

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

**ЛЕВИКІН ІГОР ВІКТОРОВИЧ**

УДК 004.03; 681.518:061

**МЕТОДИ, МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ УПРАВЛІННЯ  
НАСКРІЗНИМИ БІЗНЕС-ПРОЦЕСАМИ ПІДПРИЄМСТВА**

05.13.06 – інформаційні технології

**Автореферат**  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
доктора технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному університеті радіоелектроніки, Міністерство освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор,  
**Чалий Сергій Федорович,**  
Харківський національний університет  
радіоелектроніки, професор кафедри  
інформаційних управляючих систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор,  
**Антощук Світлана Григорівна,**  
Державний університет «Одеська політехніка»,  
директор Інституту комп'ютерних систем;

доктор технічних наук, професор,  
**Годлевський Михайло Дмитрович,**  
Харківський національний технічний університет «ХПІ»,  
в.о. завідувача кафедри програмної інженерії та  
інформаційних технологій управління;

доктор технічних наук, професор,  
**Федорович Олег Євгенович,**  
Національний аерокосмічний університет  
ім. М.Є. Жуковського «ХАІ»,  
завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних  
технологій.

Захист відбудеться « 14 » вересня 2021 р. о 13.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.08 у Харківському національному університеті радіоелектроніки за адресою: 61166, м. Харків, просп. Науки, 14.

З дисертацією можна ознайомитися в науковій бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки, за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки, 14.

Автореферат розіслано « 13 » серпня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради

І.П. Плісс

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Широке впровадження процесного управління на сучасних підприємствах базується на застосуванні інформаційних технологій та систем управління бізнес-процесами. Процесний підхід до управління передбачає побудову опису підприємства як об'єкту управління у вигляді множини бізнес-процесів, що інтегрують діяльність відповідних підрозділів та забезпечують підвищення ефективності функціонування підприємства в цілому.

Досвід процесного управління свідчить, що ключові проблеми впровадження процесного підходу пов'язані з невідповідністю між існуючою організаційною структурою, орієнтованою на виконання функціональних задач в межах окремих підрозділів, та наскрізними бізнес-процесами, які працюють із зовнішніми постачальниками, охоплюють декілька підрозділів і створюють продукцію для зовнішніх клієнтів підприємства. Такі процеси є ключовими в діяльності підприємства і тому результати його функціонування значною мірою залежать від ефективності управління множиною таких процесів та їх своєчасного виконання. Наскрізні бізнес-процеси використовують спільні ресурси, що може приводити до затримок при доступі до цих ресурсів і, як наслідок, несвоєчасного завершення цих процесів. Тому при процесному управлінні необхідно враховувати взаємодію між наскрізними бізнес-процесами. Однак внаслідок недостатньої формалізації взаємодії між такими процесами при доступі до ресурсів процесне управління множиною наскрізних бізнес-процесів реалізується з використанням практичного досвіду та існуючих інженерних практик. Зазначене свідчить про важливість формалізації такого досвіду, представлення його у вигляді прецедентних рішень та подальшого використання у процесному управлінні.

Істотний внесок у розвиток теоретичних і методологічних основ процесного управління, в тому числі з використанням прецедентів, внесли такі закордонні та вітчизняні вчені R. Schank, J. Kolodner, A. Aamodt, E. Plaza, M. Richter, R. Weber, M. Pantic, D. Ferruci, I. Watson., С.Г. Антощук, М.Ф. Бондаренко, С.Д. Бушуєв, В.Л. Волкович, М.З. Згуровський, О.А. Павлов, І.В. Сергієнко, В.С. Танаєв, С.Ф. Теленик, М.В. Ткачук, В.В. Шкурба, Н.З. Шор.

У проведених дослідженнях бізнес-процеси розглядаються в якості окремих об'єктів управління. Однак ефективність функціонування підприємства в цілому при процесному управлінні залежить від своєчасного виконання всієї системи бізнес-процесів підприємства. Для подолання цієї невідповідності необхідно перейти від управління окремими наскрізними бізнес-процесами до управління сукупністю наскрізних бізнес-процесів як єдиним об'єктом з урахуванням спільного використання ресурсів цими процесами, а також зміни з часом складу процесів, що виконуються.

Реалізація такого підходу потребує використання прецедентів управління наскрізними бізнес-процесами на конкретному підприємстві з урахуванням

непередбачуваних затримок при виконанні дій таких процесів, що виникають внаслідок впливу людського фактору. Тому автоматизація управління множиною наскрізних бізнес-процесів як єдиним об'єктом потребує використання прецедентного підходу як підходу, орієнтованого на вирішення слабо формалізованих задач.

Таким чином, створення концептуальних основ, методів, моделей та інформаційних технологій управління наскрізними бізнес-процесами підприємства на основі прецедентного підходу для підвищення ефективності процесного управління в умовах обмежень на час виконання бізнес-процесів та використання спільних ресурсів цими процесами є актуальною науково-прикладною проблемою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана відповідно до плану наукової і науково-технічної діяльності Харківського національного університету радіоелектроніки в рамках держбюджетних науково-дослідних робіт: «Теорія, методи і моделі управління життєвим циклом інтелектуальних інформаційних середовищ регіональних соціо-економічних об'єктів» (№ ДР 0115U002430); «Розумний Кібер Університет – Cloud-Mobile сервіси управління науково-освітніми процесами» (№ ДР 0117U002524); «Інтелектуальна багатоцільова мобільна робототехнічна платформа з удосконаленими маніпуляційними можливостями» (№ ДР 0121U109909).

**Мета і завдання дослідження.** Метою дисертаційної роботи є розробка моделей, методів та інформаційних технологій прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси, для підвищення ефективності процесного управління підприємством.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз існуючих підходів, моделей та методів управління наскрізними бізнес-процесами підприємства;
- розробити концепцію двоконтурного управління наскрізними бізнес-процесами;
- розробити категорно-функторну модель життєвого циклу бізнес-процесів підприємства;
- розробити логічну модель множини наскрізних бізнес-процесів;
- розробити узагальнену модель прецеденту наскрізного бізнес-процесу;
- розробити узагальнений метод формування, пошуку та використання прецеденту наскрізного бізнес-процесу;
- розробити інтервальну модель наскрізного бізнес-процесу як рішення задачі в складі прецеденту;
- розробити метод побудови інтервальної моделі наскрізного бізнес-процесу;
- розробити метод виявлення інтервалів очікування ресурсів при виконанні наскрізного бізнес-процесу;
- розробити метод адаптації прецеденту наскрізного бізнес-процесу з урахуванням часу його виконання;

– розробити метод прецедентного управління наскрізними бізнес-процесами, що використовують спільні ресурси;

– розробити інформаційні технології побудови прецедентів наскрізних бізнес-процесів та прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси;

– розробити програмний засіб для реалізації розроблених прикладних інформаційних технологій та виконати апробацію й впровадження отриманих теоретичних результатів.

**Об'єктом дослідження** є процеси управління сукупністю взаємопов'язаних наскрізних бізнес-процесів підприємства, що використовують спільні ресурси.

**Предмет дослідження** – моделі, методи та інформаційні технології управління наскрізними бізнес-процесами підприємства з використанням прецедентного підходу.

**Методи дослідження.** Для вирішення поставлених задач дослідження використані: методи системного аналізу та теорії категорій при розробці категорно-функторної моделі життєвого циклу наскрізних бізнес-процесів підприємства; прецедентний підхід при розробці методу прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів, узагальненої моделі прецеденту бізнес-процесу, узагальненого методу формування, пошуку та використання прецеденту наскрізного бізнес-процесу; методу адаптації прецеденту наскрізного бізнес-процесу з урахуванням часу його виконання; процесний підхід при розробці логічної моделі множини наскрізних бізнес-процесів; методи інтелектуального аналізу процесів при розробці інтервальної моделі наскрізного бізнес-процесу як рішення задачі в складі прецеденту, методу побудови інтервальної моделі наскрізного бізнес-процесу, метода виявлення інтервалів очікування ресурсів наскрізного бізнес-процесу.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Основний науковий результат дисертації полягає у розв'язанні важливої науково-прикладної проблеми створення концептуальних основ, методів, моделей та інформаційних технологій управління наскрізними бізнес-процесами підприємства на основі прецедентного підходу для підвищення ефективності процесного управління в умовах обмежень на час виконання бізнес-процесів та використання спільних ресурсів цими процесами.

У рамках виконаних досліджень отримано такі наукові результати:

1. Вперше запропоновано метод прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів, який встановлює послідовність використання спільних ресурсів для таких процесів з тим, щоб зменшити відхилення у часі від строків їх завершення внаслідок затримок при доступі до цих ресурсів, що дає можливість підвищити ефективність процесного управління за рахунок виконання додаткових процесів при задоволенні обмежень на час виконання сукупності наскрізних бізнес-процесів.

2. Вперше запропоновано метод побудови інтервальної моделі наскрізного бізнес-процесу, який містить у собі етапи формування множини інтервалів подій, що відповідають діям процесу, побудови множин послідовних та паралельних дій, об'єднання множин інтервалів та формування часових оцінок інтервалів подій, що дає можливість врахувати інтервали очікування ресурсів при реалізації прецедентного управління наскрізними бізнес-процесами.

3. Вперше запропоновано інтервальну модель наскрізного бізнес-процесу як рішення задачі в складі прецеденту, яка містить опис дій процесу у вигляді множини послідовностей подій та множини послідовностей інтервалів часу виконання цих дій, що дає можливість підвищити ефективність управління наскрізними бізнес-процесами на основі врахування невідповідності між прогнозованою тривалістю виконання бізнес-процесів та обмеженням на час завершення цих процесів.

4. Вперше запропоновано метод адаптації прецеденту наскрізного бізнес-процесу з урахуванням часу його виконання, який залишає у складі прецеденту лише ті послідовності дій, які дозволяють виконати процес при заданих обмеженнях на час його виконання та ресурсних обмеженнях, що дає можливість реалізувати прецедентне управління наскрізними бізнес-процесами з урахуванням затримок доступу до спільних ресурсів підприємства.

5. Удосконалено категорно-функторну модель життєвого циклу бізнес-процесів, яка, на відміну від існуючих, визначає цикл випуску продукції підприємства як єдину систему типових взаємодіючих бізнес-процесів, що дає можливість визначити цілі та результати таких процесів для реалізації прецедентного процесного управління.

6. Удосконалено узагальнений метод формування, пошуку та використання прецеденту наскрізного бізнес-процесу, який, на відміну від існуючих, містить у собі етапи вибору прецеденту відповідно до цілі та очікуваного результату наскрізного бізнес-процесу, а також адаптації прецеденту з урахуванням ресурсних обмежень, що створює умови для реалізації прецедентного управління множиною взаємопов'язаних наскрізних бізнес-процесів.

7. Удосконалено метод виявлення інтервалів очікування ресурсів с наскрізного бізнес-процесу, який, на відміну від існуючих, передбачає відбір підмножин атрибутів подій, які відображають перехід бізнес-процесу до очікування ресурсів, та формування дерева рішень, яке зв'язує набір значень атрибутів з переходом, що дозволяє виявити можливості несвоєчасного виконання дій бізнес-процесу і тим самим забезпечити скорочення затримок при його виконанні.

8. Отримала подальший розвиток логічна модель множини наскрізних бізнес-процесів, яка, на відміну від існуючих, враховує не лише набір можливих послідовностей дій, що забезпечують досягнення цілей процесів, але й правила виконання цих дій з урахуванням доступу до ресурсів, що створює умови для побудови прецедентів бізнес-процесів у формі послідовностей дій з ресурсними обмеженнями та подальшого використання цих прецедентів для управління

множиною наскрізних бізнес-процесів.

9. Отримала подальший розвиток узагальнена модель прецеденту наскрізного бізнес-процесу, яка, на відміну від існуючих, містить у собі множину варіантів вирішення функціональної задачі у вигляді послідовності подій як результатів виконання робіт процесу із заданою множиною обмежень для кожного варіанту, а також множину локальних результатів, кожен з яких відповідає одному варіанту вирішення задачі, що дає можливість адаптувати прецедент при управлінні бізнес-процесами шляхом послідовного вибору підмножини результатів та одного з варіантів вирішення задачі відповідно до поточних обмежень предметної області.

**Практичне значення отриманих результатів.** Практичне значення розроблених методів та моделей підтверджується їх використанням у розроблених інформаційних технологіях побудови прецедентів наскрізних бізнес-процесів та прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси.

Результати дисертаційної роботи впроваджено: у ПП «Юнісофт» (акт впровадження від 10.09.17); ТОВ «ПрофІТсофт» (акт впровадження від 03.07.2020 р.); АТ «НДІ лазерних технологій» (акт впровадження від 18.11.16 р.); в освітній процес Харківського національного університету радіоелектроніки (акт впровадження від 14.05.2021 р.).

Впровадження запропонованих у дисертаційній роботі методів, моделей та інформаційних технологій забезпечує підвищення ефективності управління наскрізними бізнес-процесами підприємства за рахунок скорочення інтервалів очікування матеріальних і трудових ресурсів, а також запуску додаткових наскрізних процесів із задоволенням ресурсних обмежень та обмежень на час виконання таких процесів.

**Особистий внесок здобувача.** Основні наукові результати, наведені у дисертаційній роботі, сформульовані і отримані здобувачем особисто. Наукові праці [5]–[11], [30]–[37] опубліковані без співавторів. Окремі етапи дослідження були виконані у співпраці. У публікаціях, написаних у співавторстві, внесок здобувача полягає у такому: [1] – запропоновано методи, моделі та інформаційні технології управління наскрізними взаємопов'язаними бізнес-процесами підприємства на основі прецедентного підходу; [2] – запропоновано модель прецеденту бізнес-процесу, що описує особливості його відомих реалізацій, відображених в журналі подій, враховує час виконання бізнес-процесу, а також необхідні для цього ресурси; [3] - запропоновано модель прецеденту, яка дозволяє визначити функціональну задачу, яка вирішується під час виконання бізнес-процесу, та ІТ-сервіси, що реалізують цю задачу; [4] - запропоновано модель, що дозволяє знаходити найкращі рішення для управління бізнес-процесами, які представлено у вигляді послідовності доступу таких бізнес-процесів до спільно використовуваних ресурсів, інформаційну технологію яку побудовано з використанням зазначеної моделі; [12] – обґрунтовано критерії вибору інформаційної системи для ведення логів подій бізнес-процесів, що відображають

послідовності виконаних дій; [13] – запропоновано критерії встановлення пріоритетів допуску до ресурсів виконуваних робіт, що дає можливість, враховувати обмеження на час виконання процесів та випускати продукцію у встановлені договорами терміни; [14] – запропоновано метод виявлення інтервалів очікування на основі аналізу записів логів за умови, що кількість доступних ресурсів змінюється під час виконання бізнес-процесів; [15] – обґрунтовано вибір компонентів інформаційної системи для ведення логів подій; [16] – запропоновано імітаційну модель отримання можливих варіантів зниження часових і вартісних втрат при виконанні бізнес-процесів, що дозволяє підвищити ефективність їх управління; [17] – запропоновано логічну модель бізнес-процесів яка відображає логічний зв'язок між процесами при організації випуску товарів або надання послуг; [18] – обґрунтовано використання засобів імітаційного моделювання для візуалізації реалізованих послідовностей робіт; [19] – обґрунтовано використання засобів імітаційного моделювання для візуалізації можливих послідовностей робіт з оцінкою їх забезпечення необхідними ресурсами; [20] – запропоновано набір критеріїв встановлення пріоритетів допуску процесів до ресурсів, що забезпечує своєчасне виконання договорів на випуск продукції; [21] – обґрунтовано функціональність інформаційної системи, яка забезпечує необхідну підтримку логів подій при прецедентному управлінні множиною процесів; [22] – запропоновано компоненти інформаційної технології системи управління замовленнями підприємства; [23] – обґрунтовано формування процесів, що динамічно змінюються, з урахуванням обмежень на час їх виконання; [24] – запропоновано модель прецеденту, яка охоплює різні за тривалістю проміжки часу, пов'язуючи рішення з описом задачі, для якої розроблено прецедент, множини описів рішень задачі і отриманий результат рішення з урахуванням підмножин обмежень, що дозволяє визначити, для якої предметної області він може бути застосований, для якого типу задач, яка складність їх вирішення і який може бути отриманий результат; [25] – запропоновано підхід до формулювання процесної моделі рішення задачі у складі прецеденту з інтервального представлення часу; [26] – запропоновано метод процесного управління, який включає адаптацію моделей бізнес-процесів, поетапне виконання процесів відповідно до заданої в моделі послідовності дій; що дозволяє оцінити можливість виконання обмежень на час виконання існуючих бізнес-процесів, а, отже, підвищити ефективність процесного управління сукупністю бізнес-процесів підприємства; [27] – запропоновано метод побудови інтервальної моделі процесу рішення задачі в складі прецеденту, яка враховує ознаки послідовного і паралельного виконання не для окремих подій, а для інтервалів подій, що дозволяє відображати в моделі не стани, а дії процесу з урахуванням тривалості виконання цих дій.

**Апробація результатів дисертації.** Основні теоретичні й практичні результати дисертаційної роботи доповідалися й одержали схвалення на таких конференціях: XVII Міжнародній конференції з автоматичного управління «Автоматика – 2010» (Харків, 2010); Міжнародній науково-практичній конференції «Наука і соціальні



проблеми суспільства: інформатизація та інформаційні технології» (Харків, 2011); Міжнародному науково-методичному семінарі «Наука та освіта» (Дубай, 2011); XIV конференції з фізики високих енергій, ядерної фізики й прискорювачів (Харків, 2016); V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Проблеми інформатики та комп'ютерної техніки» ПКТ-2016 (Чернівці, 2016); I Міжнародній науково-технічній конференції «Поліграфічні, мультимедійні та web-технології» (Харків, 2016); Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні системи та технології» (Харків, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016); Міжнародній науковій конференції «Україна – Бельгія – Європейський союз: сучасне становище і перспективи» (Варна, 2016); Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні управляючі системи та технології» (ІУСТ-Одеса-2016, ІУСТ-Одеса-2017); IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT'2018); II Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні системи та технології в медицині» (ISM–2019); Fourth International Scientific and Technical Conference «Computer and information systems and technologies» (Харків, 2020).

**Публікації.** Результати дисертації опубліковані в 47 наукових роботах, серед яких 1 монографія, 26 наукових статей у фахових наукових періодичних виданнях з технічних наук, з них 7 наукових статей написані без співавторів (18 наукових статей з них індексуються міжнародними наукометричними базами даних: Cross Ref, EBSCO, Index Copernicus та іншими, 1 стаття у зарубіжному науковому періодичному виданні, 2 статті в журналі категорії A (Scopus та віднесені до третього квартиля (Q3) відповідно до класифікації Journal Citation Reports), 20 тези доповідей у матеріалах наукових конференцій, в тому числі 1 з яких індексуються міжнародними наукометричними базами, Scopus.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг роботи складає 531 сторінку, у тому числі 311 сторінок основного тексту, 15 рисунків та 25 таблиць на 40 окремих сторінках, список використаних джерел з 278 найменувань на 26 сторінках і 16 додатків на 110 сторінках.

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, викладено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів. Наведено особистий внесок автора у публікаціях, виконаних у співавторстві, кількість публікацій, структуру і обсяг роботи.

**У першому розділі** дисертації визначені основні проблеми управління наскрізними бізнес-процесами, які охоплюють весь цикл випуску продукції підприємства від формування замовлення до відвантаження товару споживачеві. Ці проблеми пов'язані з недосконалістю моделей та методів, які не враховують такі

особливості: можливість включення нового бізнес-процесу, зміни тривалості бізнес-процесів і коригування пріоритету їх доступу до конкурентних ресурсів при обмеженнях на терміни їх виконання. При доступі наскрізних бізнес-процесів до ресурсів виникає конфлікт між керівниками підрозділів і власником процесу, оскільки керівник володіє ресурсами підрозділу, а власник процесу повинен володіти підмножиною ресурсів підприємства, в тому числі і ресурсами інших підрозділів, щоб виконати наскрізні бізнес-процеси. Така невідповідність повноважень власників процесу і керівників підрозділів призводить до конкуренції наскрізних бізнес-процесів за ресурси, затримок при виконанні таких процесів і в результаті до зниження ефективності процесного управління.

Виконано аналіз існуючих підходів до управління наскрізними бізнес-процесами, виявлено їх відмінності та недоліки, визначено невирішені питання для обґрунтування вибору напрямку дослідження. Сформульовано наукову проблему, а також мету та завдання дослідження.

У **другому розділі** наведено концепцію двоконтурного управління множиною наскрізних бізнес-процесів, постановку задачі прецедентного управління такими процесами, категорно-функторну модель життєвого циклу бізнес-процесів, логічну модель множини наскрізних бізнес-процесів.

Концепція двоконтурного управління множиною наскрізних бізнес-процесів передбачає наявність внутрішнього контуру оперативного управління окремими наскрізними бізнес-процесами та зовнішнього контуру прецедентного управління сукупністю таких процесів (рис. 1).

Управління у внутрішньому контурі виконується традиційно для процесного підходу, за відхиленням показників наскрізних бізнес-процесів від значень, що задаються у цільовій моделі «to be».

Зовнішній контур реалізує управління множиною наскрізних процесів з урахуванням ресурсних обмежень, що враховують можливість використання спільних ресурсів підприємства іншими наскрізними бізнес-процесами. Управління здійснюється за допомогою прецедентів-аналогів бізнес-процесів.

Визначення. Прецедент-аналог являє собою «as- is» опис наскрізного бізнес-процесу, який містить послідовності дій із досягнення цілі процесу та враховує непередбачені затримки при доступі до ресурсів підприємства.

Використання контуру прецедентного управління дає можливість упорядкувати доступ множини наскрізних бізнес-процесів до спільних ресурсів підприємства з тим, щоб забезпечити їх реалізацію з урахуванням обмежень на час виконання таких процесів.

Запропонована концепція двоконтурного управління наскрізними бізнес-процесами забезпечує можливості ефективного використання ресурсів з урахуванням не лише цілей окремих бізнес-процесів, а й пріоритетів діяльності підприємства в цілому.



Рисунок 1 – Схема двоконтурного управління наскрізними бізнес-процесами

Відповідно до запропонованої концепції, задача прецедентного управління полягає в мінімізації сумарного часу очікування ресурсів для всіх наскрізних бізнес-процесів підприємства  $Bp_i$  при обмеженні максимального часу виконання для кожного з цих процесів:

$$\min(\sum_i \tau_i^{wt}) \mid \forall Bp_i \tau_i \leq \tau_i^{\max}, \quad (1)$$

де  $\tau_i^{wt}$  – сумарний час очікування ресурсів для наскрізного бізнес процесу  $Bp_i$ ;  $\tau_i$  – загальний час виконання  $Bp_i$ ;  $\tau_i^{\max}$  – обмеження на час виконання  $Bp_i$ .

Сумарний час очікування для кожного наскрізного бізнес-процесу визначається як сума затримок  $t_{k,i}^{Rs}$  при доступі цього процесу до ресурсів:

$$\tau_i^{wt} = \sum_k t_{k,i}^{Rs} \mid \forall Bp_i \exists t_{k,i}^{Rs} > 0, \quad (2)$$

де  $t_{k,i}^{Rs}$  – час затримки  $Bp_i$  при доступі до  $k$ -го ресурсу.

Вирішення задачі прецедентного управління у постановці (1) передбачає послідовне виконання таких дій: визначення наявних ресурсів в поточний момент

часу; обчислення затримок доступу до ресурсів при виконанні послідовності дій кожного наскрізного бізнес-процесу; прийняття рішень про зупинку або запуск окремих наскрізних бізнес-процесів з тим, щоб мінімізувати сумарний час очікування ресурсів множини наскрізних бізнес-процесів.

*Категорно-функторна модель життєвого циклу бізнес-процесів* базується на таких категоріях: формування цілі випуску продукції  $G$ , виходячи з можливості отримання максимального прибутку підприємства; визначення оптимальної номенклатури продукції, що випускається,  $U$  за наявності сформованої цілі  $G$ , потреб ринку і можливостей підприємства; формування на основі обраної номенклатури  $U$  портфеля замовлень  $Z$  на випуск продукції; формування кадрового складу  $S$ , що бере участь в реалізації замовлень  $Z$ , як для підприємства в цілому, так і для його окремих підрозділів; розробка технологій виробництва  $H$  під сформований портфель замовлень  $Z$ ; визначення необхідного обладнання  $J$  для реалізації замовлень  $Z$  і розробленої технології  $H$ , організації виробництва випуску продукції  $V$  відповідно до замовлень  $Z$ ; визначення оцінки якості продукції  $Q$ , формування заходів  $M$  з досягнення необхідного рівня якості продукції.

Для визначення категорій процесів формування цілі випуску продукції  $L_g$  задамо структуровані множини об'єктів і відповідних морфізмів. Об'єктами категорії цілей  $G$  є:  $A_g$  – множина процесів формування цілей підприємства по випуску продукції,  $B_g$  – множина процесів формування цілей по випуску продукції цеху,  $C_g$  – множина процесів формування цілей по випуску продукції ділянок.

Виходячи зі структурного розподілу процесів формування цілей по випуску продукції в рамках підприємства, множина процесів формування цілей цехів  $B$  розподілена між множиною процесів формування цілей підприємства  $A_g$  таким чином, що кожній множині процесів формування цілей  $A_{g_i}$  належить певний набір процесів формування цілей  $B_{g_a}$  з множини  $B_g$ . Розподілу множини процесів формування цілей  $B_g$  між множиною процесів формування цілей  $A_g$  ставиться у відповідність таке відображення  $F$ , коли будь-якому набору процесів формування цілей підприємства  $a_g$ ,  $a_g \in A_g$  ставиться у відповідність принаймні певний набір процесів формування цілей  $b_g$ ,  $b_g \in B_g$ . Тоді розподіл множини процесів формування цілей  $B_g$  серед множини процесів формування цілей  $A_g$  представимо у вигляді:

$$F_{B_g}^{A_g} \left\{ \begin{array}{l} A_g \rightarrow 2^{B_g} \\ a_g \rightarrow B_g a_g \end{array} \right., \quad (3)$$

де  $2^{B_g}$  – множина всіх підмножин процесів формування цілей  $B_g$  (булеан  $B_g$ ), що входять у множину процесів формування цілей  $A_g$ , таких, що  $F_{B_g}^{A_g}(a_g) = B_g a_g$ ;  $B_{g_a}$  –

множина процесів формування цілей цеху, що входять у множину процесів формування цілей конкретного підприємства  $a_u, a_g \in A_g$ .

За визначенням, має виконуватися така умова:

$$B_g = \bigcup_{a_g \in A_g} B_g a_g. \quad (4)$$

Це означає, що множина процесів формування цілей цеху  $B_g$  повинна належати множині процесів формування цілей одного з підприємств  $a_g, a_g \in A_g$  або взагалі не має прообразу, тобто повинна виконуватися умова:

$$b_g \in B_g : /F^{-1}[b_g] / \leq 1, \quad (5)$$

де  $F^{-1}$  – інверсія (перетворення)  $F$ .

Набір цілей для ділянок  $C_g$  задається аналогічно. Оскільки множина процесів формування цілей ділянок, в свою чергу, входить в множину процесів формування цілей підприємств  $A$ , то розподіл  $C$  в  $A$  представимо наступним чином:

$$F_{C_g}^{A_g} = F_{B_g}^{A_g} * F_{C_g}^{B_g}, \text{ де } * \text{ вказує на композицію розподілів.}$$

Таким чином, введені структуровані множини  $A, B, C$  і відображення  $F_{C_g}^{A_g}, F_{B_g}^{A_g}, F_{C_g}^{B_g}$  є елементами математичної моделі структури процесів формування цілей підприємств у вигляді:

$$M_g = \langle A_g, B_g, C_g, F_{C_g}^{A_g}, F_{B_g}^{A_g}, F_{C_g}^{B_g} \rangle. \quad (6)$$

Для отримання категорій процесів формування цілей випуску продукції визначимо наступні морфізми  $\phi_{A_g} : A_g \rightarrow A'_g, \phi_{B_g} : B_g \rightarrow B'_g, \phi_{C_g} : C_g \rightarrow C'_g$ .

Структуровані множини процесів формування цілей  $A_g, B_g, C_g$ , що утворюють область процесів формування цілей  $D_g$ , є складовим елементом узагальнюючої множини процесів формування цілей підприємств  $D'_g$  зі структурованими множинами  $A'_g, B'_g, C'_g$  за умови, що  $D_g \subset D'_g$ .

За визначенням категорії, такі морфізми повинні бути функціональними, що підтверджується комутативними діаграмами, а також відповідними тотожностями:

$$F_{B_g}^{A_g} * \phi_{B_g} = \phi_{A_g} * F_{B'_g}^{A'_g}, \quad F_{C_g}^{B_g} * \phi_{C_g} = \phi_{B_g} * F_{C'_g}^{B'_g}. \quad (7)$$

При цьому внутрішній зв'язок між структурованими множинами  $A_g, B_g, C_g$  в  $D_g$  зберігається і в  $D'_g$ , внаслідок їх функціонального призначення, а, отже, виконується умова визначення морфізмів.

Таким чином, введені структуровані множини процесів формування цілей підприємств  $(A_g, B_g, C_g)$ , разом із заданими морфізмами  $(\phi_{A_g}, \phi_{B_g}, \phi_{C_g})$  утворюють категорну модель процесів формування цілей по випуску продукції підприємства в

наступному вигляді:

$$L^g = \langle A_g, B_g, C_g, \phi_{A_g}, \phi_{B_g}, \phi_{C_g} \rangle. \quad (8)$$

Формування цілей  $G$  дозволяє визначити склад функціональних завдань  $Zs$ , які необхідно реалізувати по всьому життєвому циклу випуску продукції підприємством.

Отримавши за аналогією відповідні категорії та функтори, представимо *категорно-функторну модель* всього життєвого циклу бізнес-процесів випуску продукції наступним складовим функтором:

$$\Phi_{L^n}^{L^g} = \Phi_{L^u}^{L^g} * \Phi_{L^z}^{L^u} * \Phi_{L^s}^{L^z} * \Phi_{L^h}^{L^s} * \Phi_{L^j}^{L^h} * \Phi_{L^v}^{L^j} * \Phi_{L^q}^{L^v} * \Phi_{L^m}^{L^q}. \quad (9)$$

Аналіз отриманої категорно-функторної моделі дозволяє зробити висновок, що такі моделі дозволяють уніфікувати опис виробничого процесу будь-якого підприємства. Крім того, для управління підприємством у цілому потрібно вирішувати функціональні задачі  $Zs$  ефективного управління комплексом взаємопов'язаних бізнес-процесів, які можуть виконуватись одночасно. Введені структуровані множини дозволяють також визначити обмеження предметної області  $Sa$  у вигляді необхідних ресурсів  $Rs$ .

Ефективність прецедентного управління наскрізними бізнес-процесами значною мірою залежить від їх виконання у встановлені терміни. Однак для реалізації їх управління потрібен більш детальний опис послідовностей дій для різних умов зовнішнього середовища, з урахуванням доступу процесів до ресурсів (конкуренції за ресурси між бізнес-процесами, які виконуються в один і той же час). У зв'язку з цим, в якості елемента прецедентного управління запропоновано *логічну модель множини наскрізних бізнес-процесів*. Модель враховує не лише набори можливих крос-функціональних послідовностей робіт, що забезпечують досягнення цілей процесів, але й необхідні для виконання цих робіт ресурси:

$$BP = \{ \{ Wf_i | \exists Rs_i \}, Rl \}, i = \overline{1, I}, \cap Rs_i \neq \emptyset, \cup Rs_i = Rs, \quad (10)$$

де  $BP$  – множина наскрізних бізнес-процесів підприємства;  $Wf_i$  – потік робіт, що визначає послідовність виконання дій наскрізного бізнес процесу  $Bp_i$ ;  $Rs_i$  – підмножина ресурсів підприємства, що використовується одним наскрізним бізнес-процесом;  $Rl$  – правила запуску або призупинення бізнес-процесу.

Кожен наскрізний бізнес-процес  $Bp_i$  із множини  $BP$  реалізує дії  $p_l$ , що забезпечені ресурсами  $r_{l,k}$ :

$$Bp_i = \{ Wf_i, Rl | \forall p_l \in Wf_i \exists \{ r_{l,k} \} \subset Rs_i \}. \quad (11)$$

Опис потоку робіт (workflow)  $Wf_i$  містить у собі як дії, що реалізуються засобами інформаційної системи процесного управління, так і дії, які працівники виконують вручну. Опис задає порядок робіт, відповідно до якого дані, інформація, завдання передаються між виконавцями для реалізації заданого алгоритму роботи. Необхідними умовами для реалізації потоку робіт  $Wf_i$  є: визначення множин

початкового та кінцевого станів бізнес-процесу; задоволення обмежень на виконання послідовності робіт у формі бізнес-правил; наявність необхідних ресурсів до виконання робіт. Наведені умови дозволяють визначити загальний потік робіт як диз'юнкцію можливих траєкторій виконання бізнес-процесу, за умови, що всі траєкторії мають одні й ті ж самі початкові та кінцеві стани:

$$Wf_i = wf_{1j} \vee \dots \vee wf_{ij} \vee \dots \vee wf_{lj} | \forall wf_{ij} \exists S^B, S^E, \quad (12)$$

де  $wf_{ij}$  –  $j$ -та траєкторія виконання бізнес-процесу;  $S^B$  – множина початкових станів бізнес-процесу;  $S^E$  – множина кінцевих станів бізнес-процесу.

Кожна траєкторія визначається як повна послідовність дій бізнес-процесу, без паралельних дій та циклів:

$$wf_{i,j} = \langle p_{j,1}, p_{j,2}, \dots, p_{j,l} \dots p_{j,L} \rangle, p_{j,l} \in P, wf_{i,j} \in Wf_i, \quad (13)$$

де  $p_{j,1}$  – перша дія бізнес-процесу;  $p_{j,L}$  – фінальна дія бізнес-процесу.

При описі дій бізнес-процесу у вигляді (13) цикл представляється кінцевою послідовністю виконання однакових дій.

Початковий стан бізнес-процесу задається через наявність виконаних умов запуску першої дії бізнес-процесу на виконання. Відповідно до (12), початкові умови визначаються через наявність ресурсів для виконання першої дії процесу:

$$(\forall wf_{i,j}) \exists \{r_1^k\} \Leftrightarrow wf_{i,j} \models S^B, \quad (14)$$

де  $r_{1,k}$  –  $k$ -й ресурс для виконання першої дії бізнес-процесу, символ  $\models$  визначає наявність непустиї множини  $S^B$  на траєкторії  $wf_{i,j}$ .

Підсумковий порядок робіт повинен відповідати прийнятим на підприємстві ресурсним обмеженням на виконання робіт бізнес-процесу. Тобто узагальнена форма умови наявності ресурсів для запуску чергового дії процесу для послідовності має вигляд:

$$(wf_{i,j}, rl \models p_{j,l-1}) \wedge \exists \{r_{l,k}\} \Rightarrow wf_{i,j} \models p_{j,l}, l < L, \quad (15)$$

де  $r_{l,k}$  –  $k$ -й ресурс, що є необхідним для виконання дії  $p_{j,l}$ .

Процесний підхід передбачає, що при побудові моделі визначаються допустимі траєкторії виконання бізнес-процесу  $wf_{i,j}$ , а при його виконанні контролюється виконання процесу за однією з допустимих траєкторій. Тобто загальне правило адміністрування, яке забезпечує запуск поточної дії  $p_{j,l}$  бізнес-процесу на траєкторії  $wf_{i,j}$ , має вигляд:

$$\exists \langle p_{j,1}, p_{j,2}, \dots, p_{j,l-1} \rangle \in wf_{i,j} \wedge \exists \{r_{l,k}\} \Rightarrow wf_{i,j} \models p_{j,l}, \quad (16)$$

де  $p_{j,l}$  – дія бізнес-процесу на траєкторії  $wf_{i,j}$ , яка повинна бути запущена на виконання;  $p_{j,1}, p_{j,2}, \dots, p_{j,l-1}$  – дії бізнес-процесу, що були виконані.

Досягнення мети бізнес-процесу визначається виконанням хоча б однієї з послідовностей дій  $wf_{i,j}$  із загального потоку робіт  $Wf_i$ . Ознакою завершення  $wf_{i,j}$  є виконання останньої дії з цієї послідовності:

$$wf_{i,j} \models S^E \Leftrightarrow \exists j : wf_{i,j} \models p_{j,L}, \quad (17)$$

де  $p_{i,L}$  – остання дія послідовності  $wf_i$ ; символ  $\models$  визначає істинність формули на траєкторії  $wf_{i,j}$ .

Відповідно до (10), бізнес-процес структурується за схемою «дії – ресурси – правила адміністрування». Така структуризація дає можливість віднести до категорії ресурсів не лише традиційні інфраструктуру, обладнання, виконавців, але й будь-які об'єкти, які тим чи іншим чином обмежують виконання бізнес-процесу: сировину, матеріали, інформацію тощо.

Наведене представлення наскрізних бізнес-процесів (10) дозволяє описати як окремий процес, так і множину паралельних процесів у вигляді наборів траєкторій, що визначають можливі послідовності дій із вирішення відповідних функціональних задач. Це дає можливість розглянути використання ресурсів лише для підмножини поточних траєкторій кожного бізнес-процесу, що відповідають виконаній послідовності дій  $\langle p_{j,1}, p_{j,2}, \dots, p_{j,l-1} \rangle$ . Уточнення кількості можливих траєкторій виконання бізнес-процесу з урахуванням стану предметної області створює умови для побудови прецедентів бізнес-процесів у формі (12) та подальшого використання цих прецедентів для управління множиною наскрізних бізнес-процесів.

**У третьому розділі** наведено узагальнену модель прецеденту наскрізного бізнес-процесу, узагальнений метод формування, пошуку та використання прецеденту наскрізного бізнес-процесу та інформаційну технологію побудови прецедентів наскрізних бізнес-процесів.

Використовуючи особливості попередніх моделей (формалізацію функціональної задачі управління (1), опис окремих бізнес-процесів відповідними категоріями і опис наскрізного бізнес-процесу категорно-функторною моделлю (9), які дозволяють визначити параметри предметної області, а також послідовність рішень з логічної моделі (10)-(17), розроблено *узагальнену модель прецеденту наскрізного бізнес-процесу*. Ця модель формалізує відомий досвід вирішення функціональної задачі (1) у вигляді всіх відомих послідовностей робіт у часі (12), які дозволяють отримати кінцевий результат, та враховує суттєві для вирішення задачі характеристики предметної області (9). Модель прецеденту наскрізного бізнес-процесу має наступний вигляд:

$$M_p = \langle Sa, Zs, Ps, Gs \rangle, \quad (18)$$

де  $Sa$  – обмеження предметної області щодо застосування прецеденту;  $Zs$  – опис цілі бізнес-процесу та змісту функціональної задачі, для вирішення якої розроблений прецедент;  $Ps$  – опис рішень задачі  $Zs$  у вигляді послідовності робіт  $wf_{i,j}$  (12) з



виконання наскрізного бізнес-процесу;  $G_s$  – отриманий кінцевий результат рішення задачі, який досягається успішним виконанням останньої дії (16).

Опис рішень  $P_s$  об'єднує множину відомих шляхів  $P_{s_i}$  вирішення задачі у складі прецеденту:  $P_{s_i} = P_{s_{1,j}} \vee \dots \vee P_{s_{i,j}} \vee \dots \vee P_{s_{L,j}}$ , кожен з яких може бути представлений відповідною послідовністю дій  $wf_{i,j}$ .

Результат вирішення задачі представляється логічною змінною, тобто  $G_s = true$  у випадку успішного завершення бізнес-процесу і досягнення результату. В загальному випадку прецедент бізнес-процесу, в залежності від поточних обмежень, може мати декількох схожих результатів  $G_{s_i}$ :  $G_s \equiv \bigvee_i G_{s_i}$ . Кожен з результатів  $G_{s_i}$  відповідає одному з шляхів вирішення задачі  $P_{s_i} \in P_s$ . Тому шлях  $P_{s_i}$  буде істинним в моделі прецеденту  $M_p$  в момент часу  $t$  тільки в тому випадку, коли він забезпечує досягнення одного з можливих результатів  $G_{s_i}$ :

$$M_{p,t} \models P_{s_i} \mid \forall t \exists G_{s_i}. \quad (19)$$

Вираз (19) обумовлює можливість вибору одного з шляхів вирішення задачі в момент часу  $t$ .

Опис предметної області, який визначається категорно-функторною моделлю (9), задає набір можливих підмножин обмежень  $Sa_i$  для кожного шляху вирішення задачі  $P_{s_i}$ :  $Sa \equiv \bigvee_i Sa_i$ ,  $Sa_i \equiv \bigwedge_j Sa_{i,j}$ . Відповідно, результат вирішення задачі  $G_{s_i}$  в моделі прецеденту  $M_p$  буде істинним для стану моделі у момент часу  $t$  тільки за умови виконання відповідної підмножини обмежень предметної області  $Sa_i$ :

$$M_{p,t} \models G_{s_i} \mid \forall t \exists Sa_i, \quad (20)$$

Узагальнений опис задачі задається через набір  $Z_s$  умов  $z_{s_k}$  запуску бізнес-процесу її рішення  $Z_s \equiv \bigwedge_k z_{s_k}$ . Тоді для коректного опису задачі необхідно, щоб кожен шлях її рішення  $P_{s_i}$  дозволяв отримати істинний результат  $G_{s_i}$  при відповідних обмеженнях предметної області, тобто зв'язок задачі, шляху її вирішення та результатів без урахування змін у предметній області має вигляд:

$$\forall i Z_s \rightarrow P_{s_i} \rightarrow G_{s_i} \mid Sa_i. \quad (21)$$

Тоді умовою вибору прецеденту в момент часу  $t$ , коли дійсною є підмножина обмежень  $Sa_i$ , є наявність такого шляху вирішення задачі  $P_{s_i}$ , який би забезпечив досягнення результату  $G_{s_i}$  при виконанні обмежень на шляху вирішення задачі:

$$M_{p,t} \models Z_s \mid \exists P_{s_i} : \forall t \exists G_{s_i} \mid \forall t \exists Sa_i. \quad (22)$$

При деталізації моделі прецеденту-аналога (18) використовуються такі відповідності:  $P_{s_i}$  відповідає потоку робіт  $Wf_i$ ,  $Sa$  відповідає ресурсам  $Rs$ ,  $G_s$  відповідає кінцевому стану  $S^E$ .

Модель (22) призначена для побудови бази прецедентів, та подальшого

використання прецедентів при управлінні наскрізними бізнес-процесами.

Для використання прецеденту в якості аналогу бізнес-процесу розроблено *узагальнений метод формування, пошуку та використання прецеденту наскрізного бізнес-процесу*. Метод містить такі етапи.

Етап 1. Формування вхідних даних для побудови опису поточного прецеденту. На даному етапі використовуються дані, які відображають вирішення відповідної функціональної задачі  $Z_s$  на конкретному підприємстві. Вхідні дані фіксуються підсистемою моніторингу інформаційної системи процесного управління у логах (журналах реєстрацій подій). Лог містить у собі декілька послідовностей подій, що відображають послідовності дій  $wf_{i,j}$ .

Етап 2. Пошук та вибір прецеденту-аналога наскрізного бізнес-процесу з бази прецедентів. Пошук відбувається за описом поточного прецеденту за функціональною задачею  $Z_s$ , з необхідним отриманим результатом  $G_s$  за умови виконання обмеження  $Sa: \exists Z_s: G_s | Sa$  та опису прецеденту-аналогу.

Етап 3. Порівняння поточних обмежень предметної області підприємства  $Sa^*$  і обмежень  $Sa$  (кількість наявних ресурсів, час завершення виконання бізнес-процесу, тощо) для вибраного прецеденту.

Етап 4. Формування моделі прецеденту-аналогу наскрізного бізнес-процесу (18) з використанням методів Process Mining. В результаті виконання даного етапу процес вирішення задачі представляється графом  $P_s$ , дуги якого відображають виконання робіт бізнес-процесу, а вершини – стан бізнес-процесу після виконання робіт  $P_{s_i}$ . Умови застосування прецеденту відображені множиною початкових подій  $\{e_{i,1}\}$  для шляхів вирішення задачі  $P_{s_i}$ , для яких виконується умова:

$$\exists(e_{1,1} \vee \dots \vee e_{i,1} \vee \dots \vee e_{I,1}) \Rightarrow Sa = true. \quad (23)$$

Результати визначаються через множину кінцевих подій всіх шляхів.  $P_{s_i}$ .

Етап 5. Проведення адаптації розробленого прецеденту шляхом уточнення всіх варіантів трас наскрізного бізнес-процесу процесу вирішення задачі  $P_s$  для отримання потрібного результату  $G_s$  з задоволенням поточних обмежень  $Sa^*$ .

Етап 6. Збереження скоригованого прецеденту в базі прецедентів.

Етап 7. Застосування прецеденту при управлінні бізнес-процесом.

Метод дозволяє отримати прецедент, який враховує наявні ресурсні обмеження для наскрізного бізнес-процесу «as is» та забезпечує можливості адаптивного прецедентного управління наскрізними бізнес-процесами шляхом коригування послідовності їх виконання у відповідності до обмежень предметної області.

*Інформаційна технологія побудови прецедентів наскрізних бізнес-процесів* містить у собі етапи формування описів структури бізнес-процесів, формування прецедентів та workflow-описів наскрізних бізнес-процесів, а також етапи формування описів змісту функціональних задач, що вирішує наскрізний бізнес-процес, послідовностей дій з їх досягнення, формування опису ресурсних обмежень й етап зберігання та пошуку прецедентів (рис. 3).

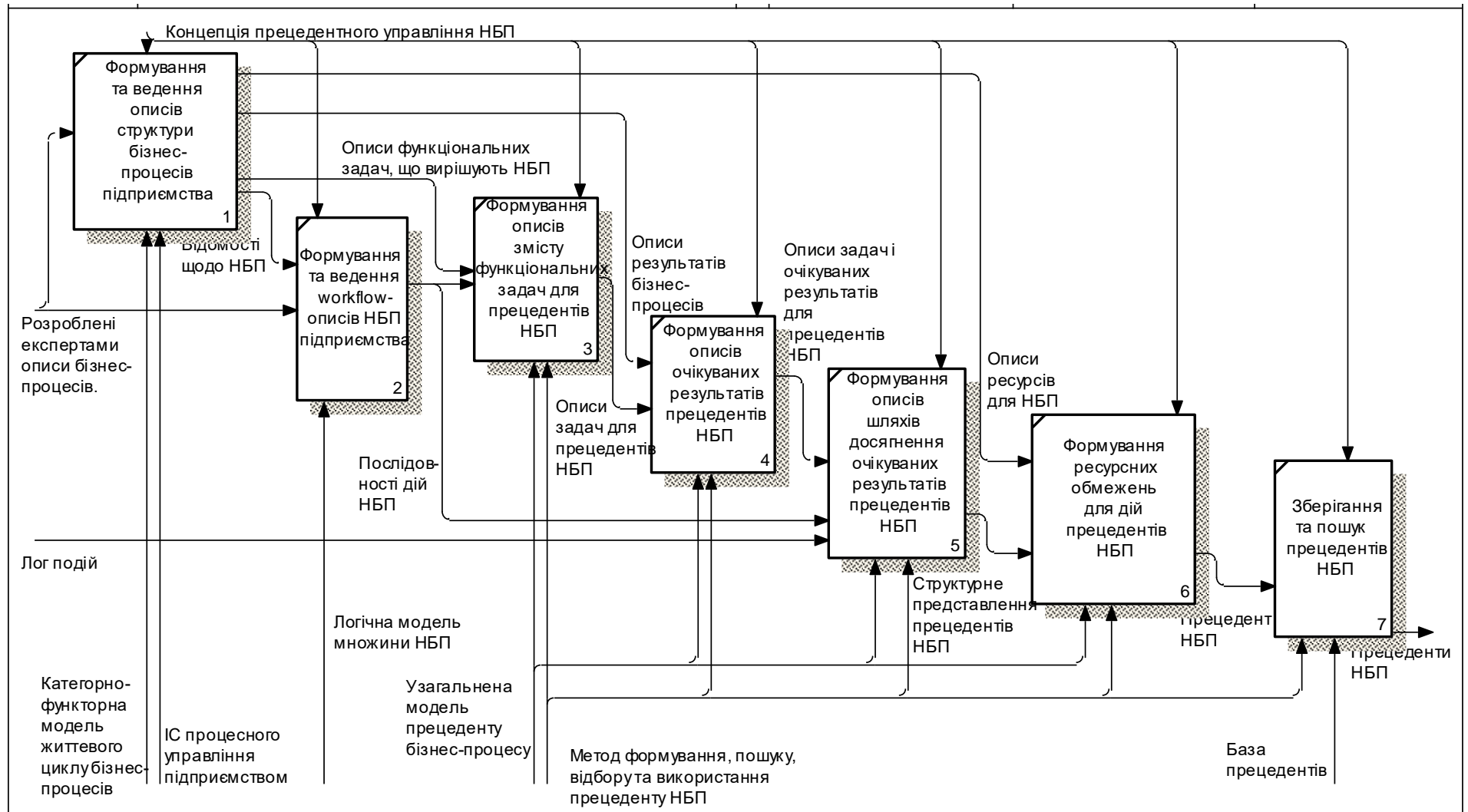


Рисунок 2 – Інформаційна технологія побудови прецедентів наскрізних бізнес-процесів

У четвертому розділі наведено інтервальну модель наскрізного бізнес-процесу як рішення задачі в складі прецеденту, метод виявлення інтервалів очікування ресурсів при виконанні наскрізного бізнес-процесу, метод побудови інтервальної моделі наскрізного бізнес-процесу.

При вирішенні задачі застосування скоригованого прецеденту-аналогу наскрізного бізнес-процесу виникає проблема оцінювання тривалості виконання таких процесів, оскільки остання буде змінюватися в залежності від часу очікування їх доступу до конкурентних ресурсів.

У зв'язку з цим необхідно перейти від подієвого опису бізнес-процесу, а також моделей процесу з дискретним часом, до моделей з інтервальним поданням часу.

Інтервальна модель наскрізного бізнес-процесу як рішення задачі в складі прецеденту містить у собі трирівневе представлення такого процесу: набір послідовностей подій, що відображають виконання процесу рішення задачі; якісний опис рішення задачі у вигляді графа подій; інтервальний опис вирішення задачі.

На першому рівні моделі процес вирішення задачі представляється у вигляді множини послідовностей подій  $\theta$ , що являють собою записи про всі реалізовані на практиці варіанти виконання наскрізного бізнес-процесу. Множина  $\theta$  відображає лог (журнал подій) бізнес-процесу. Кожен варіант виконання такого процесу представляється вигляді траси  $\pi_k: \theta = \{\pi_k\}, k = \overline{1, K}$ .

Траса  $\pi_k$  є впорядкованою підмножиною  $E_k$  множини подій  $E$  процесу рішення задачі:

$$\pi_k = \langle E_k, \succ \rangle, E_k = \{e_{k,l}\}, \quad (24)$$

де  $e_{k,l}$  –  $l$ -та подія у складі  $k$ -ї траси вирішення задачі; символ  $\succ$  позначає відношення переходу.

Відношення переходу кожній події  $e_{k,l}$  ставить у відповідність наступну подію  $e_{k,l+1}$  для даного варіанту процесу рішення задачі  $Zs$ :

$$(\forall e_{k,l}) \exists e_{k,l+1} \neq e_{k,l} : e_{k,l} \succ e_{k,l+1}, l = \overline{1, L-1}. \quad (25)$$

Відношення переходу має властивості рефлексивності і транзитивності, тобто є відношенням строгого порядку. Транзитивне замикання відношення переходу  $\gg$  є відношенням довершеного строгого порядку, оскільки має властивості транзитивності, антірефлексивності та асиметричності. Таким чином, кожний варіант вирішення задачі  $\pi_k$  є впорядкованою множиною подій  $E_k$ , на якій задані відношення  $R$  строгого та довершеного строгого порядку:  $\pi_k = \langle E_k, R \rangle, R = \{\succ, \gg\}$ .

Множина  $\theta$  містить набір трас, що відображають різні варіанти реалізації бізнес-процесу і на яких можуть виникати одні й ті ж події. Тому перший рівень моделі процесу рішення задачі у складі прецеденту задається частково впорядкованою множиною подій, які виникали при виконанні всіх відомих реалізацій наскрізного бізнес-процесу:

$$\theta = \langle E, R \rangle, R = \{>, \gg, \geq\}, E = \bigcup_k E_k, \quad (26)$$

де символ  $\geq$  відображає відношення часткового порядку між подіями з різних варіантів реалізації бізнес-процесу.

Оскільки одні й ті ж події виникають на різних трасах  $\pi_k$  в різні моменти часу, то на рівні множини  $\theta$  такі події вважаються різними. Це не дає змоги встановити відношення строгого порядку на цьому рівні опису наскрізного бізнес-процесу.

Дійсно, множина  $\theta$  має властивості транзитивності, антисиметричності й рефлексивності. Перші дві властивості є характерними для окремих трас процесу. Властивість рефлексивності є очевидною для однієї траси і дає змогу отримати якісну модель шляхом зіставлення подій, що зафіксували ідентичні дії в різних трасах логу:

$$(\forall k \neq m) \exists e^* \in \pi_k, e^{**} \in \pi_m : e^* = e^{**}, \quad (27)$$

де  $\pi_k, \pi_m$  – різні траси множини  $\theta$ .

Представлення наскрізного бізнес-процесу в дискретному часі на другому рівні запропонованої моделі має об'єднувати всі можливі послідовності розв'язання задачі, які виникають внаслідок зміни обмежень при виконанні процесу у різні періоди часу. Тому підмножина подій  $E_{dis} \subset E$  на даному рівні може бути отримана із загальної множини подій першого рівня  $E$  шляхом виключення співпадаючих подій (27) з різних варіантів  $\pi_k$  реалізації процесу вирішення задачі в складі прецеденту:

$$E_{dis} = \{e_{k,l} \mid \forall (k \neq m) e_{k,l} \neq e_{m,l}\}, \quad (28)$$

де  $e_{k,l} \in \pi_k, e_{m,l} \in \pi_m$  – неспівпадаючі події з різних трас  $\pi_k$  та  $\pi_m$ .

Відповідно, другий рівень опису наскрізного бізнес-процесу як рішення задачі у складі прецеденту, має наступний вигляд:

$$Ps_{dis} = \langle E_{dis}, R \rangle. \quad (29)$$

Другий рівень моделі задає загальну схему процесу вирішення задачі у складі прецеденту, що дозволяє вибрати варіант його реалізації в залежності від обмежень предметної області  $Sa_i$  та обмежень по результатах  $Gs_i$ . Однак перший та другий рівень є подієвими, тобто відображають процес як послідовності подій в дискретному часі. В той же час, кожній дії бізнес-процесу може відповідати декілька подій, пов'язаних зі зміною її стану (наприклад, виконання, очікування ресурсів, тощо). Крім того, кожна робота має тривалість у часі, яку необхідно враховувати при вирішенні задачі прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів (1). Це обумовлює необхідність третього рівня опису наскрізного бізнес-процесу у вигляді послідовностей робіт з використанням інтервального представлення.

Визначення. Інтервал  $c_n$  виконання поточної  $n$ -ї дії бізнес-процесу задається парою подій, які фіксують закінчення попередньої і поточної дії:

$$a_n = [e_{k,l}, e_{k,n}] \mid e_{k,l} > e_{k,n}, \quad (30)$$

де  $e_{k,l}, e_{k,n} \in \pi_k$  – граничні події інтервалу  $c_n$ .

Відповідно до (30), кожна реалізація бізнес-процесу представляється у вигляді послідовності інтервалів, що відображають виконання його дій. Однак при описі процесу вирішення задачі в цілому необхідно враховувати наступний ряд факторів. По-перше, при розпаралелюванні дій бізнес-процесу пара найближчих подій може відображати не повну дію, а лише її фрагмент. По-друге, процес укрупнено описується в формі послідовності робіт, що містять набори елементарних дій. По-третє, в рамках одного процесу можуть виділятися підпроцеси, що відображають вирішення окремих підзадач. Тому у загальному випадку інтервал виконання  $n$ -ї дії містить упорядковану множину подій на трасі  $\pi_k$ :

$$c_n = [e_{k,l}, e_{k,l+1}, \dots, e_{k,n-1}, e_{k,n}]: e_{k,l} \succ e_{k,l+1}, e_{k,n-1} \succ e_{k,n}. \quad (31)$$

При багаторазовій реалізації бізнес-процесу одна і та ж дія може мати різну тривалість і фіксується в формі пари подій в різних трасах  $\pi_k \in \theta$ . При об'єднанні трас на другому рівні моделі наскрізного бізнес-процесу необхідно задати відношення строгого порядку на цих парах подій.

Оскільки остання гранична подія визначає найбільшу тривалість інтервалу, то інтервал виконання дії для логі процесу можна представити парою подій:

$$b = [e_1^b, e_{\text{last}}^b : (e_1^b \gg e_{\text{last}}^b)], \quad (32)$$

де  $e_{\text{last}}^b$  – остання подія інтервалу  $b$ .

Строго впорядкована послідовність інтервалів  $B$  містить тільки інтервали, що не перетинаються. Це означає, що відношення переходу між парою інтервалів  $b$  та  $c$  еквівалентно відношенню переходу між подіями, які визначають межі інтервалів:

$$\begin{aligned} b \succ c &\Leftrightarrow [e_1^b, e_{\text{last}}^b] \succ [e_1^c, e_{\text{last}}^c] \Leftrightarrow \\ &\Leftrightarrow e_1^b \gg e_{\text{last}}^b \succ e_1^c \gg e_{\text{last}}^c \Leftrightarrow [e_1^b \gg e_{\text{last}}^b] \succ [e_1^c \gg e_{\text{last}}^c]. \end{aligned} \quad (33)$$

Між подіями  $e_1^b, e_{\text{last}}^b, e_1^c, e_{\text{last}}^c$  обох інтервалів існує відношення довершеного строгого порядку  $\gg$ , що представляє собою транзитивне замикання відношення переходу  $\succ$ . Тому довільна пара інтервалів, між якими задано відношення довершеного строгого порядку може бути відображена на підмножину натуральних чисел:

$$b_k \gg c_n \Leftrightarrow [e_1^b \succ e_{\text{last}}^b]_k \gg [e_1^c \succ e_{\text{last}}^c]_n \Leftrightarrow k \gg n, \quad (34)$$

де  $b_k, c_n$  – інтервали дій бізнес-процесу;  $k, n$  – натуральні числа.

Таким чином, упорядковані послідовності інтервалів, які визначають фрагменти бізнес-процесу, можуть бути представлені у вигляді числової послідовності, що відповідає моментам виникнення подій, що відображають початок або завершення дій бізнес-процесу. Правило (34) визначає перехід від подієвого до інтервального представлення часу для бізнес-процесу. Інтервальне представлення містить у собі набір підмножин упорядкованих інтервалів подій:

$$P_{\text{int}} = \left\langle \left\langle B, \{\succ, \gg\} \right\rangle, \{\geq\} \right\rangle, \quad (35)$$

де  $A$  – підмножина інтервалів, для яких задано строгий порядок виконання дій бізнес-процесу, який визначається відношеннями  $\succ, \gg, \{\langle B, \{\succ, \gg\} \rangle\}$  – множина підмножин строго впорядкованих інтервалів.

Кожна підмножина упорядкованих інтервалів  $\langle B, \{\succ, \gg\} \rangle$  відповідає одній з трас наскрізного бізнес-процесу на першому рівні моделі та задає послідовність дій, яка дозволяє досягти результату бізнес-процесу з урахуванням множини обмежень предметної області. Адаптація процесу вирішення задачі виконується на основі нестрогих обмежень. Тобто виконання бізнес-процесу можна призупинити у випадку невідповідності обмеженням і потім знову відновити.

Узагальнена модель вирішення задачі у складі поточного прецеденту охоплює рівні послідовностей подій, дискретного та інтервального представлень:

$$P = \{\theta, P_{dis}, P_{int}, F\}, \quad (36)$$

де  $F$  – функція перетворення елементів різних рівнів моделі, що задається виразами (24), (33), (34).

*Метод виявлення інтервалів очікування ресурсів при виконанні наскрізного бізнес-процесу* направлений на врахування можливостей несвоєчасного виконання дій бізнес-процесу на основі аналізу скоригованого прецеденту-аналога. Несвоєчасне виконання дій бізнес-процесу зазвичай пов'язане з існуванням прихованих інтервалів очікування при доступі до ресурсів, наприклад, виробничого обладнання, виконавців тощо. Такі затримки не включаються до складу послідовності дій в моделі наскрізних бізнес-процесів «to be». Причиною появи інтервалів очікування, як правило, є блокування ресурсів іншими процесами. У граничному випадку можливе взаємне блокування ресурсів декількома взаємодіючими наскрізними бізнес-процесами, що вимагає втручання власника в хід його виконання. Тому для знаходження інтервалів очікування виявляються залежності між найменуванням та значенням атрибутів з одного боку та діями і інтервалами очікування з іншого.

Вхідними параметрами методу є дані про дії  $d_l$  та інтервали очікування  $w_{l+1}$  з множини послідовностей подій  $\theta$ , що мають властивості із множини  $A_i$ .

Метод передбачає виконання таких етапів.

Етап 1. Відбір підмножин властивостей  $A_i^*$ , які забезпечують виконання необхідної умови переходу  $d_l \succ w_{l+1}$ :

$$\exists A_i^* = A_{i+1}^* : (\forall i \forall j) v_{a_{i,j}} \neq v_{a_{i+1,j}} \mid e_i \succ e_{i+1}, \quad (37)$$

$$\Rightarrow d_l \succ p_{l+1} \vee p_l \succ w_{l+1} \vee p_l \succ q_{l+1} \vee w_l \succ p_{l+1} \vee q_l \succ p_{l+1},$$

де  $e_i, e_{i+1}$  – послідовно виконані на шляху реалізації бізнес-процесу події (без проміжних подій між ними);  $A_i^* \subset A_i, A_{i+1}^* \subset A_{i+1}$  – підмножини атрибутів, зміна значень яких свідчить про завершення поточної дії або інтервалу очікування,  $A_i^*$ ;

$a_i \in A_i^*, a_{i+1,j} \in A_{i+1}^*$  – атрибути подій  $e_i$  та  $e_{i+1}$  на поточній траєкторії бізнес-процесу;  $v_{a_{i,j}}, v_{a_{i+1,j}}$  значення  $j$ -их атрибутів  $i$ -ї та  $(i+1)$ -ї послідовних подій  $v_{a_i^j} \in V_j, v_{a_{i+1}^j} \in V_{j+1}$ ;  $p_l, p_{l+1}$  – послідовно виконані дії поточного екземпляру бізнес-процесу  $p_l, p_{l+1} \in P$ ;  $w_l, w_{l+1}$  – очікування ресурсів на  $l$ -му та  $(l+1)$ -му кроках бізнес-процесу відповідно;  $w_l, w_{l+1} \in W$ ;  $q_l, q_{l+1}$  – очікування зовнішнього по відношенню до процесу запиту на  $l$ -му та  $(l+1)$ -му кроках процесу відповідно  $q_l, q_{l+1} \in Q$ ;  $P$  – множина всіх дій поточного екземпляра процесу;  $W$  – множина всіх інтервалів очікування ресурсів поточного екземпляра бізнес-процесу;  $Q$  – множина всіх інтервалів очікування запитів на обслуговування поточного екземпляру бізнес-процесу.

Мінімальний набір атрибутів визначається структурою подій множини  $\theta$  і не залежить від предметної області. Набір може бути розширений при наявності додаткових атрибутів подій логу.

Умова (37) дозволяє перейти від подієвого представлення бізнес-процесу  $P_{dis}$  в формі однієї або декількох трас із множини  $\theta$  до інтервального представлення  $P_{int}$ , при якому в часовий інтервал включається декілька подій, що відповідають одній дії бізнес-процесу.

Етап 2. Відбір підмножин значень властивостей  $V_j^*$ , які забезпечують виконання достатньої умови переходу  $p_l \succ w_{l+1}$ . Дана умова має вигляд:

$$(\forall j) v_{a_{i,j}} \neq v_{a_{i+1,j}} \mid e_i \succ e_{i+1}, \quad (38)$$

де  $e_i$  та  $e_{i+1}$  – послідовні у часі події;  $V_j^* \subseteq V_j, V_{j+1}^* \subseteq V_{j+1}$  – підмножини значень властивостей подій  $e_i$  та  $e_{i+1}$ , які свідчать про перехід між діями і інтервалами очікування,  $v_{a_{i,j}} \in V_j^*, v_{a_{i+1,j}} \in V_{j+1}^*$  – значення властивості.

Набір значень атрибутів залежить від предметної області.

Етап 3. Відбір таких підмножин подій з трас логу, для яких виконуються необхідні і достатні умови (37) і (38) переходу до інтервалу очікування ресурсів.

Етап 4. Формування дерева рішень, яке зв'язує набір значень властивостей події з переходом від дій до інтервалів,  $p_l \succ w_{l+1}$ . Альтернативна реалізація даного етапу полягає у формуванні множини асоціативних правил, що вказують ознаки такого переходу.

Етап 5. Формування підмножини пар  $(e_i, w_{l+1})$ , що відображають зв'язок подій бізнес-процесу з інтервалом очікування.

В результаті виконання методу формується підмножина подій, які містить інформація про інтервали очікування.

Метод побудови інтервальної моделі наскрізного бізнес-процесу дозволяє



доповнити інтервалами очікування ресурсів моделі бізнес-процесів, отримані традиційними методами Process Mining, що створює можливості для підвищення ефективності управління наскрізними бізнес-процесами за рахунок усунення «вузьких місць» в результаті аналізу залежностей інтервалів очікування від попередніх дій взаємопов'язаних наскрізних бізнес-процесів.

Запропонований метод заснований на визначенні відношень послідовного, паралельного або незалежного виконання між окремими діями бізнес-процесу, або групами таких дій. Вхідними даними для методу є дані про інтервали очікування, отримані по результатам методу *виявлення інтервалів очікування ресурсів*.

Метод передбачає виконання таких етапів.

Етап 1. Побудова множини інтервалів подій, які відповідають одній і тій же дії для всіх трас бізнес-процесу:

$$A = \{\alpha_{i,j}\}, \alpha_{i,j} = [e_i, e_j]^{\{|e_{k,i}, e_{k,j}\|}}, \quad (39)$$

де  $A$  – множина всіх інтервалів подій в журналі;  $e_i, e_j$  – граничні події інтервалу без визначення траси, до якої вони належать;  $e_i, e_j$  – граничні події інтервалу на трасі  $\pi_k$ ;  $\{|e_{k,i}, e_{k,j}\|$  – кількість повторень інтервалу подій.

При вирішенні задачі оцінки тривалості бізнес-процесу на даному етапі множина інтервалів доповнюється значеннями тривалості інтервалів  $\tau_{i,j}$ :  
 $A' = \{\alpha_{i,j}, \tau_{i,j}\}$ .

Етап 2. Побудова підмножини інтервалів подій, які відображають пари послідовних дій бізнес-процесу відповідно до ознаки наявності впорядкованих пар подій. Множину пар послідовних інтервалів подій також визначимо з урахуванням їх кількості в журналі подій:

$$A^N = \langle \alpha', \alpha'' \rangle = \{ [e_i, e_j], [e_j, e_l]^{\{|e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}\|} \mid \{|e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}\|} > 1 \}, \quad (40)$$

де  $A^N$  – підмножина пар послідовних інтервалів;  $e_i, e_j, e_l$  – крайні події послідовних інтервалів;  $e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}$  – крайні події послідовних інтервалів з визначенням траси;  $e_j$  – крайня подія, яка належить обом інтервалам

Обмеження  $\{|e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}\|} > 1$  показує, що послідовність дій повинна повторюватися, тобто вона повинна бути зафіксована щонайменше на двох трасах логу.

Очевидно, що тривалість пари послідовних інтервалів подій представляє суму часу виконання окремих інтервалів.

Етап 3. Побудова підмножини інтервалів подій, які відображають пари паралельних дій: розгалуження  $A^{split}$  і з'єднання  $A^{join}$ :

$$A^{split} = \{ \alpha' \parallel \alpha'' \}_{split} = ([e_i, e_j], [e_i, e_m])^{\{|e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,m}\|}}, \quad (41)$$

$$A^{join} = \{\alpha' \parallel \alpha''\}_{join} = ([e_i, e_j], [e_l, e_j])^{\{e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l}\}}. \quad (42)$$

Етап 4. Побудова набору  $A^\#$  підмножин інтервалів подій, які відображають пари незалежних дій бізнес-процесу, для яких не виконується умова паралельності (4150). На даному етапі формуються множини  $A^{\#split}$  і  $A^{\#join}$  аналогічного етапу 3:

$$\alpha' \parallel \alpha'' \Leftrightarrow \alpha' = \exists [e_{k,i}, e_{k,j}] \wedge [e_{s,j}, e_{s,i}] | e_{k,i}, e_{k,j} \in E_k, e_{s,j}, e_{s,i} \in E_s, s \neq j), \quad (43)$$

де  $\alpha', \alpha''$  – інтервали на трасах логу, які відповідають паралельним діям бізнес-процесу;  $E_k, E_s$  – множини подій з різних трас бізнес-процесу.

Етап 5. Формування інтервальної моделі шляхом встановлення зв'язків між інтервалами подій з множин  $A^N, A^{split}, A^{join}, A^{\#split}, A^{\#join}$ . Зв'язок між інтервалами встановлюється в разі збігу граничних подій в обох інтервалах.

Етап 6. Доповнення моделі транзитивними послідовними інтервалами відповідно до ознаки послідовного виконання:

$$\langle \alpha', \alpha'' \rangle \Leftrightarrow \alpha' = [e_{k,i}, e_{k,j}] \Rightarrow \alpha'' = [e_{k,j}, e_{k,l}] | \exists (e_{k,i}, e_{k,j}, e_{k,l} \in E_k), \quad (44)$$

де  $e_{k,j}$  – загальна гранична подія для обох інтервалів;  $e_{k,j}$  – множина подій траси  $\pi_k$ .

На даному етапі в моделі визначаються такі пари послідовних дій, між якими є проміжні дії. Це дозволяє при подальшому аналізі знайти «вузькі місця» бізнес-процесу, які призводять до затримок виконання.

Етап 7. Доповнення моделі часовими оцінками підмножини інтервалів подій, які відображають пари послідовних дій бізнес-процесу (38), паралельних дій (39), (40) та незалежних дій бізнес-процесу (41).

Метод дозволяє, шляхом складання тривалості інтервалів для різних трас, провести оцінювання тривалості виконання наскрізного бізнес-процесу при реалізації прецедентного управління такими процесами.

**У п'ятому розділі** запропоновано метод адаптації прецеденту наскрізного бізнес-процесу з урахуванням часу його виконання, метод прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів, що реалізують контур прецедентного управління наскрізними бізнес-процесами та інформаційна технологія прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси.

*Метод адаптації прецеденту наскрізного бізнес-процесу з урахуванням часу його виконання* використовує множину послідовностей подій  $\theta$ , що відображає лог бізнес-процесу. Метод передбачає виконання таких етапів

Етап 1. Формування множини послідовностей подій  $\theta^{smp}$ , елементи якої відповідають ресурсним обмеженням.

На цьому етапі з вхідної множини  $\theta$  видаляються всі траси  $\pi_k$ , які містять інформацію про ресурси, відсутні в даний час на підприємстві. Вхідна множина властивостей подій задається множиною пар  $\{(a, v)\}$ , де  $a$  – назва властивості;  $v$  –

значення властивості.

Результуюча множина має вигляд:

$$\begin{aligned} \theta^{smp} &= \{\pi_k \mid \exists e_{k,i} = \{(a^e, v^e)\}\} \\ &\{(a^e, v^e)\} \cap \{(a, v)\} \neq \emptyset, \end{aligned} \quad (45)$$

де  $\theta^{smp}$  – спрощений лог бізнес-процесу;  $a^e$  – назва однієї з властивостей події  $e_{k,i}$  бізнес-процесу;  $v^e$  – значення відповідної властивості.

Етап 2. Формування інтервальної моделі наскрізного бізнес-процесу з використанням методу побудови інтервальної моделі.

Кожна траса множини  $\theta^{smp}$  містить усю послідовність подій, що відображають повне одноразове виконання наскрізного бізнес-процесу:

$$\begin{aligned} \pi_k &= \langle E_k, \succ \rangle, E_k = \{e_{k,i}\}, \\ \forall e_{k,i}, e_{k,j} \in E_k \quad (e_{k,i} \succ e_{k,j}) \vee (e_{k,j} \succ e_{k,i}), \end{aligned} \quad (46)$$

де  $\pi_k$  –  $k$ -а траса бізнес-процесу;  $E_k$  – множина подій на трасі бізнес-процесу;  $e_{k,i}$  –  $i$ -а подія траси  $\pi_k$ ;  $\succ$  – відношення переходу. Наявність відношення переходу між двома подіями  $e_{k,i}$  та  $e_{k,j}$  означає, що між ними немає проміжних подій. Результатом виконання етапу 2 є модель, яка містить інтервали очікування ресурсів.

Етап 3. Визначення сумарної тривалості інтервалів очікування доступу до ресурсів  $\tau_i^{wt}$  для кожної з можливих трас  $\pi_k$  виконання бізнес-процесу  $T_i = \sum_{j=1}^N t_{jl}^{i(wt)}$ .

На цьому етапі використовуються вхідні дані у вигляді інтервалів, які пов'язані з подіями бізнес-процесу.

Етап 4. Формування обмежень на час виконання нового наскрізного бізнес-процесу  $Vp_i$ , у вигляді комбінацій властивостей об'єктів/замовлень, що обробляються наскрізним бізнес-процесом. Такі властивості представлені в описі подій логу  $\theta = \{\pi_k\}$ ,  $k = \bar{1}, \bar{K}$ .

Етап 5. Проведення адаптації моделі процесу шляхом видалення таких шляхів (трас) вирішення задачі, які не відповідають отриманим на етапі 4 обмеженням. Модель процесу за результатами цього етапу повинна відповідати логу  $\theta = \{\pi_k\}$ ,  $k = \bar{1}, \bar{K}$ .

Етап 6. Визначення підмножини можливих траєкторій ( $\pi_k$ ) досягнення кінцевого стану процесу «рішення» задачі. Така траєкторія може бути знайдена в результаті аналізу вхідних даних як лог, так і моделі (16).

Етап 7. Визначення часу досягнення фінального стану виконання бізнес-процесу за його поточним станом.

Результатом реалізації методу є розрахунковий час завершення бізнес-процесу.

Розроблено метод прецедентного управління наскрізними бізнес-процесами

шляхом оперативного коригування пріоритетів їх доступу до ресурсів з урахуванням обмежень на час їх виконання. Метод дає можливість мінімізувати час очікування ресурсів на множині прецедентів наскрізних бізнес-процесів, що виконуються на підприємстві в момент розрахунку.

Згідно з постановкою задачі прецедентного управління у формі «just in time», є можливість використати затримки  $\delta T^c$  для виконання нових бізнес-процесів при врахуванні наступного обмеження:

$$\min(\sum_i \tau_i^{wt}) \text{ if } \forall Bp_i \left| \tau_i - \tau_i^{\max} \right| < \varepsilon, \quad (47)$$

де  $\varepsilon \rightarrow 0$  відхилення у строках виконання наскрізних бізнес-процесів.

При цьому функція оцінювання часу  $C_i$  очікування ресурсів  $i$ -ї послідовності дій бізнес-процесу має наступний вигляд:

$$C_i = \begin{cases} \sum_{j=1}^I \tau_i - \tau_i^{\max} + \tau_{ij}^{wt} \left| \tau_i < \tau_i^{\max} \right. \\ \sum_{j=1}^J (\tau_i - \tau_i^{\max} - \tau_{ij}^{wt})^2 \left| \tau_i > \tau_i^{\max} \right. \end{cases}, \quad (48)$$

де  $\tau_i^{\max}$  – обмеження на час виконання  $i$ -го наскрізного бізнес процесу  $Bp_k$ , що задаються особою, яка приймає рішення (ОПР);  $\tau_i$  – час виконання  $i$ -го процесу  $Bp_k$  за результатами оптимізації використання ресурсів, без урахування обмежень  $\tau_i^{\max}$ ;  $\tau_{ij}^{wt}$  – час очікування  $j$ -го ресурсу  $i$ -ю послідовністю дій процесу  $Bp_k$ .

Дана функція визначає величину «штрафів» при відхиленні строків виконання наскрізних бізнес-процесів від запланованих. Несвоєчасне виконання оцінюється пропорційно квадрату відхилення, оскільки призводить до несвоєчасної поставки замовникові результатів наскрізних бізнес-процесів і, як наслідок, до суттєвих додаткових втрат на підприємстві. Більш швидке виконання процесів оцінюється пропорційно значенню відхилення, оскільки призводить до менш ефективного використання ресурсів на підприємстві, однак не впливає на ключову характеристику, за якою оцінюються наскрізні бізнес-процеси, – ступінь задоволення клієнта. У випадку несвоєчасного виконання наскрізного бізнес-процесу необхідно підвищувати пріоритети доступу цього процесу до ресурсів  $r_j$  з метою зменшення часу затримки  $\tau_{ij}^{wt}$ . У випадку дострокового виконання,  $Bp_i$  навпаки, потрібно знизити пріоритети доступу процесу до ресурсів  $r_j$  для того, щоб звільнити обладнання для обробки можливих додаткових задач (нових заказів від клієнтів).

Запропонований метод передбачає виконання таких етапів.

Етап 1. Початковий розрахунок затримок виконання  $\Delta_i$  для кожної допустимої послідовності дій  $wf_i$  кожного  $Bp$ , що виконується на підприємстві в момент

розрахунку:

$$\Delta_i = \begin{cases} |\tau_i - \tau_i^{\max}| & \text{if } \Delta_i > \varepsilon, \\ 0 & \text{if } \Delta_i < \varepsilon. \end{cases} \quad (49)$$

Етап 2. Вибір наскрізного бізнес-процесу, що має послідовність дій з максимальним значенням показника  $\Delta_i$ .

Етап 3. Вибір ресурсу  $r_j$  для зміни пріоритету доступу для бізнес-процесу  $Bp_i$  за критерієм:

$$\begin{aligned} \min_j |\tau_i - \tau_i^{\max} - \tau_{ij}^{wt}| & \text{if } \tau_i > \tau_i^{\max}, \\ \min_j |\tau_i - \tau_i^{\max} + \tau_{ij}^{wt}| & \text{if } \tau_i < \tau_i^{\max}. \end{aligned} \quad (50)$$

Етап 4. Встановлення максимально можливого пріоритету  $Pr_j^i$  використання ресурсу  $r_j$  процесом  $Bp_i$  відповідно до виразу:

$$Pr_j^i = \begin{cases} 1, & \text{if } \forall Bp_k \Delta_i > \Delta_k, \\ \min(Pr_j^k) - 1 & \text{if } \exists Bp_k : \Delta_i < \Delta_k. \end{cases} \quad (51)$$

Етап 5. Зміна пріоритетів інших наскрізних бізнес-процесів за умови  $Pr_j^i \geq Pr_j^k$ .

Етап 6. Поточний розрахунок  $\Delta_i$  для всіх наскрізних бізнес-процесів, що виконуються.

Етап 7. Перевірка умови  $\Delta_i < \varepsilon$  для поточного наскрізного бізнес-процесу. Якщо умова виконується, то перехід до етапу 2.

Етап 8. Перевірка множини ресурсів, які використовує поточний бізнес-процес. Якщо всі ресурси розглянуто, то відбувається визначення поточного бізнес-процесу як такого, що не задовольняє обмеженням.

Етап 9. Перевірка множини наскрізних бізнес-процесів з  $\Delta_i > 0$ . Якщо не всі процеси розглянуто, то перейти до етапу 2.

В результаті застосування методу встановлюються пріоритети, що визначають послідовність використання ресурсу наскрізними бізнес-процесами.

*Інформаційна технологія прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси, представлена на рис. 3.*

Технологія містить у собі етапи відбору прецедентів для цих бізнес-процесів, адаптації таких прецедентів з урахуванням часу виконання процесів, коригування інтервальних моделей, а також вибору підмножини наскрізних бізнес-процесів, які не виконують обмеження по часу виконання, та управління наскрізними процесами з використанням адаптованих прецедентів.

Технологія дозволяє упорядкувати доступ бізнес-процесів до спільних ресурсів з тим, щоб задовільнити обмеження на час завершення цих бізнес-процесів.

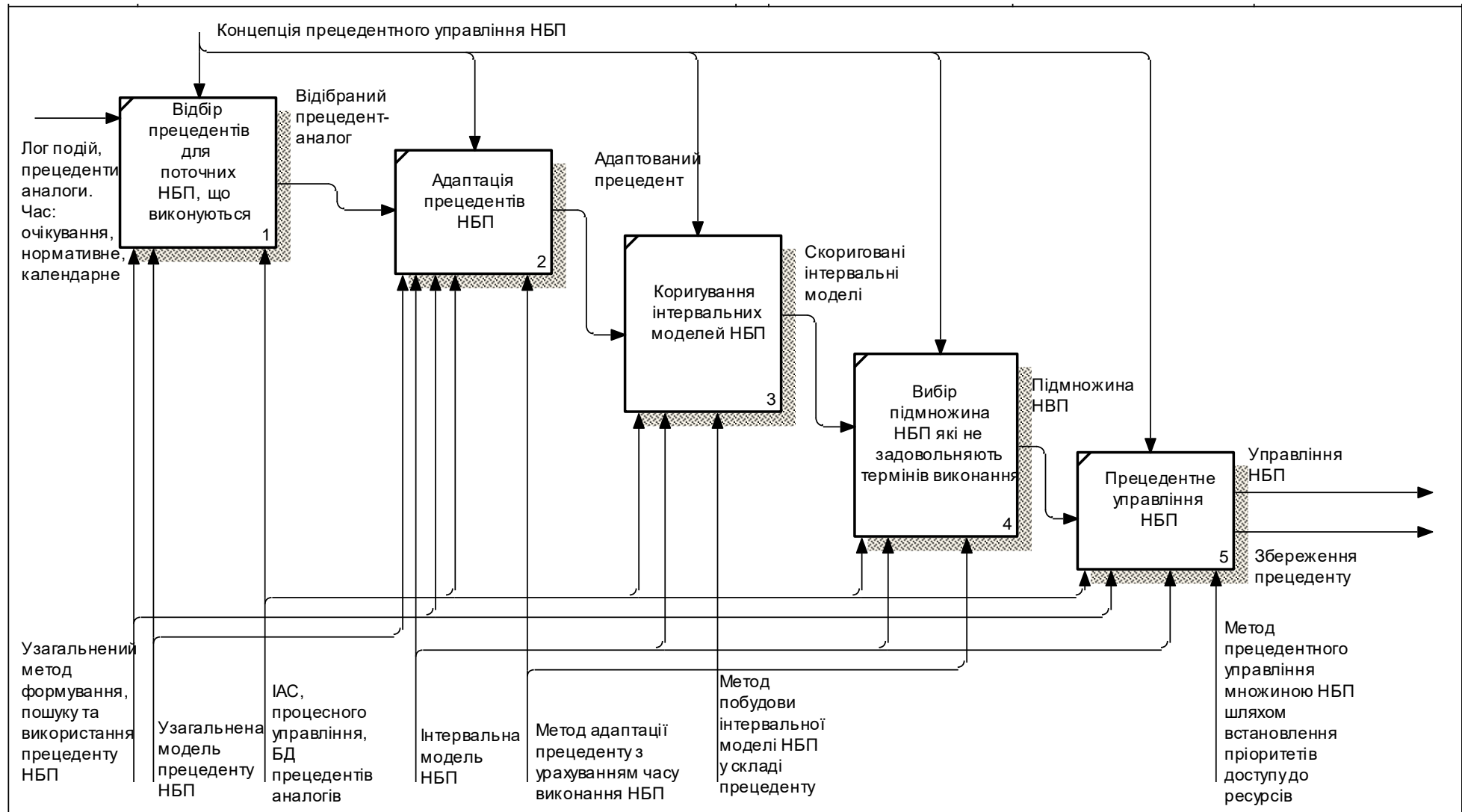


Рисунок 3 – Інформаційна технологія прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів

У шостому розділі наведено результати апробації та впровадження запропонованих методів, моделей та інформаційних технологій при прецедентному управлінні наскрізними бізнес-процесами з використанням розробленого модуль підтримки прецедентного управління. Модуль встановлює послідовності доступу до спільних ресурсів цих процесів у відповідності до постановки задачі (1) з тим, щоб запобігти фінансових втрат в результаті штрафів від замовників внаслідок несвоєчасного виконання їх замовлень.

Результати дослідження впроваджені при управлінні наскрізними бізнес-процесами на підприємствах у галузях поліграфії та розробки програмного забезпечення.

Впровадження розроблених методів, моделей та інформаційних технологій на поліграфічному підприємстві «Юнісофт» забезпечило підвищення ефективності процесного управління, що відображено у акті впровадження. Порівняння результатів прецедентного управління і традиційного оперативного управління наскрізними бізнес-процесами для групи з десяти замовлень представлено на рис. 4.

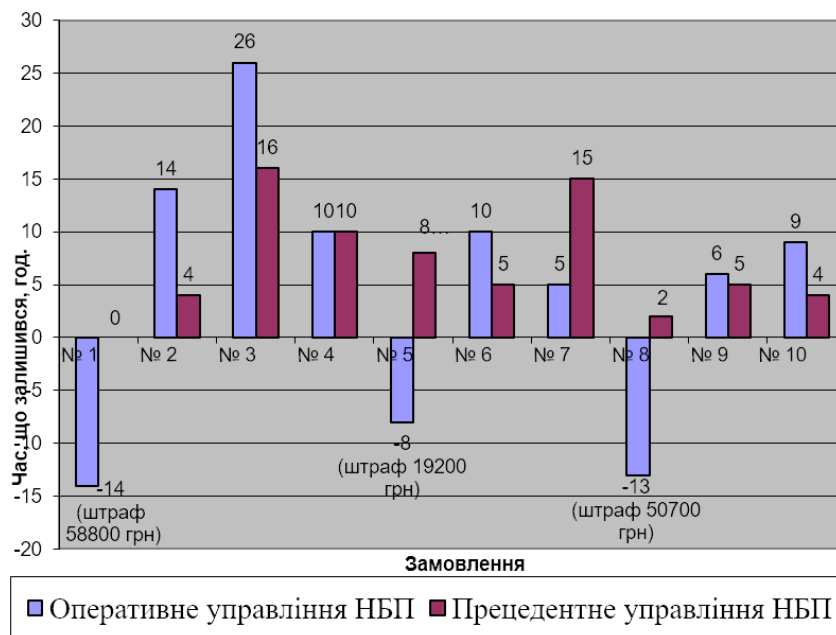


Рисунок 4 – Порівняння оперативного та прецедентного управління наскрізними бізнес-процесами

Використання прецедентного управління забезпечило своєчасне виконання наскрізних бізнес-процесів, тоді як при використанні лише контуру оперативного управління бізнес-процесами 3 процеси завершилися би із запізненням, що привело б до суттєвих фінансових втрат внаслідок штрафних санкцій. Отриманий в результаті використання двоконтурного управління резерв часу складає не менше 8% від загального часу виконання бізнес-процесів, що дає можливість розширити портфель замовлень та реалізувати додаткові процеси при використанні тих же спільних ресурсів.

Впровадження технології прецедентного управління при розробці групи програмних проектів з комплексної автоматизації страхових компаній забезпечило скорочення витрат часу на реалізацію таких проектів з рахунок раціонального використання трудових ресурсів. Зменшення витрат часу при одночасному виконанні робіт за п'ятьма проектами відображено на рис. 5.



Рисунок 5 – Скорочення витрат часу на виконання програмних проектів при використанні прецедентного управління

Застосування розроблених методів і моделей, що використовують прецедентний підхід, дало можливість скоротити витрати часу на виконання кожного проекту від 10% до 22%.

У додатках наведено список публікацій здобувача, акти впровадження результатів дисертаційної роботи, результати реалізації розроблених інформаційних технологій.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота має теоретичне значення й містить нові, обґрунтовані результати, які розв'язують важливу науково-прикладну проблему створення концептуальних основ, методів, моделей та інформаційних технологій управління наскрізними бізнес-процесами підприємства на основі прецедентного підходу для підвищення ефективності процесного управління в умовах обмежень на час виконання бізнес-процесів та використання спільних ресурсів цими процесами.

Основні наукові та практичні результати роботи полягають у такому.

1. Проведено аналіз існуючих підходів, моделей та методів управління бізнес-процесами. Визначено ключові властивості множини наскрізних бізнес-процесів як процесів зі змінною тривалістю і змінною послідовністю дій, які функціонують в оточенні аналогічних бізнес-процесів і конкурують з ними за спільні ресурси, що ускладнює використання традиційних підходів до процесного управління та свідчить



про важливість розробки методів та технологій управління сукупністю наскрізних бізнес-процесів підприємства.

2. Розроблено концепцію двоконтурного управління наскрізними бізнес-процесами. Згідно даної концепції, традиційний контур оперативного управління окремими наскрізними бізнес-процесами доповнюється контуром прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів підприємства, що використовують спільні ресурси. Використання другого контуру управління дає можливість зменшити затримки бізнес-процесів при доступі до спільних ресурсів, що створює умови для завершення в строк всієї сукупності наскрізних бізнес-процесів підприємства.

3. Удосконалено категорно-функторну модель життєвого циклу бізнес-процесів підприємства. Модель, на відміну від існуючих, описує послідовність випуску продукції підприємством як єдину систему типових взаємодіючих бізнес-процесів із визначеними цілями та результатами. Категорно-функторна модель дає можливість враховувати цілі та результати системи бізнес-процесів при реалізації прецедентного процесного управління.

4. Отримала подальший розвиток логічна модель множини наскрізних бізнес-процесів. Модель, на відміну від існуючих, містить набір можливих послідовностей дій, які забезпечують досягнення цілей процесів, а також правила виконання цих дій, що враховують доступність ресурсів бізнес-процесу. Модель забезпечує можливість побудови прецедентів бізнес-процесів у формі послідовностей дій з ресурсними обмеженнями та подальшого використання цих прецедентів для управління множиною наскрізних бізнес-процесів.

5. Отримала подальший розвиток узагальнена модель прецеденту наскрізного бізнес-процесу. Модель, на відміну від існуючих, містить у собі множину варіантів виконання бізнес-процесу. Кожен з цих варіантів представляється у вигляді послідовності подій як результатів виконання робіт процесу із заданою множиною обмежень для кожного варіанту, а також множиною локальних результатів. Модель дає можливість адаптувати прецедент при управлінні бізнес-процесами шляхом послідовного вибору підмножини результатів та варіантів вирішення задачі відповідно до поточних обмежень предметної області.

6. Удосконалено узагальнений метод формування, пошуку та використання прецеденту наскрізного бізнес-процесу. Метод, на відміну від існуючих, містить у собі етапи вибору прецеденту відповідно до цілі та очікуваного результату наскрізного бізнес-процесу, а також адаптації моделі прецеденту з урахуванням поточних ресурсних обмежень, що створює умови для реалізації прецедентного управління сукупністю взаємопов'язаних наскрізних бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси.

7. Вперше запропоновано інтервальну модель наскрізного бізнес-процесу як рішення задачі в складі прецеденту. Модель об'єднує множину послідовностей подій, що відображають виконання дій процесу і множину послідовностей інтервалів часу, які відповідають діям процесу. Модель дає можливість підвищити ефективність

управління наскрізними бізнес-процесами на основі врахування прогнозної тривалості виконання бізнес-процесів та обмежень на час завершення цих процесів.

8. Вперше запропоновано метод побудови інтервальної моделі наскрізного бізнес-процесу. Метод містить етапи формування множини інтервалів подій, що відповідають діям процесу, множин послідовних та паралельних дій, об'єднання множин інтервалів та доповнення отриманої моделі часовими оцінками інтервалів подій, що дає можливість врахувати інтервали очікування ресурсів при реалізації прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів.

9. Удосконалено метод виявлення інтервалів очікування ресурсів при виконанні наскрізного бізнес-процесу. Метод, на відміну від існуючих, передбачає відбір підмножин атрибутів подій, які забезпечують виконання умов переходу до очікування ресурсів, та формування дерева рішень, яке зв'язує набір значень атрибутів з переходом, що дозволяє виявити можливості несвоєчасного виконання дій бізнес-процесу і тим самим забезпечити скорочення затримок при його виконанні.

10. Вперше запропоновано метод адаптації прецеденту наскрізного бізнес-процесу з урахуванням часу його виконання. Метод залишає у складі прецеденту послідовності дій бізнес-процесу, які дозволяють досягти результату процесу при заданих ресурсних обмеженнях та обмеженнях на час виконання наскрізного бізнес-процесу. Метод дає можливість реалізувати прецедентне управління наскрізними бізнес-процесами з урахуванням затримок доступу до спільних ресурсів підприємства.

11. Вперше запропоновано метод прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів шляхом встановлення пріоритетів у використанні спільних ресурсів на основі обчислення часу відхилень від строків завершення бізнес-процесів внаслідок затримок при доступі до ресурсів. Метод дає можливість підвищити ефективність процесного управління за рахунок виконання додаткових процесів на спільних ресурсах підприємства при задоволенні обмежень на час виконання сукупності наскрізних бізнес-процесів.

12. Розроблено інформаційні технології побудови прецедентів наскрізних бізнес-процесів та прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси. Розроблені технології використовують запропоновані моделі наскрізних бізнес-процесів та прецедентів таких процесів, методи їх побудови, а також методи, що забезпечують реалізацію управління сукупністю наскрізних бізнес-процесів з використанням прецедентів. Технології забезпечують реалізацію управління наскрізними бізнес-процесами шляхом встановлення послідовності доступу до спільних ресурсів з урахуванням часу завершення кожного з цих процесів.

13. Розроблено модуль підтримки прецедентного управління, що реалізує запропоновані інформаційні технології та дає можливість зменшити сумарні затримки доступу до ресурсів підприємства. Результати дисертаційної роботи впроваджені: у поліграфічному підприємстві «Юнісофт» (акт впровадження від

10.09.17, економічний ефект 60000 грн.); у ТОВ «ПрофІТсофт», (акт впровадження від 03.07.2020 р.); в АТ «НДІ лазерних технологій», (акт впровадження від 18.11.16 р.); в освітній процес Харківського національного університету радіоелектроніки (акт впровадження від 14.05.21 р.). Впровадження у виробництво розроблених інформаційних технологій забезпечило скорочення трудових витрат й витрат часу на 8% у галузі поліграфічного виробництва на підприємстві «Юнісофт», та більше ніж на 10% у галузі розробки програмного забезпечення для страхових компаній, у ТОВ «ПрофІТсофт», а також зниження ризиків появи вузьких місць через уточнення ролей їх власників у АТ «НДІ Лазерних технологій», що підтверджено відповідними актами впровадження.

## СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Чалый С.Ф., Левыкин И.В. Методы, модели и информационные технологии процессного управления полиграфическим производством: монография. Х.: ФОП Панов А.М., 2017. 252 с.

2. Chalyi S., Levykin I., Biziuk A., Vovk A., Bogatov Ie. 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. № 2/3 (104). P. 22-29. (Scopus).

3. Petrichenko A., Levykin I., Iuriev I. Improvement of the method of selecting it-services for the operated information. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. № 2/2 (110). P. 32-43. (Scopus).

4. Chalyi S., Levykin I. Guryev I. Model and technology for prioritizing the implementation end-to-end business processes components of the green economy. Acta Innovations. ISSN 2300-5599. Poland, 2020. no. 35. P. 65-80.

5. Левыкин И.В. Алгоритм выбора и корректировки модели прецедента-аналога в задачах управления бизнес- процессами. Вісник НТУ «ХП». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології. Х.: НТУ «ХП», 2016. № 42 (948). С. 17-22.

6. Левыкин И.В. Математическая модель жизненного цикла выпуска полиграфической продукции. Вісник академії митної служби України, серія «Технічні науки». Дніпропетровськ, 2013. № 1 (49). С. 103-110.

7 Левыкин И.В. Модель жизненного цикла фаз управления бизнес-процессов. Проблемы информационных технологий. 2016. № 1 (013). С. 150-158.

8. Левыкин И.В. Метод синтеза технологии process mining и средств имитационного моделирования. Технологія і техніка друкарства КП. Киев, 2016. № 2 (52). С. 73-80.

9. Левыкин И.В. Метод выбора аналога информационной системы управления полиграфическим предприятием. Вісник академії митної служби України, серія «Технічні науки». Дніпропетровськ, 2016. № 1. С. 56-64.

10. Левыкин И.В. Разработка обобщенной модели процесса решения задачи с интервальным представлением времени. Бионика интеллекта. 2016. № 2 (87). С. 64-69.

11. Левыкин И.В. Обобщенный алгоритм и программная платформа получения решения по приоритетам запуска бизнес-процессов. Бионика интеллекта. 2019. 2 (93). С. 47-52.

12. Левыкин И.В., Логвиненко А.В. Критерии оценки выбора автоматизированной системы управления полиграфическим предприятием. Восточно-европейский журнал передовых технологий. 2009. № 2/2 (38). С. 44-47.

13. Левыкин И.В., Куц И.А. Реализация задачи загрузки оборудования методом теории расписания в MES-системах. Вост.-Европ. журн. передовых технологий. 2011. № 1/10. С. 26-28.

14 Chalyi S., Levykin I. Identification of the standby intervals in the business processes based on analysis of the sequence of events. Technology audit and production reserves. 2016. Vol. 5. № 2 (31). P. 71-76.

15 Левыкин И.В., Хорошевский А.И. Моделирование процесса выбора СУС для разработки удаленной информационной аналитической издательской системы. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер.: Нові рішення в сучасних технологіях. 2013. № 11. С. 65-80. .

16. Левыкин И.В., Мазур И.В. Разработка имитационной модели технологического производства с использованием средства Arena. Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер.: Нові рішення в сучасних технологіях. 2014. № 7. С. 63-67. .

17. Левыкин В.М., Чалый С.Ф., Левыкин И.В. Логическая модель бизнес-процессов в АИС. Нові технології. Науковий вісник інституту економіки та нових технології. Кременчук, 2003. Вып. 2. С. 58-61.

18. Левыкин И.В., Логвиненко Е.В. Разработка динамической модели технологического процесса с использованием Enterprise Dynamics. Новые технологии: Научный вестник КУЭИТУ. 2008. №3 (21). С. 67-71.

19. Левыкин И.В., Логвиненко Е.В. Инструментальное средство Enterprise Dynamics реализации функциональных задач управления полиграфического производства. АСУ и приборы автоматики. 2008. № 144. С. 131-135.

20. Левыкин И.В., Логвиненко Е.В. Критерии оптимизации полиграфических процессов средствами имитационного моделирования. Технологія і техніка друкарства. 2010. Вып. 4. С. 68-74.

21. Левыкин И.В., Хорошевский А.И. Разработка метода определения функциональности информационной удаленной издательской системы. Проблеми інформаційних технологій. 2013. № 2. С. 50-54

22. Левыкин И.В., Хорошевский А.И. Прикладная информационная технология подсистемы удалённого взаимодействия с клиентами. АСУ и приборы автоматики. 2013. Вып. 165. С 59-64.

23. Левыкин И.В., Хорошевский А.И. Разработка модели формирования динамического пакета заказов в информационной удалённой издательской системе. Комп'ютерні технології друкарства. Львів : Українська академія друкарства, 2014. № 30. С.33-41. .

24. Чалый С.Ф., Левыкин И.В. Разработка обобщенной процессной модели прецедента, метода его формирования и использования. Управляющие системы и машины. УСиМ, Международный научно-учебный центр информационных технологий и систем НАН и МОН Украины, Киев, 2016. №3. С. 23-28.

25. Чалый С.Ф., Левыкин И.В. Разработка подхода к формированию процессной модели решения задачи в составе прецедента с интервальным представлением времени. Вісник ХНТУ. 2016. № 4 (59). С. 212-217.

26. Чалий С.Ф., Левикін І.В. Метод адаптивного процесного управління на основі прецедентного підходу. Наукоємні технології. 2016. № 4. С. 410-414.

27. Чалий С.Ф., Левикін І.В. Метод побудови інтервальної моделі процесу вирішення задачі в складі прецеденту на основі аналізу журналу подій. Наукові праці ВНТУ. 2016. №4. С. 1-8.

28. Chalyi S., Levykin I., Petrychenko A., Bogatov I. Causality-based model checking in business process management tasks. IEEE 9th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies DESSERT. 2018. P. 453-458. doi: 10.1109/DESSERT.2018.8409176. (Scopus).

29. Chalyi S., Levykin I., Information technology for the implementation of case-law management of end-to-end business processes / Computer and information systems and technologies: Fourth International Scientific and Technical Conference. Kharkiv: NURE. 2020. P. 54-55.

30. Левыкин И.В. Моделирование фаз управления бизнес-процессами. Международна научна конференция Украина – Бългaрия – Европейски Съюз: Съвременно състояние и перспективи: сборник с доклади от международна научна конференция. Том 1. Вар 37. На: Издательство «Науки и икономика», 2016. С. 98-103.

31. Левыкин И.В. Особенности процедуры выбора информационной системы полиграфического производства. Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-ОДЕСА-2016): Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (20-22 вересня 2016 р., Одеса). 2016. С. 238-240.

32. Левыкин И.В. Исследование технологий, средств моделирования и реинжиниринга бизнес-процессов. Полиграфические, мультимедийные и web-технологии: Тез. докл. 1-й Межд. народ. науч.-техн. конф. (16-20 мая 2016 г., Харьков). 2016. Т. 1. С. 43-44.

33. Левыкин И.В. Исследование функционального и процессного подходов

управления полиграфическим предприятием. Информационные системы и технологии: материалы 5-й Международ. науч.-техн. конф. (12-17 сентября 2016 г., Харьков): тезисы докладов. Х.: НТМТ, 2016. С. 269-270.

34. Левыкин И.В. Метод формирования, выбора, корректировки и сохранения прецедентов. Проблемы інформатики та комп'ютерної техніки: Матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. Чернівці, 2016. С. 157-159.

35. Левыкин И.В. Инструментальное средство установления приоритетов выполнения процессов «Советчик ОПР». Інформаційні системи та технології в медицині (ІСМ-2019): зб. наук. пр. II Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: Нац. аерокосм. ун-т ім. М. С. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. С. 192-194.

36. Левыкин И.В. Информационная технология реализации процессного управления БП на базе прецедентов. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: Матеріали IV міжнар. наук.-практ. конф. Харків, 2020. Т. 1. С. 92-93.

37. Левикін І.В. Технологія визначення пріоритетів виконання наскрізних бізнес-процесів в поліграфії. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: Матеріали V міжнар. наук.-практ. конф. Київ, 2020. С. 100-102.

38. Чалый С.Ф., Левикін І.В. Концепція двоконтурного управління множини наскрізних бізнес-процесів на основі прецедентного підходу. Поліграфічні, мультимедійні та web-технології: Матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. Львів, 2018. С. 288-290.

39. Ткаченко В.Ф., Попов А.В., Ефанов А.В., Левыкин И.В., Логвиненко Е.В. Математическая модель задачи определения номенклатуры продукции полиграфического предприятия с учетом производственных и рыночных факторов. Наука и образование: Сб. трудов по материалам II Международного научно-методического семинара. Дубай, 2011. С. 331.

40. Левыкин И.В., Логвиненко Е.В. Оптимизация производства при помощи имитационного моделирования технологических процессов. Автоматика – 2010: Сб. тезисов по материалам 17 Международной конференции по автоматическому управлению. Харьков, 2010. С. 52-53.

41. Чалый С.Ф., Левыкин И.В. Метод формирования процессной модели решения задачи с интервальным представлением времени. Інформаційні управляючі системи та технології (ІУСТ-ОДЕСА-2017): Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (20-22 вересня 2017 р., Одеса). 2017. С. 238-240.

42. Левыкин И.В., Хорошевский А.И. Исследование способов выбора удалённой информационной аналитической издательской системы для полиграфического предприятия. Информационные системы и технологии: Материалы международной научно-технической конференции (22-29 сентября 2012 г., Харьков). Х: ХНУРЭ, 2012. С. 121.

43. Левыкин И.В., Логвиненко Е.В. Разработка информационной технологии

оперативного управління заказами полиграфического предприятия. Информационные системы и технологии: Сб. материалов Международной конференции. Морское-Харьков, 2012. С. 128.

44. Левыкин И.В., Андропова Е.С. Использование систем виртуализации и доставки приложений на удаленные клиенты в издательских системах. Информационные системы и технологии ИСТ-2013: Материалы 2-й международной научно-технической конференции (16-22 сентября 2013 г., Харьков). Х.: ХНУРЭ, 2013. С. 148-149.

45. Левыкин И.В., Хорошевский А.И. Информационные технологии для реализации подсистемы удалённого взаимодействия с клиентами. Информационные системы и технологии ИСТ-2014: Материалы 3-й международной научно-технической конференции (15-21 сентября 2014 г., Харьков). 2014. С. 186-187.

46. Чалый С.Ф., Левыкин И.В. Синтез Process mining и Enterprise Dynamics при моделировании процессов. XIV конференция по физике высоких энергий ядерной физике и ускорителям ННЦ ХФТИ: Материалы конференции. 2016. С. 81.

47. Чалый С.Ф., Левыкин И.В. Концепция процессного управления на основе прецедентного подхода. Информационные системы и технологии: материалы 6-й Международ. науч.-техн. конф. (11-16 сентября 2017 г., Харьков). Х.: НТМТ, 2017. С. 247-248.

## АНОТАЦІЯ

Левикін І.В. Методи, моделі та інформаційні технології управління наскрізними бізнес-процесами підприємства. – Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Харківський національний університет радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України, Харків, 2021.

Дисертація присвячена вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми створення концептуальних основ, методів, моделей та інформаційних технологій управління наскрізними бізнес-процесами підприємства на основі прецедентного підходу для підвищення ефективності процесного управління в умовах обмежень на час виконання бізнес-процесів та використання спільних ресурсів цими процесами.

Вперше запропоновано метод прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів, який встановлює послідовність використання спільних ресурсів для таких процесів з тим, щоб зменшити відхилення у часі від строків їх завершення внаслідок затримок при доступі до цих ресурсів, що дає можливість підвищити ефективність процесного управління за рахунок виконання додаткових процесів при задоволенні обмежень на час виконання сукупності наскрізних бізнес-процесів.

Вперше запропоновано метод побудови інтервальної моделі наскрізного бізнес-процесу, який містить у собі етапи формування множини інтервалів подій, що відповідають діям процесу, побудови множин послідовних та паралельних дій,

об'єднання множин інтервалів та формування часових оцінок інтервалів подій, що дає можливість врахувати інтервали очікування ресурсів при реалізації прецедентного управління наскрізними бізнес-процесами.

Вперше запропоновано інтервальну модель наскрізного бізнес-процесу як рішення задачі в складі прецеденту, яка містить опис дій процесу у вигляді множини послідовностей подій та множини послідовностей інтервалів часу виконання цих дій, що дає можливість підвищити ефективність управління наскрізними бізнес-процесами на основі врахування невідповідності між прогнозованою тривалістю виконання бізнес-процесів та обмеженням на час завершення цих процесів.

Вперше запропоновано метод адаптації прецеденту наскрізного бізнес-процесу з урахуванням часу його виконання, який залишає у складі прецеденту лише ті послідовності дій, які дозволяють виконати процес при заданих обмеженнях на час його виконання та ресурсних обмеженнях, що дає можливість реалізувати прецедентне управління наскрізними бізнес-процесами з урахуванням затримок доступу до спільних ресурсів підприємства.

Удосконалено категорно-функторну модель життєвого циклу бізнес-процесів, яка, на відміну від існуючих, визначає цикл випуску продукції підприємства як єдину систему типових взаємодіючих бізнес-процесів, що дає можливість визначити цілі та результати таких процесів для реалізації прецедентного процесного управління.

Удосконалено узагальнений метод формування, пошуку та використання прецеденту наскрізного бізнес-процесу, який, на відміну від існуючих, містить у собі етапи вибору прецеденту відповідно до цілі та очікуваного результату наскрізного бізнес-процесу, а також адаптації прецеденту з урахуванням ресурсних обмежень, що створює умови для реалізації прецедентного управління множиною взаємопов'язаних наскрізних бізнес-процесів.

Удосконалено метод виявлення інтервалів очікування ресурсів с наскрізного бізнес-процесу, який, на відміну від існуючих, передбачає відбір підмножин атрибутів подій, які відображають перехід бізнес-процесу до очікування ресурсів, та формування дерева рішень, яке зв'язує набір значень атрибутів з переходом, що дозволяє виявити можливості несвоєчасного виконання дій бізнес-процесу і тим самим забезпечити скорочення затримок при його виконанні.

Отримала подальший розвиток логічна модель множини наскрізних бізнес-процесів, яка, на відміну від існуючих, враховує не лише набір можливих послідовностей дій, що забезпечують досягнення цілей процесів, але й правила виконання цих дій з урахуванням доступу до ресурсів, що створює умови для побудови прецедентів бізнес-процесів у формі послідовностей дій з ресурсними обмеженнями та подальшого використання цих прецедентів для управління множиною наскрізних бізнес-процесів.

Отримала подальший розвиток узагальнена модель прецеденту наскрізного бізнес-процесу, яка, на відміну від існуючих, містить у собі множину варіантів



вирішення функціональної задачі у вигляді послідовності подій як результатів виконання робіт процесу із заданою множиною обмежень для кожного варіанту, а також множину локальних результатів, кожен з яких відповідає одному варіанту вирішення задачі, що дає можливість адаптувати прецедент при управлінні бізнес-процесами шляхом послідовного вибору підмножини результатів та одного з варіантів вирішення задачі відповідно до поточних обмежень предметної області.

Розроблено та впроваджено інформаційні технології побудови прецедентів наскрізних бізнес-процесів та прецедентного управління множиною наскрізних бізнес-процесів, що використовують спільні ресурси. Технології забезпечують реалізацію управління наскрізними бізнес-процесами шляхом встановлення послідовності доступу до спільних ресурсів з урахуванням часу завершення кожного з цих процесів.

**Ключові слова:** інформаційна технологія, наскрізні бізнес-процеси, інформаційна система процесного управління, прецедент, журнал подій, прецедентне управління.

## ANNOTATION

Levykin I.V. Methods, models and information technologies for managing end-to-end business processes of an enterprise. - Manuscript. Thesis for the degree of Doctor of Technical Sciences, specialty 05.13.06 on information technology. Kharkiv National University of Radio Electronics of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to the solution of the actual scientific and applied problem of creation of conceptual bases, methods, models and information technologies of management of end-to-end business processes of the enterprise on the basis of precedent approach for efficiency increase of process management in the conditions of restrictions on time of business processes and the usage of mutual resources by these processes.

For the first time, a method of precedent management of multiple end-to-end business processes has been proposed, which establishes the sequence of using shared resources for such processes in order to reduce time deviations from their completion due to delays in accessing these resources additional processes while meeting the constraints on the execution time of a set of end-to-end business processes.

For the first time, a method of constructing an interval model of a end-to-end business process is proposed, which includes stages of forming a set of event intervals corresponding to process actions, constructing sets of consecutive and parallel actions, combining sets of intervals and forming time estimates of event intervals that allows taking into account expectations of resources intervals in the implementation of precedent management of end-to-end business processes.

For the first time, an interval model of an end-to-end business process was proposed

as a solution to a problem in the precedent, which contains a description of process actions in the form of a set of events and a set of time intervals of these actions, the duration of business processes and the time limit for the completion of these processes.

For the first time, a method of adapting the precedent of an end-to-end business process considering the time of its execution is proposed, which leaves in the precedent only those sequences of actions that allow the process to be performed considering delays in access to shared resources of the enterprise.

The categorical-functional model of the life cycle of business processes has been improved, which, unlike the existing ones, defines the production cycle of the enterprise as a single system of typical interacting business processes, which allows to determine the goals and results of such processes for precedent process management.

Improved generalized method of forming, finding and using the precedent of the end-to-end business process, which, unlike existing ones, includes stages of selecting the precedent according to the purpose and expected result of the end-to-end business process, as well as adapting the precedent to resource constraints to implement case management of many interconnected end-to-end business processes.

Improved the method of identifying resource waiting intervals from the end-to-end business process, which, unlike existing ones, involves selecting subsets of event attributes that reflect the transition of the business process to resource waiting, and forming a decision tree that links the set of attribute values to the transition, which allows you to identify opportunities for late execution of business processes and thus ensure the reduction of delays in its execution.

The logical model of many end-to-end business processes has been further developed, which, unlike existing ones, considers not only a set of possible sequences of actions that ensure the achievement of process goals, but also the rules of these actions taking into account access to resources business processes in the form of sequences of actions with resource constraints and the subsequent use of these precedents to manage many end-to-end business processes.

The generalized model of precedent of end-to-end business process which, unlike existing, contains set of variants of the decision of a functional problem in the form of sequence of events as results of performance of works of process with the set of restrictions for each variant, and also set of local results, received further development of which corresponds to one variant of solving the problem, which makes it possible to adapt the precedent in business process management by sequentially selecting a subset of results and one of the variants of solving the problem in accordance with the current limitations of the subject area.

Information technologies for building precedents of end-to-end business processes and precedent management of many end-to-end business processes using common resources have been developed and implemented. Technologies provide the implementation of end-to-end business process management by establishing a sequence of access to shared

resources, considering the completion time of each of these processes.

**Keywords:** information technology, end-to-end business processes, process management information system, precedent, event log, case management.