команд, який складається з таких етапів.

Етап 1. Сформувати матрицю  $M[i, j]$  набору компетенцій ( $j = \overline{1, z}$ ,

$i = \overline{1, n}$ ). Задати коефіцієнти резервування для набору компетенцій  $K[j]$ .

Етап 2. Перевірка матриці на коректність. Якщо  $\sum_{i=1}^n M[i, j] \leq K[j]$ , то перейти до етапу 9.

Етап 3. Провести оцінку претендентів ( $X$ )  $X_i = \sum_{j=1}^z M[i, j] \cdot K[j]$ .

Етап 4. Обрати претендента  $P$  з максимальною характеристикою ( $X$ ), записати його до команди.

Етап 5. Корекція вимог  $K[j] = K[j] - 1$ ,  $M[P, j] = 1$ ,  $K[j] > 0$ ,  $j = \overline{1, |W|}$ .

Етап 6. Виключити претендента  $P$  із множини претендентів  $Q$ .

Етап 7. Корекція матриці: виключити  $w_j$  із множини  $W$  ( $j$ -го стовпця), якщо  $K[j] = 0$ .

Етап 8. Перевірка закінчення. Якщо  $Q \neq \emptyset$  та якщо вимоги не виконані, перейти до етапу 2.

Етап 9. Кінець.

Розроблені в роботі моделі та метод, які спрямовані на аналіз та формування гнучкої організаційної структури робіт, покладено в основу інформаційної технології (рис. 3).

Таким чином, розроблено комплексний підхід до вирішення задачі підвищення ефективності функціонування підприємства в умовах динамічного зовнішнього середовища на основі аналізу БП. Запропоновано реалізацію ситуативно-сценарного підходу та формалізацію інтелектуальних процесів прийняття рішень на основі агентної моделі, що дозволяє забезпечити адаптацію процесу до поточних даних та неконтрольованих змін зовнішнього середовища.

**Четвертий розділ** присвячено удосконаленню інформаційної технології аналізу БП на основі використання багатоагентної моделі БП та методу відображення поточного стану ситуації у продукційній базі знань. Запропоновано прототип системи імітаційного моделювання виконання БП на базі застосування агентних технологій. Розроблено архітектуру програмної системи, проведено дослідження ефективності розроблених компонентів. Проведено апробацію розроблених моделей, підходів та інформаційної технології в існуючі інформаційні системи сучасних підприємств.



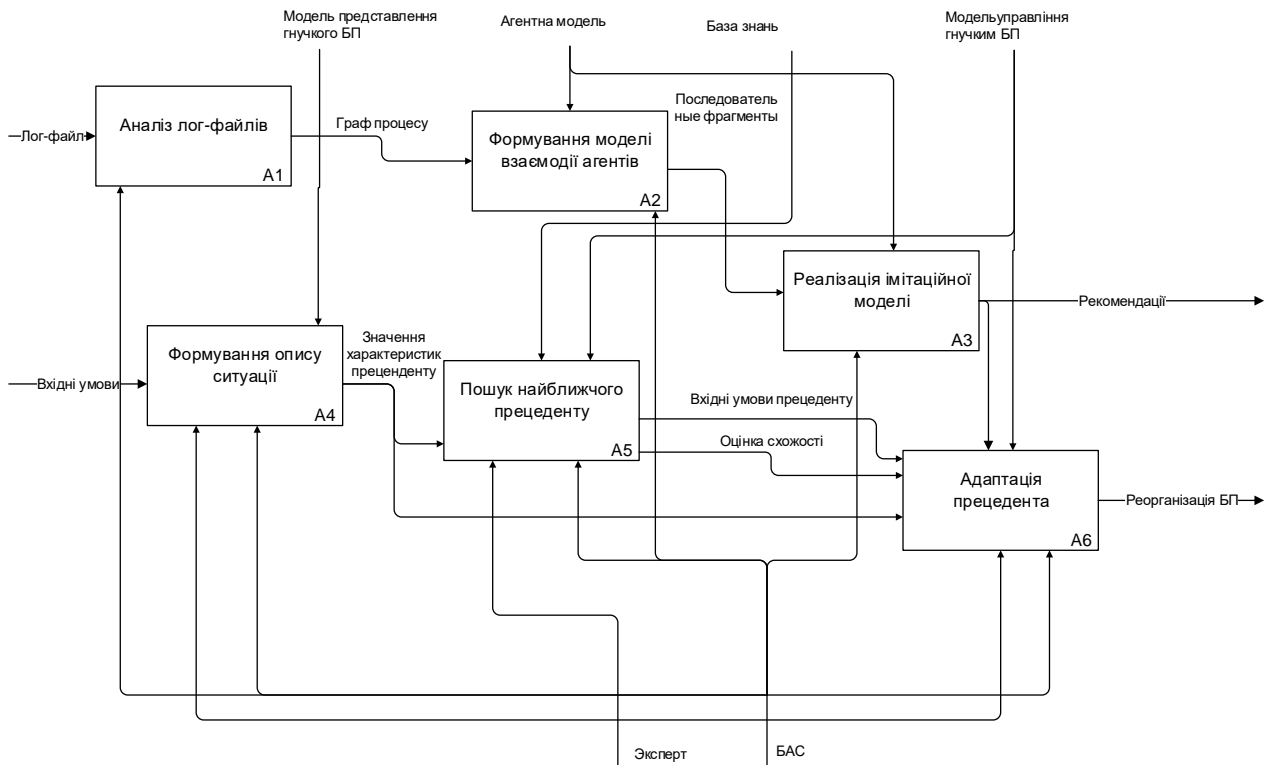


Рисунок 3 – Схема інформаційної технології

Розроблено прототип агентної платформи для реалізації моделі управління та аналізу БП на основі використання формальних методів проектування багатопоточних систем. Для реалізації прототипу агентної платформи обрано об'єктно-орієнтовану мову програмування Java, статично типізовану мову програмування Kotlin. Розроблено базис предметно-орієнтованої мови програмування (Domain-specific language, DSL) з урахуванням вимог реалізації агентної платформи. Суттєвою перевагою обраної технології є використання пакету розробки співпрограм Kotlin-coroutines.

Реалізацію прототипу програмної системи розглянуто для такої постановки задачі. Дано два типи ролей у БП: замовник та виконавець. Кожен замовник формує множину вимог щодо завдання, яке необхідно виконати. Кожен виконавець характеризується множиною обмежень (компетентностей) щодо можливостей виконання по кожному типу завдань. Вимоги до потреб та обмеження можливостей задані системою предикатних виразів та зберігаються у замовника та виконавця відповідно. Багатоагентна система комунікації замовників та виконавців дозволяє при додаванні виконавця змінювати поточний стан та здійснювати реорганізацію структури виконання робіт за рахунок реалізації функціоналу «перемов», тобто кожний замовник має змогу «домовитись» із новим виконавцем. Відповідно, при додаванні замовника кожний виконавець має змогу «домовитись» про виконання нового завдання.

На рис. 4 наведено діаграму компонентів реалізації багатоагентної системи на основі прототипу агентної платформи.

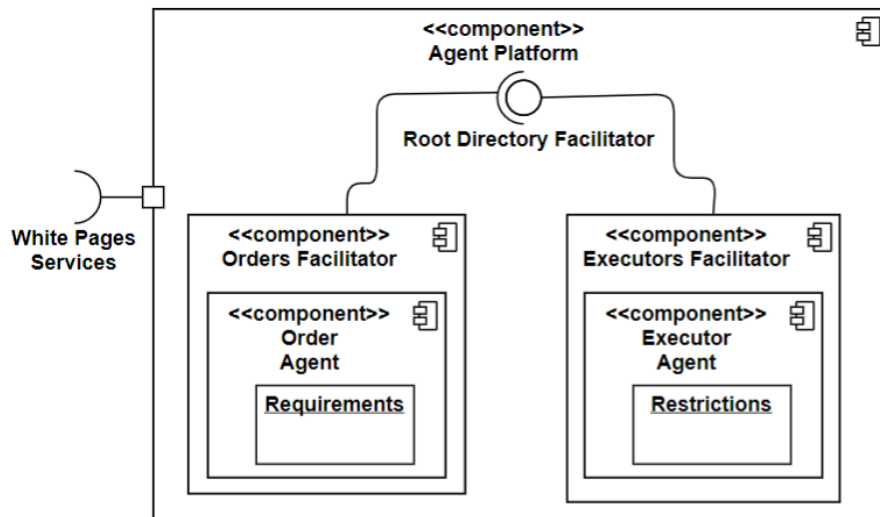


Рисунок 4 – Діаграма компонентів багатоагентної системи

Компонент OrdersFacilirator містить набір зареєстрованих у ньому агентів-замовників OrderAgents. Кожне замовлення після отримання повідомлення від виконавця перевіряє відповідність вимогам, щоб забезпечити «прийняття» або «відмову». Компонент ExecitorsFacilirator містить набір зареєстрованих у ньому агентів-виконавців ExecutorAgent. Поведінка агента виконавця схожа на OrderAgent, але замість вимог він містить набір обмежень. Якщо обмеження відповідають вимогам замовлення, агент надсилає повідомлення про прийняття, або повідомлення про відмову в протилежному випадку. Кожен агент містить список відповідних ідентифікаторів агентів, від яких вже отримано повідомлення.

Для оцінки ефективності прототипу агентної платформи запропоновано використати такі показники, як обсяг виділеної оперативної пам'яті, обсяг навантаження процесора та кількість виділених потоків. Основна мета експериментів – перевірити параметри продуктивності розробленої системи. У роботі проведено тестування навантаження (обсяг виділеної пам'яті, кількість операцій, аналіз CPU) для оцінки розробленої агентної платформи. Середовище виконання: MacBook Pro, процесор 2.2 GHz Intel Core i7, об'єм оперативної пам'яті 16 Гб 2400 MHz DDR4, відео-карта Radeon Pro 555X 4 GB (інтегрована), Intel UHD Graphics 630 1536 Мб (дискретна).

У першому типі експериментів обидва каталізатори каталогів містять по 4 агенти. У другому типі експериментів обидва каталізатори каталогів містять тисячу агентів. У третьому типі експериментів обидва каталізатори каталогів містять мільйон агентів. Результат виконання експерименту третього типу представлено на рис. 5. Узагальнені результати експериментів наведено у таблиці 1.

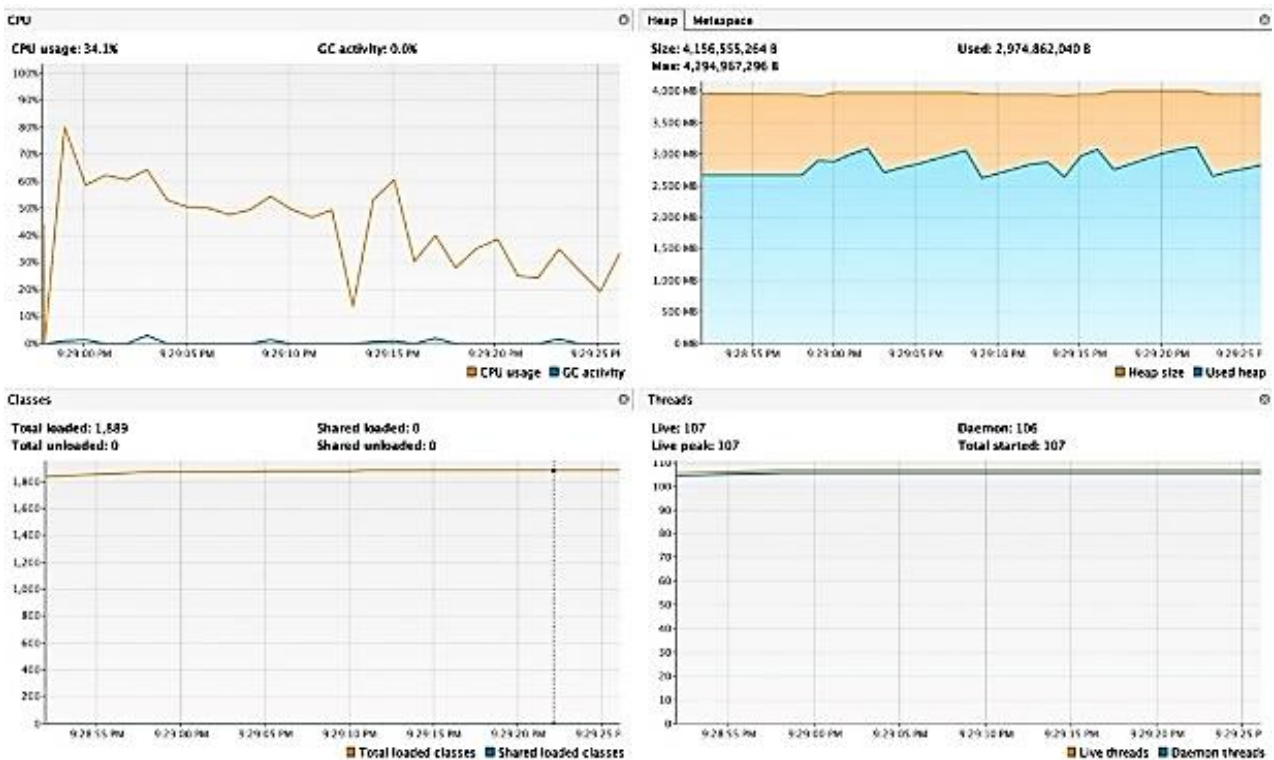


Рисунок 5 –Результати оцінки показників для експерименту третього типу

Таблиця 1 – Результати експериментів.

Експеримент	Кількість агентів	Кількість потоків виконання	Використана пам'ять	CPU
1	8	27	268MB	0.03-1%
2	1000	56	1.2GB	5-10%
3	1000000	107	4.0GB	32-67%

Аналіз отриманих оцінок показує, що навіть при двох мільйонах створених агентів, обсяг навантаження процесора у середньому близько 34%, а максимальне навантаження процесора – 65%. Це підтверджує припущення щодо можливості реалізації подібної архітектури багатоагентної системи. Основним недоліком такого підходу є те, що пам'ять, яка використовується двома мільйонами корутинів, становить у середньому 3,5 Гб. Якщо кількість агентів збільшиться, то системі буде потрібно більший обсяг JVM-heap, ніж дозволений розмір, що може створити виключення OutOfMemory. Таким чином, зроблено висновок, що кількість агентів є головним параметром, який впливає на ефективність розробленої агентної платформи. Проведено навантажувальне тестування, за результатами якого визначено, що вирішення задачі середнього розміру (53 задачі, 3 кандидати) займає в середньому 180 мс, а вирішення задачі великого розміру (228 задач, 5 кандидатів) займає в середньому 4,5 с. З урахуванням технічних обмежень середовища тестування зроблено висновок, що розроблений прототип задовольняє вимогам та результати тестування є задовільними.

Досліджено задачу побудови організаційної структури робіт на прикладі проекту з розробки програмного забезпечення веб-орієнтованого додатку. Визначено організаційну структуру робіт, яка складається з: проектування

(архітектури та дизайну), розробки (Front-end, Back-end) та тестування. Розглянуто п'ять стратегій аутсорсингу, для яких оцінено час, фінанси та якість, а також задано важливість кожної роботи. В таблиці 2 представлені значення якості в залежності від вибраних часу та фінансів.

Таблиця 2 – Вирішення задачі вибору виконавців бізнес-процесів

Час, дн.	250	250	250	250	200	200	200	200
Фінанси, \$	85000	80000	75000	70000	85000	80000	75000	70000
Якість	156180	156540	153640	142710	156160	155080	153220	139620

Для аналізу ефективності розробленого методу формування організаційної структури, порівнюємо його з найвним методом, в якому для кожної роботи виконавець обирається на основі максимуму зваженої суми нормалізованих критеріїв. Результати представлені в таблиці 3, де «А» - це результат, отриманий найвним методом, «Б» - розробленим у роботі методом. Запропонований метод надає вигравш в ефективності приблизно в 8%.

Таблиця 3 – Порівняння методів формування організаційної структури

Вагові коефіцієнти				Агрегований результат		Покращення, %
Час	Фінанси	Якість	Зміст	А	Б	
0,25	0,25	0,25	0,25	238	257	7,98
0,1	0,5	0,3	0,1	214	233	8,88
0,6	0,1	0,1	0,2	198	212	7,58

Таким чином, інформаційна технологія інтелектуального аналізу бізнес-процесів вдосконалює та доповнює існуючий підхід до управління БП і не суперечить існуючій практиці, що свідчить про її практичну цінність та обґрунтованість використання. Розроблена інформаційна технологія інтелектуального аналізу БП забезпечує ефективність функціонування підприємства в умовах динамічного зовнішнього середовища.

У додатках наведено акти та довідки щодо впровадження результатів дисертаційного дослідження, перелік публікацій здобувача, додатковий матеріал до розділів роботи.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішено актуальну науково-практичну задачу створення інформаційної технології інтелектуального аналізу бізнес-процесів з метою забезпечення ефективності формування гнучкої організаційної структури робіт в умовах неконтрольованих змін зовнішнього середовища.

1. Проведено аналіз сучасних систем організаційного управління та систем підтримки прийняття рішень, визначено особливості управління в розподілених організаційних структурах та динамічних середовищах,

визначено можливості сучасних інформаційних технологій для автоматизації процесів підтримки прийняття рішень, досліджено підходи до аналізу бізнес-процесів, що дозволило визначитись з напрямом дослідження.

2. Розроблено комплексний підхід до вирішення задачі підвищення ефективності функціонування підприємства в умовах динамічного зовнішнього середовища на основі аналізу бізнес-процесів та отримала подальший розвиток модель представлення гнучкого бізнес-процесу за рахунок використання продукційних правил для формалізації знань про функціонування бізнес-процесу, що забезпечує ефективну розробку бізнес-процесів з можливістю їх реорганізації при виникненні непередбачених змін зовнішнього середовища.

3. Розроблено метод формування організаційної структури робіт для підтримки прийняття рішень в умовах динамічного середовища за рахунок реалізації ситуативно-сценарного підходу та формалізації інтелектуальних процесів прийняття рішень на основі агентної моделі, який дозволяє забезпечити адаптацію процесу до поточних даних та неконтрольованих змін зовнішнього середовища.

4. Отримала подальший розвиток формальна модель управління гнучким бізнес-процесом на основі ситуативно-сценарного підходу за рахунок імітаційного моделювання взаємодії мережі агентів потреб та можливостей, що забезпечує можливість проведення оперативної реорганізації під час виконання бізнес-процесу відповідно до змін внутрішнього або зовнішнього середовища.

5. Розроблено інформаційну технологію інтелектуального аналізу бізнес-процесів за рахунок використання імітаційної моделі на основі багатоагентної системи та методу відображення поточного стану ситуації у продукційній базі знань, що дозволяє скоротити час на формування рішень та забезпечити ефективність функціонування підприємства в умовах динамічного зовнішнього середовища.

6. Проведено апробацію розроблених моделей, підходів та інформаційної технології в існуючі інформаційні системи ТОВ «ОПТИ КЛІМАТ», ТОВ Птахоцентр, ТОВ «Електронний світ». Отримані теоретичні та практичні результати використані у ХТТК НТУ «ХПІ» та впроваджено у навчальний процес на кафедрі програмної інженерії та інформаційних технологій управління НТУ «ХПІ».

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

*Статті у наукових виданнях, включених до Переліку фахових видань України:*

1 Шматко А.В., Манєва Р.І. Моделі оптимізації структури агропромислового холдингу. *Системи обробки інформації*. 2013. Вип. 3 (110), Т. 2. С. 74–76.

*Здобувачем досліджено моделі оптимізації структури агропромислового холдингу.*

2 Шматко А.В., Манева Р.И. Модель структуры стратегического управления агрохолдингом. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2014. № 2 (1045). С. 106–110.

*Здобувачу належить постановка завдання аналізу бізнес-процесів в агрохолдингах.*

3 Шматко А.В., Стратієнко Н.К., Манева Р.И. Огляд та аналіз сучасних інформаційних технологій стратегічного управління підприємством. *Системи обробки інформації*. 2014. Вип. 2 (118), Т. 2. С. 181–185.

*Здобувачем досліджено методи та інструменти моделювання бізнес-процесів.*

4 Шматко А.В., Манева Р.И., Морозов Е.В. Математическое обеспечение задачи проектирования и исследования организационной структуры агрохолдинга. *Системи обробки інформації*. 2015. Вип. 4 (129). С. 154–157.

*Здобувач запропонувала підхід до процесу побудови оптимальної організаційної структури агрохолдинга.*

5 Шматко А.В., Фонта Н.Г., Манева Р.И. Проектирование информационной системы управления вертикально-интегрированными агрохолдингами. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2015. № 1 (1110). С. 96–103.

*Здобувачем розглянуто процес формування команди в різних сферах життєдіяльності та приведено класифікацію проектних команд.*

6 Шматко А.В., Стратієнко Н.К., Манева Р.И. Формування проектної команди для вертикально-інтегрованої організаційної структури *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. 2017. № 3 (1225). С. 65–70.

*Здобувачеві належить алгоритмічне забезпечення формування проектної команди для вертикально-інтегрованої організаційної структури.*

7 Манева Р.И. Разработка архитектуры агентной платформы для интеллектуального анализа бизнес-процесів. *Біоніка інтелекту. Науково-технічний журнал*. 2020. № 1 (94). С. 57–64.

**Статті у наукових виданнях інших держав, в тому числі проіндексовані у Scopus:**

8 Shmatko A.V., Maneva R.I. The Discrete Model of Agriholding Corporate Strategic Management Structure. *American journal of control systems and information technology*. 2013. № 2. P. 24–26.

*Здобувачем запропоновано застосування моделі та алгоритму, що дозволяє виконувати формування організаційної структури робіт.*

9 Maneva R.I. Kravets O.J., Keneshbayev B., Zhaxybayeva A. Building the Adaptive Project Groups in the Vertically Integrated Industries within the Quality Management System. *Quality access to success*. 2017. October. Vol. 18, No 160. P. 79–82. ISSN-L 2668-4861 URL: [https://www.srac.ro/calitatea/en/arhiva\\_journal.html#2017](https://www.srac.ro/calitatea/en/arhiva_journal.html#2017)

*Здобувачем розроблено метод формування адаптивної команди виконавців.*

**Розділи у колективних монографіях:**

10 Шматко А.В., Манева Р.И. Математическое и программное обеспечение задачи проектирования и модернизации организационной структуры управления агрохолдингом. *Информационные технологии и защита информации в информационно-коммуникационных системах*: монографія / под ред. В.С. Пономаренко. Харьков: ТОВ «Щедра садиба плюс», 2015. С. 350–366.

*Здобувачеві належить постановка задачі підвищення ефективності інформаційно-аналітичних систем підтримки прийняття рішень.*

11 Манева Р.И. Підходи до аналізу та моделювання бізнес-процесів. *Інформаційні технології : сучасний стан та перспективи*: монографія / за заг. ред. В.С. Пономаренка. Харків: ТОВ «ДІСА ПЛЮС», 2018. С. 118–132.

**Опубліковані праці апробаційного характеру:**

12 Шматко А.В., Манева Р.И. Моделі оптимізації структури агропромислового холдингу. *Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії*: тези доп. V міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 25-26 квіт. 2013 р. Харків: ХНЕУ ім. Семена Кузнеця, 2013. С. 191.

*Здобувачем запропоновано використання дискретної моделі структури управління агропромислового холдингу.*

13 Шматко О.В., Манева Р.И. Інформаційні технології стратегічного управління. *Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії* : тези доп. VI міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 17-18 квіт. 2014 р. Харків: ХНЕУ ім. Семена Кузнеця, 2014. С. 267.

*Здобувачем досліджено методика моделювання та аналізу бізнес-процесів.*

14 Shmatko A.V., Maneva R.I. The model of agriholding strategic management structure. *Modern informatization problem* : proceedings of the XIX-th International open science conference (Yelm, WA, USA, January 2014). Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House. 2014. P. 20–23.

*Здобувачеві належить комплексна постановка задачі формування організаційної структури робіт.*

15 Shmatko A.V., Fonta N.G., Maneva R.I. Design information system components to optimize the organizational structure of agricultural holdings. *Modern informatization problems in the technological and telecommunication systems analysis and synthesis*: Proc. of the XX-th Int. open sc. Conf. (January 2015). Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House. 2015. P. 320–325.

*Здобувачем розроблено комплексну інформаційну технологію управління фінансово-господарською діяльністю агропромислового холдингу.*

16 Шматко А.В., Манева Р.И., Морозов Е.В. Математическое и программное обеспечение информационной системы управления агрохолдингом. *Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії*: тези доп. VII міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 17-18 квіт. 2015 р. Харків: ХНЕУ ім. Семена Кузнеця, 2015. С. 66.

*Здобувачем обґрунтовано використання математичного апарату для опису процесу прийняття рішень в умовах динамічного бізнес-середовища.*

17 Maneva R.I. The formation of the project team for vertically integrated structure of the agroholding. *Modern informatization problems in economics and safety: proceedings of the XXII-th International open science conference* (Yelm, WA, USA, January 2017). Yelm, WA, USA: Science Book Publishing House, 2017. P. 86–91.

18 Манєва Р.І., Ісаков О.С., Іващенко О.В. Підготовка даних як один з найважливіших етапів інтелектуального аналізу процесів. *Інформаційні технології : наука, техніка, освіта, здоров'я*: тези доп. 26 міжнар. наук.-практ. конф. (MICROCAD-2018), м. Харків, 16–18 трав. 2018 р. Харків: НТУ «ХП», 2018. Ч. 1. С. 24.

*Здобувачеві належить методологія підготовки даних для інтелектуального аналізу процесів.*

19 Манєва Р.І. Методи моделювання та аналізу бізнес-процесів як інструмент підвищення ефективності бізнесу. *Проблеми та перспективи розвитку IT-індустрії*: тези доп. VII міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 28-29 квіт. 2018 р. Харків: ХНЕУ ім. Семена Кузнеця, 2018. С. 50.

## АНОТАЦІЇ

**Манєва Р. І. Моделі, методи та інформаційні технології інтелектуального аналізу бізнес-процесів.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2021.

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-практична задача створення інформаційної технології інтелектуального аналізу бізнес-процесів в умовах неконтрольованих змін зовнішнього середовища. Проведено аналіз систем підтримки прийняття рішень при формуванні організаційної структури робіт, досліджено особливості електронного бізнесу, який характеризується розподіленою системою замовників та виконавців, які спілкуються за допомогою віртуальних каналів, що обумовлює специфіку вирішення задачі.

Запропоновано комплексний підхід до аналізу бізнес-процесів на основі багатоагентної моделі. Розроблено метод формування організаційної структури робіт в умовах неконтрольованих змін зовнішнього середовища за рахунок реалізації ситуативно-сценарного підходу та формалізації інтелектуальних процесів прийняття рішень. Проведено аналіз особливостей проектування багатоагентних програмних систем. Розроблено інформаційну технологію інтелектуального аналізу бізнес-процесів за рахунок використання імітаційної багатоагентної моделі та методу відображення поточного стану ситуації у продукційній базі знань, що дозволяє забезпечити ефективність функціонування підприємства в умовах динамічного зовнішнього середовища. Розроблено прототип агентної платформи, заснованої на використанні



формальних методів для проектування багатопотокових систем. Проведено апробацію розроблених моделей, підходів та інформаційної технології.

*Ключові слова:* інформаційна технологія, бізнес-процес, математична модель, метод формування організаційної структури робіт.

**Maneva R. I. Models, methods and information technologies for intelligent analysis of business processes.** – Manuscript.

The dissertation for a candidate degree in technical sciences, specialty 05.13.06 – Information Technologies. – National Technical University «Kharkiv Polytechnic Institute», Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of an important scientific and practical problem of ensuring the efficiency of enterprises in the conditions of uncontrolled changes in the external environment through the development and use of intelligent information technologies on the basis of situational and scenario models.

Process mining is to identify, study the effectiveness and optimization of business processes. Process analysis aims to build and improve models of functioning of interacting physical or information objects based on the processing of information that captures such behavior. The need to automate the implementation of business processes (BP) has led to close interaction between business and information technology. The thesis sets the task of ensuring the efficiency of the enterprise in the conditions of uncontrolled changes in the external environment, which consists of the following stages: 1) development of a conceptual model of a flexible PSU in a distributed virtual environment; 2) development of a model of interaction between customers and performers on the basis of situational-scenario approach; 3) development of a mathematical model of flexible BP control; 4) development of a method of formation of organizational structure of performance of works; 5) development of a method of forming an adaptive team of performers; 6) development of applied bases of construction of multi-agent system as a basis of information technology of intellectual analysis of BP.

The work proposes a verbal model of analysis of flexible PSUs that operate in dynamic business environments; developed a set of conceptual models of management and representation of flexible PSUs; a formal model of the agent system is proposed on the basis of simulation modeling of the interaction of agents of needs and agents of capabilities, which allows to analyze and promptly reorganize the BP in accordance with changes in the internal or external environment; the FIPA standard is defined as a basis for designing the architecture of the agent platform; an approach based on the description of product rules in the language of finite predicate algebra is proposed to represent the situations that arise during the execution of BP.

The research shows that simulation is an effective tool for BP analysis. The analysis of mathematical means of representation of objects of the subject area of the analysis of business processes is carried out. The paper develops a method of information identification to support decision-making based on the use of the apparatus of algebra of finite predicates. The current state of the PSU and possible

situations in accordance with alternative BP management solutions are described with the help of the FPA language. The agent platform is a basic tool for developing intelligent multi-agent systems that allows you to create, destroy, interpret, run and move agents. The paper proposes the use of FIPA standards, which provide basic definitions of agent communication concepts. The formal model of the agent proposed in the work is used to build a model of interaction of two types of agents: agents of needs and agents of capabilities. It is shown that the simulation model of interaction of agents of needs and agents of opportunities allows to build a model of management of flexible BP on the basis of the situational-scenario approach.

The method of formation of organizational structure of performance of works in the conditions of the dynamic environment is developed. The situational-scenario model of BP management for the decision of a problem of formation and reorganization of organizational structure of performance of works taking into account the data received in real time is developed. Conceptual bases of creation of specialized information technology of intellectual analysis of BP are offered. When building an organizational structure, it is often necessary to evaluate and analyze the existing management structure. For these purposes, the model of management structure analysis is proposed in the work. The method of forming the organizational structure of work to support decision-making in a dynamic environment through the implementation of situational-scenario approach and formalization of intelligent decision-making processes based on the agent model, which allows to adapt the process to current data and uncontrolled changes in the environment. The models and methods developed in the work, aimed at the analysis and formation of a flexible organizational structure of works, are the basis of information technology.

A prototype of an agent platform for the implementation of the BP management and analysis model based on the use of formal methods for designing multithreaded systems has been developed. An object-oriented Java programming language, the statically typed Kotlin programming language, was chosen to implement the agent platform prototype. The implementation of the software system prototype is considered for the next problem statement. There are two types of roles in the BP: the customer and the contractor. Multi-agent communication system of customers and contractors allows adding the contractor to change the current state and reorganize the structure of work through the implementation of the functionality of "negotiations". To evaluate the prototype agent platform such parameters as the amount of allocated RAM, the amount of CPU load and the number of allocated threads are estimated. The results show that even with two billion agents created, CPU usage averaged about 34% and maximum CPU usage was 65%. This confirms the assumptions about the effectiveness of the multi-agent system architecture based on the use of the Kotlin-coroutines co-development package. The information technology of intellectual analysis of business processes improves and complements the existing approach to the management of BP and does not contradict the existing practice, which indicates its practical value and validity of use. Approbation of the developed models, approaches and information technology was carried out.

*Keywords:* information technology, business process, mathematical model, method of forming the organizational structure of works.

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to be 'M' and 'U' followed by a horizontal line.

Підп. до друку 09.04.2021 р. Формат 60x84/16.  
Ум. друк. аркушів 0,9. Наклад 100 прим. Зам. № 21\_04-6

Виготовлено у ФОП В. Є. Гудзинський  
Україна, 61072, м. Харків, вул. 23-го Серпня, 27.  
+38 (057) 340-52-26, for\_veg@ukr.net  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ХК № 269 від 23.11.2010.