

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет

**ОКСАНИЧ ІРИНА ГРИГОРІВНА**

УДК 004.9:681.518:519.876

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ  
ДИНАМІЧНОГО РОЗПОДІЛУ ВИКОНАВЧИХ РЕСУРСІВ  
В ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ**

05.13.06 – інформаційні технології

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

Вінниця – 2021

Дисертацією є кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Робота виконана в Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського Міністерства освіти і науки України.

**Науковий консультант:** доктор технічних наук, професор  
**Шевченко Ігор Васильович**,  
Кременчуцький національний університет імені  
Михайла Остроградського, професор кафедри  
автоматизації та інформаційних систем

**Офіційні опоненти:** доктор технічних наук, професор  
**Бісікало Олег Володимирович**,  
Вінницький національний технічний  
університет, декан факультету  
комп'ютерних систем і автоматики;

доктор технічних наук, професор  
**Павленко Петро Миколайович**,  
Національний авіаційний університет,  
завідувач кафедри механіки;

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

Захист відбудеться "09" квітня 2021 р. о 15-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д05.052.01 у Вінницькому національному технічному університеті за адресою: 21021 м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК, ауд. 210.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Вінницького національного технічного університету за адресою: 21021, м. Вінниця, вул. Хмельницьке шосе, 95, ГНК.

Автореферат розісланий «05» березня 2021 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради



С. М. Захарченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Обґрунтування вибору теми дослідження.** Одним з ключових моментів у питаннях, що пов'язані з функціонуванням і розвитком організаційно-технічних систем (ОТС), є удосконалення організаційних процесів. В сучасному світі вирішення цих питань стає все більш трудомістким завданням, оскільки під впливом процесів глобалізації та діджиталізації вимоги до ефективності ОТС зростають, а їх складність та ступінь розподіленості росте. В таких умовах для підвищення ефективності ОТС актуальним є удосконалення інформаційних технологій управління виконавчими ресурсами. Значний вклад у розвиток теорії управління системами зі складною структурою внесли сучасні дослідники О. А. Павлов, С. Ф. Теленик, Е. Г. Петров, В. І. Гриценко, І. В. Кузьмін, В. М. Дубовой, В. П. Разбегин та інші. Методологічні основи системного синтезу складних систем різного призначення заклали А. А. Тимченко, якій сформулював основні принципи та аксіоми системного проектування об'єктів нової техніки.

Щодо керування ОТС, в існуючих моделях не враховується можливість динамічного розподілу завдань між виконавцями з урахуванням їхньої компетентності та мінливих умов перебігу процесів, тому застосування класичних методів і засобів керування потоками бізнес-процесів на даний час не дає вагомого поліпшення ефективності ОТС. У зв'язку з цим останнім часом все більше робіт присвячено розробці інтелектуальних систем управління ресурсами. У роботах М. Вулдрідж (M. Wooldridge), П. Валкенаерса (P. Valckenaers), В. І. Городецького, П. Летао (P. Leitao), Н. Дженнінгса (N. Jennings) і Г.А. Ржевського (G. Rzevski) показано, що такого роду складні завдання можуть ефективно вирішуватися на основі мультиагентних технологій. Сучасні підходи до управління ресурсами на основі мультиагентних технологій пропонуються в роботах В. М. Буркова, І. А. Каляєва, М. В. Губко, П. Ю. Чеботарьова, Д. А. Новикова, А. Л. Фрадкова, А. Н. Швецова, О. Н. Гранічіна, В. А. Вітгіха, М. Pinedo. Проте проблему динамічного розподілу виконавчих ресурсів у рамках організаційно-технічних систем, як і раніше, не вирішено.

Одним із значних резервів підвищення ефективності ОТС є застосування програмних агентів, які виконують бізнес-операції під керівництвом людини. Однак наявний інструментарій моделювання бізнес-процесів не має достатньої функціональності, щоб у повній мірі забезпечити виконання даної задачі. Причиною цього є відсутність достатньо обґрунтованої методології побудови технологій, які застосовують ієрархічну систему програмних агентів та динамічний розподіл виконавчих ресурсів у організаційно-технічних системах. Отже, розробка питань взаємодії людей-виконавців з багаторівневою системою програмних агентів в організаційно-технічних системах залишається в даний час маловивченим напрямком і вимагає подальшого дослідження. Сказане вище дозволяє констатувати протиріччя між: існуванням складних ОТС, де реалізується множина бізнес-процесів різ-

них типів з великою розмірністю інформаційного та операційного простору; складною динамікою багатозадачного виконання множини бізнес-процесів; зростаючими вимогами до ефективності ОТС; неможливістю за допомогою існуючих моделей, методів та інформаційних технологій забезпечити максимальну ефективність ОТС. Це призводить до необхідності розробки методології та інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованих ОТС.

Таким чином, розробка методологічних основ та інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів у організаційно-технічних системах є актуальною науково-прикладною проблемою.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дисертаційне дослідження проводилося згідно з планами науково-дослідних робіт кафедри автоматизації та інформаційних систем Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського, в тому числі в межах госпдоговірних робіт, а саме: №406/18–«ІУС–ВК» від 29.01.2018 р. «Розробка регламенту та моделей функціонування системи електронного документообігу виконавчого комітету»; №417/18–«ІУС–ВК2» від 11.05.2018 р. «Розробка програмного забезпечення для маршрутизації та моніторингу проходження електронних документів виконавчого комітету»; бюджетних тем за рахунок другої половини робочого часу «Розробка теоретичних основ динамічного формування виконавчих структур у організаційно-технічних системах (державний реєстраційний номер 0120U101153), «Дослідження і розробка методів, моделей та інтелектуальних технологій електронного документообігу територіально-розподілених підприємств» (державний реєстраційний номер 0114U003990), при виконанні яких автор приймала участь як виконавець.

**Мета і завдання дослідження.** Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності функціонування організаційно-технічних систем шляхом створення методологічно обґрунтованої інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів під час виконання бізнес-процесів. Досягнення мети дозволить знизити витрати часу і коштів, збалансувати навантаження робочих місць.

Відповідно до мети були поставлені й вирішені такі основні задачі дослідження:

1. Аналіз тенденцій розвитку методологій побудови інформаційних систем, умов, що впливають на ефективність функціонування організаційних систем, а також методів розподілу виконавчих ресурсів.

2. Формування концепції та підходів до побудови методологічних засад динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованих організаційно-технічних системах.

3. Розробка комплексу моделей операційного простору організаційно-технічної системи та комплексу моделей формування компетенції програмного агента, якій виконує бізнес-операції.

4. Розробка комплексу формальних критеріїв оцінки ефективності бізнес-операцій і бізнес-процесів, що реалізуються спільно людиною і програмним агентом в організаційно-технічній системі.

5. Розробка адаптивної стратегії управління чергами в автоматизованих організаційно-технічних системах та методу динамічного розподілу виконавчих ресурсів під час виконання бізнес-операцій.

6. Розробка комплексу моделей взаємодії програмних агентів, моделей розпізнавання ситуацій і правил прийняття рішень для усунення критичних ситуацій в організаційно-технічній системі.

7. Побудова методологічно обґрунтованої інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в організаційно-технічній системі.

8. Імітаційне моделювання та дослідження властивостей системи маршрутизації бізнес-процесів.

9. Практична реалізація системи моніторингу і диспетчеризації та аналіз результатів впровадження отриманих теоретичних і технологічних засобів.

**Об'єктом дослідження** є процеси організаційного управління та розподілу виконавчих ресурсів, що реалізують бізнес-процеси у рамках організаційно-технічних систем.

**Предметом дослідження** є моделі та методи динамічного розподілу виконавчих ресурсів під час виконання бізнес-процесів.

**Методи дослідження.** Дисертаційне дослідження базується на системному аналізі результатів сучасних теоретичних і прикладних розробок вітчизняних та іноземних вчених в області розробки автоматизованих систем. Під час вирішення поставлених задач використані методи системного аналізу і загальної теорії систем при розробці концептуальних основ методології синтезу виконавчих структур; теоретико-множинний підхід та теорію кінцевих автоматів – при розробці комплексу моделей для відображення опису бізнес-процесу в операційний простір організаційно-технічної системи і моделей динаміки функціонування елементів ОТС; методи штучного інтелекту та теорії мов – при розробці комплексу моделей формування компетенції інтелектуального агента та моделі взаємодії агентів різних ролей у процесі виконання бізнес-операцій; методи теорії множин та логіки висловлювань – при розробці моделей розпізнавання ситуацій і діагностики помилок виконання бізнес-операцій на рівні АРМ й на рівні ОТС; методи адаптивного випадкового пошуку і еволюційних алгоритмів – при оптимізації параметрів стратегії керування чергами у організаційно-технічних системах; методи імітаційного моделювання – при практичній реалізації моделей динамічного розподілу виконавчих ресурсів у ОТС.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Основний науковий результат дисертації полягає у створенні теоретичних і прикладних основ інформаційної та технологічної підтримки процесів динамічного розподілу виконавчих ресурсів у автоматизованих організаційно-технічних системах для підвищення ефективності та забезпечення надійності виконання бізнес-операцій та бізнес-процесів.

Наукові результати, отримані в дисертаційній роботі, полягають у наступному:

***вперше запропоновано:***

– комплекс моделей формування компетенції програмного агента, який, на відміну від існуючих, містить модель анкетної мови, концептуальну та формаль-

ну модель інтерпретації словосполучень, модель визначення найбільше значимих аспектів бізнес-операції, що дозволяє швидко формувати різні компетенції агентів;

– комплекс моделей розпізнавання ситуацій і правил прийняття рішень для усунення критичних ситуацій на рівні монітора робочих місць та на рівні диспетчера організаційно-технічної системи, які відрізняються від існуючих тим, що в них, крім поточних значень ознак, використовуються послідовності подій та ключові словосполучення, що супроводжують виконання операцій. Це дозволяє підвищити надійність виконання бізнес-процесів і реалізувати інформаційну технологію динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованій організаційно-технічній системі;

***удосконалено:***

– методологію створення інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в організаційно-технічних системах шляхом формулювання та застосування принципу конвергенції онтологій предметної області та системи управління і принципу рефлексивного переходу та його формалізованого опису, що дає можливість схематизувати та прискорити процес синтезу складових інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів;

– комплекс моделей інформаційного простору організаційно-технічної системи за рахунок формування динамічних моделей багатофазного обслуговування заявок на виконання бізнес-операцій з урахуванням часових показників, що дає можливість обліку та моніторингу зміни станів множин робочих місць, бізнес-процесів і бізнес-операцій;

– комплекс критеріїв оцінки ефективності бізнес-операцій і бізнес-процесів, що реалізуються спільно людиною та ботом за рахунок введення сукупності формальних ознак показників операцій, окремих вартісних оцінок часу функціонування людини і бота та обліку ймовірності успішного виконання операції за відведений нормативами час, що дає можливість динамічного прогнозного оцінювання ефективності обробки заявок на виконання бізнес-операцій і адаптивної зміни траєкторії руху бізнес-процесу в умовах мінливої операційної обстановки;

– метод адаптації стратегії управління чергами в автоматизованій організаційно-технічній системі шляхом застосування еволюційного алгоритму і таблиці прийняття рішень щодо поточної ситуації, що дає можливість при зміні розподілу вхідних потоків вибрати найкращі умови багатофазного обслуговування в процесі випадкового надходження заявок на виконання бізнес-процесів відомих класів;

***отримали подальший розвиток:***

– метод динамічного розподілу заявок за рахунок послідовного відбору вузлів з максимальною компетентністю, ранжування черг за критерієм ціни затримки і урахування критичних ситуацій в вузлах, що дає можливість здійснювати оптимальний динамічний розподіл виконавчих ресурсів в організаційно-технічній системі;

– модель взаємодії агентів трьох рівнів у складі автоматизованої ОТС за рахунок урахування множини функцій виконання, моніторингу та диспетчеризації і відношень відповідних ролей в процесі виконання бізнес-операцій, що дає можли-

вість здійснювати контроль завантаження АРМ, довжину черг, діагностику збоїв і динамічний розподіл по АРМ заявок на виконання бізнес-операцій.

**Практичне значення отриманих результатів.** Отримані у дисертації результати розробки інформаційної технології дозволяють підвищити ефективність виконання бізнес-процесів, як на рівні окремих автоматизованих робочих місць, так і на рівні організаційно-технічних систем за рахунок розроблених моделей і методів автоматизації та динамічного розподілу виконавчих ресурсів, зокрема:

- запропоновані в роботі моделі, методи та алгоритми динамічного розподілу завдань на виконання випробувальних експериментів, обробки і оформлення результатів впроваджені у Випробувальному центрі продукції вагобудування ДП «УкрНДІВ», що підтверджено відповідним актом впровадження від 14 квітня 2020 року;

- запропонована у роботі адаптивна стратегія управління чергами в організаційно-технічних системах впроваджена на ПРАТ НТЦ «Інформаційні системи» (акт впровадження від 21.02.2020 р.);

- програмні модулі моніторингу та маршрутизації пройшли випробування та рекомендовані до впровадження у системі електронного документообігу виконавчого комітету м. Кременчука (акт випробувань від 27.11.2018 р.);

- результати дисертаційних досліджень у вигляді системи моніторингу та диспетчеризації процесів виробництва впроваджено на ООО «Статус» (акт впровадження від 10.07.2020 р.);

- наукові та науково-методичні розробки дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі при викладанні дисциплін «Теорія автоматизованих систем контролю та управління», «Мультиагентні системи та технології підтримки прийняття рішень», «Імітаційне моделювання виробничих систем» (акт впровадження від 03.04.2020 р).

Одержані теоретичні результати відкривають можливість науково обґрунтованого розв'язання актуального кола прикладних задач, пов'язаних з автоматизацією обробки поточкових бізнес-процесів на основі методології динамічного розподілу виконавчих ресурсів та автоматизації бізнес-процесів.

**Особистий внесок здобувача.** Автор самостійно сформулював мету і завдання дослідження, виконав теоретичну і практичну частину роботи. Сформульовані в дисертації наукові результати, висновки та рекомендації належать особисто автору і є його науковим внеском. У роботах, опублікованих у співавторстві дисертанту належать: [2] – етапи і принципи методології синтезу адаптивних виконавчих структур; [3] – комплекс моделей багатофазного обслуговування заявок; [4] – комплекс критеріїв оцінки ефективності бізнес-операцій і бізнес-процесів, що реалізуються спільно людиною та ботом та метод динамічного розподілу виконавчих ресурсів; [5] – концептуальна онтологічна модель проблемної області синтезу структури керованої виконавчої системи; [6] – модель розпізнавання ситуацій і правила прийняття рішень для усунення критичних ситуацій; [7] концептуальна і формальна моделі інтерпретації словосполучень; [8] – адаптивна стратегія управління чергами в організаційно-

технічних системах та метод її оптимізації; [9] – модель взаємодії агентів різних ролей у складі організаційно-технічної системи; [12], [13] – чисельно-аналітичний підхід до використання вартісної інтерпретації вхідних і вихідних продуктів операції, що дозволяє створити показник ефективності, який є локальним ідентифікатором якості цільових операцій та процедури його верифікації; [14] – метод оцінки результатів операційного процесу; [15] – правила визначення області допустимих значень вартісних оцінок для вихідних продуктів бізнес-операції; [16] – багаторівнева структура оцінювання якості процесів [17], [18] – стратегія розподілу ресурсів та метод визначення граничних значень області ефективних управлінь; [19] – алгоритм верифікації критеріїв; [20] – формування вартісної оцінки операційного процесу; [21] – модель спеціалізованого сервісу організаційно-технічної системи; [22] – структура системи моніторингу та диспетчеризації; [23] – алгоритм визначення оптимальної траєкторії процесу.

**Апробація матеріалів дисертації.** Основні наукові положення та результати роботи доповідались і обговорювались на: VI Міжнародній науково-практичній конференції «Напівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка», Кременчук, 2020 р.; VII Всеукраїнській науково-практичній конференції «ІТ-Перспектива», Кременчук, 2020 р.; VI Міжнародній науково-практичній конференції «Інформаційні технології та взаємодії», Київ, 2019 р.; IV Всеукраїнській науково-практичній конференції «Перспективні напрями сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем», Дніпро, 2019 р.; XVIII Міжнародній науково-технічній конференції «Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів», Кременчук, 2019 р.; VIII Міжнародній науково-технічній конференції «Інформаційні системи і технології», Харків-Коблеве, 2019 р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Комп'ютерні технології і мехатроніка», Харків, 2019 р.; Міжнародній науковій конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту», Залізний порт, 2019 р.; IX Міжнародній науково-технічній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», Чернігів, 2019 р.; VI Всеукраїнській науково-практичній конференції «ІТ-Перспектива», Кременчук, 2019 р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку», Переяслав-Хмельницький, 2019 р.; IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering (UKRCON-2019) Львів, 2019 р.; IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology (ELNANO-2019), Київ, 2019 р.; V Міжнародній науково-практичній конференції «Напівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка», Кременчук, 2018 р.; V Всеукраїнській науково-практичній конференції «ІТ-Перспектива», Кременчук, 2018 р.; IV International Scientific and Practical Conference, Stockholm, Sweden, October 12–16, 2020 р.

**Публікації.** Результати дисертації опубліковані в 38 друкованих працях, у тому числі, 22 статті в спеціальних наукових виданнях (8 статей опубліковані у виданнях, що входять до міжнародної наукометричної бази Scopus) і 15 робіт – у збірниках праць міжнародних і національних конференцій (2 роботи опубліковані у матеріалах Scopus-конференцій).



**Структура та обсяг дисертації.** Дисертація складається з анотації, вступу, шести розділів, висновків, списку використаних джерел із 300 найменувань на 32 сторінках та одного додатку на 7 сторінках. Загальний обсяг роботи становить 348 сторінок, з них 309 сторінок основного тексту, що включає 50 рисунків і 19 таблиць (з них 4 рисунка і 6 таблиць на 10 окремих сторінках).

## **ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ**

**У вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету і задачі дослідження, викладено наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, показано зв'язок дисертаційної роботи з науковими темами, представлено відомості про апробацію результатів і публікацію матеріалів дисертації.

**У першому розділі** проведено аналіз існуючих методів і технологій керування організаційно-технічними системами, який показав, що:

- потреба гарантованого виконання множини бізнес-операцій у встановлені терміни вступає у протиріччя з обмеженнями технологічних і організаційних можливостей ОТС. Для усунення цієї проблеми необхідно формувати гнучку автоматизовану структуру, що адаптується в процесі надходження чергових бізнес-процесів. В такій структурі необхідно реалізувати інформаційну технологію взаємодії людей-виконавців з багаторівневою системою програмних агентів;
- окремою проблемою є вибір та синтез показників ефективності, за допомогою яких можна враховувати вклад людини-виконавця та вклад бота в виконання бізнес-операції, тому для об'єктивної оцінки якості виконання бізнес-процесу на множині АРМ необхідний комплекс показників, що враховує ці фактори;
- оскільки автоматизована ОТС є по суті складною багатоканальною системою масового обслуговування, для якої не можна сформулювати аналітичну модель та аналітичні рішення, необхідно вирішити проблему розробки адаптивної стратегії управління чергами заявок в реальних ОТС.

Аналіз відомих моделей, методів і засобів керування бізнес-процесами показав, що вони не розв'язують проблему динамічного розподілу завдань в ОТС. У цій ситуації проблема підвищення ефективності ОТС має бути трансформована у проблему створення та впровадження методологічних основ та інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів у організаційно-технічних системах.

**У другому розділі** розроблено і представлено концептуальні основи методології створення гнучких багатоагентних структур і розподілу виконавчих ресурсів. Сформульовано етапи методології, а також принципи методології.

Етап 1. Формування набору основних принципів методології.

Етап 2. Формування метамоделі онтології предметної області (ПрО).

Етап 3. Формування метамоделі онтології системи управління ОТС.

Етап 4. Стратифікація онтологій і визначення точок конвергенції вказаних вище онтологій на кожній страті.

Етап 5. Побудова метамоделі вимог до системи, що проектується.

Етап 6. Побудова схеми рефлексивних переходів, кожний з яких є відображенням певного етапу побудови ієрархії системи моделей.

Етап 7. Формування основних методологічних концепцій, що відображають основу логічної схеми проектування.

Етап 8. Розробка структурних, функціональних та інформаційних моделей, що забезпечують конвергенцію та узгодження онтологій предметної області і системи управління.

Етап 9. Розробка моделей, методів і алгоритмів реалізації цільової функції системи що синтезується.

Етап 10. Розробка інформаційної технології, яка вирішує поставлене завдання.

В набір основних принципів методології входять

*Принцип ієрархічності.* Найважливіша особливість ієрархічності як закономірності полягає в тому, що і цілісність, і якісні зміни властивостей компонентів вищого рівня ієрархії виявляються на кожному рівні ієрархії. Якщо навіть між елементами одного рівня ієрархії немає явних зв'язків між собою, то вони все одно взаємозалежні через рівень, що розташований вище. Таке трактування ієрархічності цілком відповідає запропонованим принципам конвергенції онтологій і рефлексивних переходів.

*Принцип конвергенції онтологій.* Задача системного синтезу повинна вирішуватися при взаємопроникненні (конвергенції) двох онтологій – онтології ОТС, яка розкриває предметну область як сукупність сутностей і їх взаємозв'язків і онтології управління, як сукупності активних сутностей та їх взаємозв'язків, що забезпечують оптимальне протікання бізнес-процесів в ОТС. Конвергенція здійснюється поетапно, на декількох онтологічних рівнях, кожен з яких є сукупністю кількох аспектів з множини  $A$ . Позначивши  $O_q$  онтологію рівня  $q$ , запишемо

$$O_q = \bigcup_{z=1}^{Z_q} A_{qz}, \quad q = \overline{1..Q}, \quad z = \overline{1..Z_q}, \quad (1)$$

де  $A_{qz}$  –  $z$ -й аспект онтології рівня  $q$ .

Аналізуючи аспект  $A_{q-1}$  рівня  $q-1$ , розглядаємо його в різних аспектах рівня  $q$ , наприклад,  $A_{q1}$  і  $A_{q2}$ . При цьому  $A_{q1} = A_{q-1} \cap C_1$ ;  $A_{q2} = A_{q-1} \cap C_2$ , де  $C_1$  і  $C_2$  – семантичні обмеження аспектів. Перехід від аспекту  $A_{q1}$  до аспекту  $A_{q2}$  відбувається шляхом повернення до аспекту  $A_{q-1}$ , тобто на попередній рівень онтології. Саме при осмисленні на попередньому рівні формуються обмеження  $C_1$  і  $C_2$ . Таким чином, ми приходимо до принципу рефлексивних переходів між рівнями онтології.

*Принцип рефлексивних переходів.* Рефлексивний процес аналізу і синтезу відобразимо як послідовність станів  $\Omega_\gamma$ ,  $\gamma = \overline{1..G}$ , в кожному з яких відбувається рефлексивний перехід на черговий рівень онтології проблемної області:

$$\Omega_\gamma = \Pi \times \bigcup_{q=1}^{\gamma} \omega_q(O_{q-1}), \quad (2)$$

де  $\Pi$  – реальний плацдарм проблемної області;  $\omega_q$  – оператор модельної інтерпретації онтології рівня  $q$ :

$$\omega_q : D_q(O_{q-1} \times M_{q-1}) \rightarrow M_q, \quad (3)$$

де  $D_q$  – оператор декомпозиції рівня  $q$  на аспекти;  $M_q$  – множина моделей рівня  $q$ , кожна з яких відображає певний аспект відносин між сутностями онтології рівня  $q$ .

У свою чергу, аспекти і моделі піддаються мисленній обробці і перетворюються в аспекти та моделі наступного рівня, і так доки не будуть побудовані логічні, функціональні і алгоритмічні структури, що становлять у своїй сукупності і взаємозв'язку інформаційну технологію.

У сукупність принципів також увійшли: принцип необхідної різноманітності; принцип синергізму; принцип множинності уявлень; принцип підтримки гомеостазу; принцип динамічної цілісності.

Побудовано метамодель онтології діяльності ОТС, що здійснює множину бізнес-процесів:

$$O_1 = \langle BP(A), T, X(D^X), S(SI), Y, Z, Q \rangle, \quad (4)$$

де  $BP$  – образ бізнес-процесу (БП), що визначає функцію буферизації на вході, функції обробки вихідного продукту і функцію буферизації готового продукту на виході;  $A$  – атрибути БП;  $T = \{t_l, l = \overline{1, L}\}$  – множина дискретних моментів часу перебігу БП;  $X = \{x_j(t) | x_j(t) \in D^{X_j}, j = \overline{1, J}\}$ ,  $t \in T$  – вхідний продукт;  $D^X = \{D^{X_j}, j = \overline{1, J}\}$  – області допустимих значень показників якості вхідного продукту;  $S = \{S_t: S_t = f(S_{t-1}, U, X), U \in D^U, X \in D^X, t \in T\}$  – множина станів БП;  $SI = \{SI_t: SI_t = \varphi(S_t), t \in T\}$  – множина параметрів, що характеризують стан БП;  $Y = \{y_m(t), m = \overline{1, M}\}$ ,  $t \in T$ ,  $y_m(t) = \eta_m(t, S_t)$ ,  $t \in T$  – множина результуючих цільових виходів БП (множина вихідних продуктів);  $Z = \{z_n(t), n = \overline{1, N}\}$ ,  $t \in T$  – множина параметрів що задані і визначають номінальний режим перебігу БП;  $Q = \{q_g, k = \overline{1, G}\}$  – множина показників якості та ефективності ОТС, що залежать від бізнес-правил підприємства і характеру результату БП.

Метамодель онтології системи управління запишемо у вигляді:

$$O_2 = \langle BP(A), T, CS, BOQM, U(D^U), Z, C(D^C), Q, \eta, \psi, \varphi \rangle, \quad (5)$$

де  $BP$  – образ БП;  $A$  – атрибути БП;  $T = \{t_l, l = \overline{1, L}\}$  – множина дискретних моментів часу перебігу БП;  $CS$  – система управління бізнес-операцією;  $BOQM$  – система управління якістю БО;  $U = \{u_i(t) | u_i(t) \in D^{U_i}, i = \overline{1, I}\}$ ,  $t \in T$  – множина управляючих впливів на БО, яку може бути розділено на підмножини управлінь по буферизації, основній обробці, корегуванні значень режимних параметрів процесу обробки;  $D^U = \{D^{U_i}, i = \overline{1, I}\}$ , області допустимих значень, управляючих впливів;  $Z = \{z_n(t), n = \overline{1, N}\}$ ,  $t \in T$  – множина параметрів, що визначають номінальний режим перебігу БП;  $C = \{c_k(t) | c_k(t) \in D^{C_k}, k = \overline{1, K}\}$ ,  $t \in T$  – множина коригувальних впливів на систему управління  $CS$  з метою поліпшення якості БП, яка, в свою чергу, визначає якість вихідного продукту;  $D^C = \{D^{C_k}, k = \overline{1, K}\}$ , область допустимих значень коригувальних впливів;  $Q = \{q_g, k = \overline{1, G}\}$  – множина показників якості та ефективності ОТС;

$\eta: U \times X \times S \rightarrow Y$  – відображення множини керуючих впливів  $U$ , множини входів  $X$ , множини станів бізнес-процесу  $S$  в множину виходів процесу  $Y$ ;

$\mu: X \times U \times T \rightarrow S$  – відображення множини входів  $X$ , множини керуючих впливів  $U$ , на всьому інтервалі часу  $T$ , в якому здійснюється управління, в множину станів  $S$ ;

$\psi: Z \times SI \times C \rightarrow U$  – відображення множини параметрів, що задаються  $Z$ , множини параметрів станів БП  $SI$  і множини коригувальних впливів  $C$  у множину керуючих впливів  $U$ ;

$\varphi: Q \times SI \rightarrow C$  – відображення множини показників якості  $Q$  і множини параметрів станів БП  $SI$  в множини коригувальних впливів  $C$  на систему управління процесом, які здійснює система управління якістю БП  $BOQM$ .

Розглядаючи вирази (4) і (5) можна бачити, що, відповідно до прийнятої концепції, будь-яка керована система, що виконує функції буферизації, зберігання, перетворення, переміщення, потенційно має можливість максимізації кількості ступенів свободи, тобто максимальну різноманітність, оскільки в структурі моделі присутні всі необхідні елементи для незалежної зміни параметрів всіх вхідних продуктів – як інформаційних, так і матеріальних, а також зміни параметрів основного процесу настільки, наскільки це не суперечить принципу цілісності. Також можна помітити загальні елементи онтологій, які і будуть точками конвергенції першого рівня. Тоді онтологію проблемної області можна представити виразом:

$$O = O_1 \leftrightarrow O_2, \quad (6)$$

де символом  $\leftrightarrow$  позначимо процес конвергенції онтологій.

Метамоделі вимог до адаптивної виконавчої структури уявімо як:

$$RM = \langle QSR(SAR(FAR, ACR, FLR, ILR), IFR, QC, SSR, LTR, PR, TR, R^1, R^2, R^3, R^4) \rangle, \quad (7)$$

де  $QSR$  – вимоги до якості функціонування виконавчої структури;  $SAR$  – вимоги до якості агентів;  $FAR$  – вимоги до функціональності агентів;  $ACR$  – вимоги до компетенції агентів;  $FLR$  – вимоги до логіки виконання функцій агентів;  $ILR$  – вимоги до логіки взаємодії агентів;  $IFR$  – вимоги до функціональності інтерфейсів;  $QC$  – локальні критерії якості функціонування ОТС;  $SSR$  – вимоги до масштабованості системи по вертикалі і горизонталі;  $LTR$  – обмеження на технічні ресурси;  $PR$  – директивні обмеження;  $TR$  – часові обмеження;  $R^1 = QSR \times SAR$  – проекція вимог до якості функціонування інформаційної системи на множину вимог до якості агентів;  $R^2 = FAR \times ACR$  – проекція вимог до функціональності агентів на множину вимог до компетенції агентів;  $R^3 = ILR \times IFR$  – проекція вимог до логіки взаємодії агентів на множину вимог до функціональності інтерфейсів;  $R^4 = QSR \times QC$  – проекція вимог до якості функціонування виконавчої структури на комплекс локальних критеріїв якості ОТС.

Спираючись на принципи та моделі, викладені вище, побудовано схему реалізації методології створення інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів, як схему мислєдїяльності (рис. 1).

Відображаючи задачу структурної адаптації ОТС, систему керування та виконання представимо як багатоагентну систему. Структурна матриця верхнього рівня системи показана в табл. 1.

Таблиця 1 – Структурна матриця верхнього рівня

Входи	Агенти	Виходи					
		$Y_1$	$Y_2$	---	$Y_j$	---	$Y_n$
$X_1$	$A_1$	$U_{11}$	$U_{12}$	---	$U_{1j}$	---	$U_{1n}$
$X_i$	$A_i$	$U_{i1}$	$U_{i2}$	---	$U_{ij}$	---	$U_{in}$
$X_m$	$A_m$	$U_{31}$	$U_{32}$	---	$U_{3j}$	---	$U_{3n}$

Зареєстровані значення елементів підвектору вхідних параметрів  $X_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  – суть дані, що характеризують конкретну ситуацію на об'єкті управління. Виходи системи  $Y_j$ ,  $j = \overline{1, n}$  – кінцева множина основних і вторинних матеріальних та інформаційних продуктів, отриманих при поточних значеннях вхідних даних з множини  $X$  і станів  $S$  основного процесу. Зв'язки між агентами  $A_i$  і виходами  $Y_j$  здійснюють композиційні функції  $U_{ij}$ , які відіграють роль функцій управління для виконавчих механізмів:  $Y_j = \Phi(U_{ij})$ .

Необхідний стан виходу  $Y_j$  забезпечується, по-перше, кінцевим числом  $s_j$  – кількістю активних елементів в стовпці  $j$ , і, по-друге, – підмножинами і послідовністю вихідних сигналів – функцій  $U_{ij}$ , що беруть участь у формуванні виходу  $Y_j$ . Згідно з аспектом  $A_{222}$ , модель агента  $A_i$ , що реалізує зв'язок підвектора вхідних параметрів  $X_i$  і функції  $U_{ij}$ , в загальному випадку представимо відображенням:

$$A_i : X_i \rightarrow U_{ij} . \quad (8)$$

Кожен агент  $A_i$  може бути представлений матрицею, яка показана в табл. 2. Тут  $x_l^i$  – елемент підвектора  $X_i$ ;  $U_k^i$  –  $k$ -а підмножина виходів агента  $A_i$ ;  $I_{lk}$  – локальний оператор перетворення значення параметра  $x_l^i$  в елемент композиційної функції  $U_k^i$ . У кожному стовпці матриці табл. 2 є  $g_k$  активних елементів ( $g_k \leq r$ ). Окремі оператори  $I_{lk}$  пов'язані між собою так само, як пов'язані фізичні і/або інформаційні процеси, які вони відображають.

Таблиця 2 – Структурна матриця моделі агента  $A_i$

Входи	Виходи агента $A_i$					
	$U_1^i$	$U_2^i$	---	$U_k^i$	---	$U_p^i$
$x_1^i$	$I_{11}$	$I_{12}$	---	$I_{1k}$	---	$I_{1p}$
$x_2^i$	$I_{21}$	$I_{22}$	---	$I_{2k}$	---	$I_{2p}$
---	---	---	---	---	---	---
$x_l^i$	$I_{l1}$	$I_{l2}$	---	$I_{lk}$	---	$I_{lp}$
---	---	---	---	---	---	---
$x_r^i$	$I_{r1}$	$I_{r2}$	---	$I_{rk}$	---	$I_{rp}$

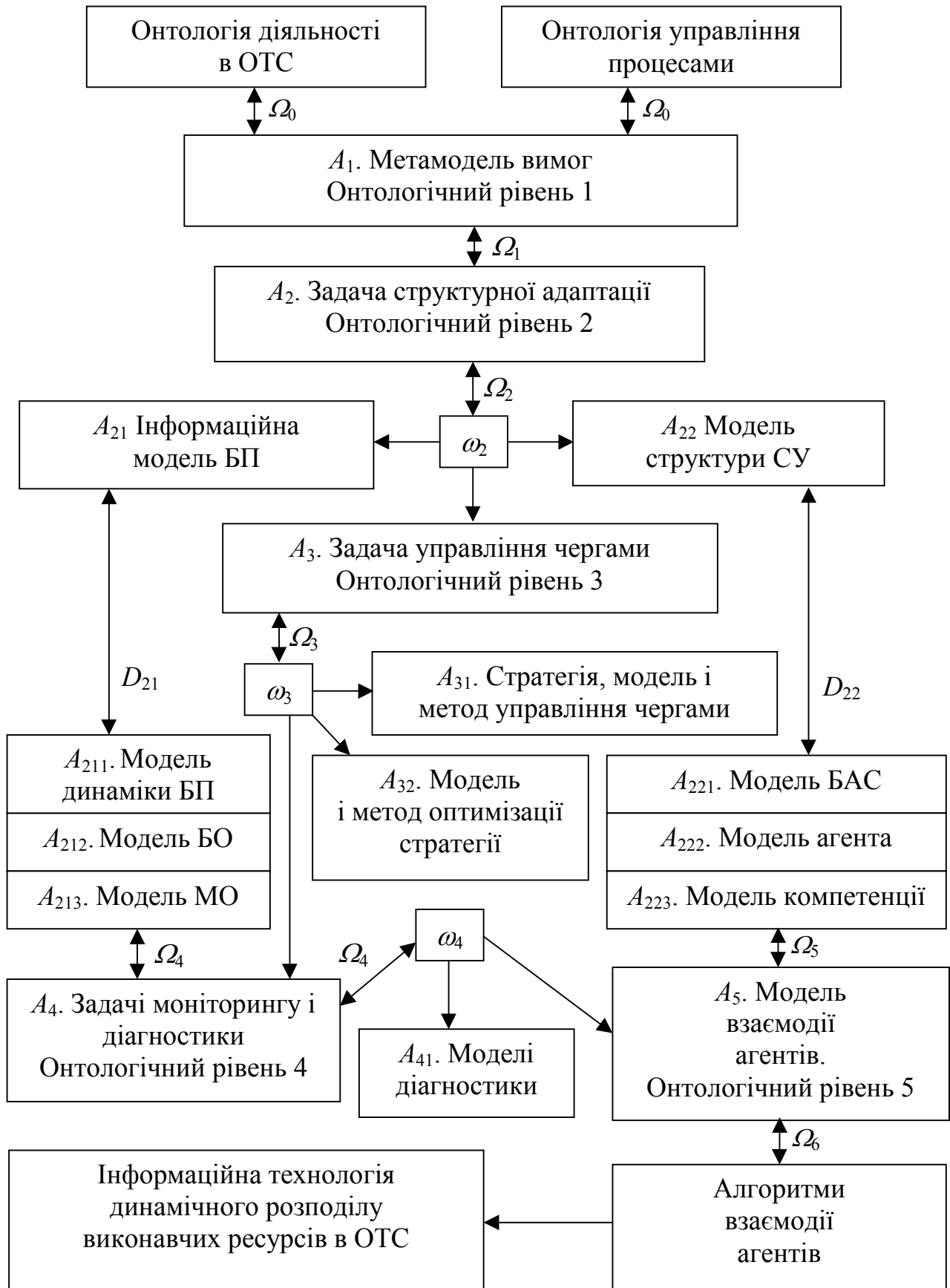


Рисунок 1 – Схема реалізації методології створення технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів

Таким чином, формальну модель запропонованої функціональної структури системи управління, як точку конвергенції онтологій  $O_1$  і  $O_2$ , можна представити у вигляді:

$$SS = \langle A, X, Y, U, I, M, R1, R2, R3 \rangle, \quad (9)$$

де  $A$  – множина агентів;  $X$  – множина входів системи;  $Y$  – множина виходів;  $U$  – множина композиційних функцій управління;  $I$  – множина локальних операторів перетворення;  $M$  – множина механізмів буферизації, перетворення і переміщення;  $R1 \subseteq X \times A$  – проекція множини входів на множину агентів;  $R2 \subseteq I \times A$  – проекція множини локальних операторів на множину агентів;  $R3 \subseteq A \times U$  – проекція множин агентів на множину функцій управління.

Запропонована узагальнена структура керованої системи є концептуальною кібернетичною основою для побудови множини керованих систем, в яких можна здійснити динамічне формування тимчасових виконавчих структур за рахунок оптимального розподілу в відношеннях  $R1$ ,  $R2$  і  $R3$ .

У розділі 2 також приділено увагу дослідженню та вибору формальних ознак показників ефективності операцій в організаційно-технічних системах. Відомо, що операція є рентабельною, якщо експертна вартісна оцінка вихідних продуктів операції більше експертної оцінки її вхідних продуктів ( $PE > RE$ ). Для рентабельної операції існує поняття «додана цінність» (додана вартість) операції  $AOC$ :

$$AOC = PE - RE. \quad (10)$$

Встановлено, що для процесів, що мають розподілене у часі використання ресурсів, велику чутливість до часу захоплення певного обсягу цінностей має друга інтегральна функція  $vre(t)$  від функції входу  $re(t)$ :

$$vre(t) = \int_{t_s}^{t_f} \left( \int_{t_s}^{\tau} re(t) dt \right) d\tau. \quad (11)$$

Тоді для двох операцій, у яких функцій входу і виходу ( $re_1(t)$ ,  $pe_1(t)$ ) і ( $re_2(t)$ ,  $pe_2(t)$ ) та  $RE1 = RE2$ ,  $pe_1(t) = pe_2(t)$  можна обчислити параметр  $IRE$ , який є показником на більш ефективну операцію. Чисельне значення інтегрального виразу визначається від інтегральної функції входу  $ire(t)$ :

$$IRE = \int_{t_s}^{t_f} \left( \int_{t_s}^{\tau} re(t) dt \right) d\tau = \int_{t_s}^{t_f} ire(\tau) d\tau. \quad (12)$$

Показано також, що чисельне значення інтегрального виразу ( $IPE$ ) від інтегральної функції виходу  $ipe(t)$ , для операцій, у яких  $PE1 = PE2$ ,  $re_1(t) = re_2(t)$ , є показником на більш ефективну операцію:

$$IPE = \int_{t_s}^{t_f} \left( \int_{t_s}^{\tau} pe(t) dt \right) d\tau. \quad (13)$$

Отже, чутливість до зміни динаміки функції входу і функції виходу будуть мати тільки ті оціночні показники, які пов'язують вхідні і вихідні параметри до-

сліджуваної операції з використанням подвійного інтегрування за часом функцій входу і виходу.

Таким чином, формальними ознаками показника, призначеного для оцінки ефективності системних операцій, є використання вартісних функцій входу і виходу, а також використання процедури подвійного інтегрування за часом. Оскільки будь-яка зміна подачі вхідних продуктів операції призводить до зміни параметрів операцій, то наявність функції часу входу і виходу також є формальною ознакою показників, призначених для оцінки ефективності операцій зі змінними в часі параметрами. Саме це є важливим для удосконалення організаційних процесів в ОТС.

У другому розділі також визначено задачу структурної адаптації ОТС:

$$TA = \langle BPM, SS, OS, Q_{SA}, RS, F \rangle, \quad (14)$$

де  $BPM$  – модель бізнес-процесу, для якого необхідно адаптувати структуру керованої системи;  $SS$  – множина допустимих структур (конфігурацій) системи;  $OS$  – операційний простір системи, який включає підпростір операційного часу, підпростір бізнес-операцій, підпростір ресурсів;  $Q_{SA}$  – множина критеріїв якості для вибору структури;  $RS$  – множина вподобань та структурних обмежень;  $F$  – кінцева множина правил перетворення структур.

У третьому розділі вирішуються завдання створення комплексу статичних і динамічних моделей і алгоритмів, що описують операційний простір автоматизованої організаційно-технічної системи (аспекти  $A_{211}, A_{212}, A_{213}$ ) та особливості взаємодії окремих елементів такої системи (аспект  $A_5$ ). Для структурування операційного простору множини БП розроблено формальний теоретико-множинний опис БП і БО. Будемо вважати, що модель БП відображає його координати в інформаційному просторі ОТС. Разом з тим, в інформаційному просторі ОТС можна виділити операційний простір. Операційним простором ОТС назвемо сукупність БО, паралельно-последовна реалізація яких дозволяє реалізувати множину БП. В такому випадку, поняття операційного простору БП передбачає наявність встановленого набору класів бізнес-операцій –  $C^{BP}_{BO}$ . Індивідуальними атрибутами кожного БП є: граф виконання БП –  $G_{BP}$ , регламенти виконання БП –  $SO_{BP}$ , кваліметрична модель –  $QM_{BP}$ , яка включає вимоги до якості, кількості та строків видачі продукту;  $CD_{BP}$  – ціна затримки виконання БП, яка встановлюється експертним методом. С урахуванням сказаного, теоретико-множинну модель БП опишемо виразом

$$BP = \langle C^{BP}_{BO}, G_{BP}, SO_{BP}, QM_{BP}, CD_{BP} \rangle. \quad (15)$$

В свою чергу модель БО представлена виразом:

$$BO = \langle C_{BO}, Code_{BO}, R_{BO}, MO_{BO}, S_{MO}, CA_{BO}, KB_{BO}, TO_{BO}, V_{BO}, Q_{BO}, cd_{BO} \rangle, \quad (16)$$

де  $C_{BO} \in CO_{BO}$  – клас БО з множини класів  $CO_{BO}$  БО;  $Code_{BO}$  – код БО, що включає приналежність до БП і номер етапу БП;  $R_{BO}$  – множина ресурсів, що необхідні для виконання операції класу  $C_{BO}$ ;  $MO_{BO}$  – підмножина мікрооперацій, необхідних для виконання операції класу  $C_{BO}$ ;  $S_{MO}$  – послідовність вико-



нання МО;  $CA_{BO}$  – множина алгоритмічних блоків (А-блоків), що задіяні для виконання операцій класу  $C_{BO}$ ;  $KB_{BO}$  – компетенція b-агента, що виконує БО сумісно з h-агентом – оператором-користувачем;  $TO_{BO}$  – нормований час виконання операції класу  $C_{BO}$ ;  $V_{BO}$  – нормована вартість виконання операції класу  $C_{BO}$ ;  $Q_{BO}$  – показник якості виконання БО;  $cd_{BO}$  – ціна затримки виконання БО.

Оскільки кожна БО складається з множини елементарних операцій, які в подальшому будемо називати мікроопераціями (МО), визначимо склад і структуру МО:

$$MO = \langle N, C_{MO}, X, P, E, CX, CE, D, C \rangle, \quad (17)$$

де  $N$  – назва МО;  $C_{MO}$  – клас МО,  $C_{MO} \in M_{MO}$ ;  $M_{MO}$  – множина класів мікрооперацій;  $X$  – вхідні дані мікрооперації;  $P$  – вхідні умови мікрооперації;  $E$  – множина результатів мікрооперації;  $CX$  – обмеження на вхідні дані;  $CE$  – обмеження на виході;  $D$  – нормована тривалість виконання мікрооперації;  $C$  – нормована вартість мікрооперації.

Для відображення статичних зв'язків між об'єктами операційного простору ОТС створено інформаційну модель багатофазного обслуговування заявок, яку описано виразом:

$$BPMM = \langle SMBP, AM, E(t), B(t), TM, CD, CM \rangle, \quad (18)$$

де  $SMBP$  – головна матриця формалізованого опису БП. Кожен рядок матриці відповідає одному етапу БП, тобто, БО. Кожен стовпець несе дані про елементарні операції, що входять в БО, а також норму часу виконання БО, позначки виконання, результат контролю за часом, адреси одержувачів повідомлень. Таким чином, кожен рядок матриці  $SMBP$  містить формалізований опис БО;  $AM$  – (*adjacency matrix*) квадратна матриця суміжності графа виконання БП, кожен рядок вказує на переходи до паралельних операцій;  $E(t)$  – матриця виконання, встановлює взаємозв'язок між змінними, що відносяться до АРМ, і змінними, що відносяться до БП (БО). Кожен рядок матриці з індексом  $r=1..R$  відповідає номеру заявки на обслуговування по виконанню БО.  $B(t)$  – матриця-рядок для збору і фіксації даних про закінчення часу обробки заявок на вузлах;  $TM$  – матриця норм часу обробки всіх БО на всіх вузлах.  $CD$  – матриця ціни затримок БО з усіх актуальних БП;  $CM$  – матриця компетентностей – елементи  $cm_{ij}$  містять ймовірності успішного і своєчасного виконання  $i$ -ї БО на  $n$ -му АРМ. Крім перелічених матриць при аналізі ефективності БП використовуються матриці, що містять значення показників ефективності.

Розроблено також комплекс математичних моделей динаміки процесу багатофазного обслуговування. Математичну модель динаміки ОТС представимо у вигляді автомата:

$$M_{\phi} = \langle X, S, T, Y, \phi, \eta \rangle, \quad (19)$$

де  $X$  – множина вхідних величин;  $S$  – множина станів;  $T$  – множина моментів часу;  $Y$  – множина вихідних величин;  $\phi: S \times T \rightarrow S$  – функція переходів;

$\eta : S \times T \rightarrow Y$  – вихідне відображення.

Величини, що характеризують процеси функціонування окремих АРМ:

$$X^A = \{V^A, S^A, Y^A, P^A\}, \quad (20)$$

а також результати зміни станів заявок, що виконуються при реалізації БО:

$$X^D = \{V^D, S^D, P^D\}, \quad (21)$$

де  $A = \{a_n\}$  – множина функціональних вузлів (АРМ);  $V^A = \{v_n^A\}$  – множина вхідних сигналів, що відображають зміну станів вузлів;  $S^A = \{s_n^A\}$  – множина станів функціональних вузлів;  $Y^A$  – множина виходів функціональних вузлів;  $P^A = f(S^A, V^A)$  – функція переходів автоматної моделі функціонального вузла;  $V^D$  – множина вхідних сигналів, що визначаються динамікою зміни станів окремих заявок на виконання БО;  $S^D = \{s^D\}$  – множина станів заявок на виконання БО;  $P^D = f(S^D, V^D)$  – функція переходів для моделі динаміки зміни станів заявок на виконання БО.

Вхідні сигнали автомата представимо наступним чином:

– для відстеження функціонування вузла (АРМ):

$$V^A = \{v_{нкjn}^A, v_{зокjn}^A, v_{zn}^A\}; \quad (22)$$

– для відстеження стану заявки на виконання БО:

$$V^D = \{v_{чkjn}^D, v_{окjn}^D, v_{обkjn}^D\}, \quad (23)$$

де  $v_{нкjn}^A$  – надходження заявки на виконання  $k$ -ї БО  $j$ -го БП на обробку на  $n$ -му вузлі;  $v_{зокjn}^A$  – закінчення виконання  $k$ -ї БО  $j$ -го БП на  $n$ -му вузлі;  $v_{zn}^A$  – зупинка  $n$ -го вузла;  $v_{чkjn}^D$  – заявка у черзі на обробку;  $v_{окjn}^D$  – заявка на обробці;  $v_{обkjn}^D$  – заявку оброблено.

Множину станів функціональних вузлів та станів заявок представлено у вигляді наборів:

$$S^A = \{s_n^A, d_{kj}^n, q_{ч}^n, t_{kjп}^n, t_{kjз}^n, t_{фвл}^n\}, \quad (24)$$

$$S^D = \{s_k^D, q_{ч0}^D, t_{kj}^D\}, \quad (25)$$

де  $s_n^A$  – стан  $n$ -го вузла, з наступними допустимими значеннями: “З” – зупинка, “О” – обробка заявки, “Н” – вузол несправний;  $d_{kj}^n$  –  $k$ -а заявка щодо БО  $j$ -го БП, що обробляється на  $n$ -му вузлі;  $q_{ч}^n$  – кількість заявок у черзі до  $n$ -го вузла;  $t_{kjп}^n, t_{kjз}^n, t_{фвл}^n$  – час початку, час закінчення обробки заявки на  $n$ -му вузлі та час фіксації виходу з ладу;  $q_{ч0}^D$  – місце у черзі до  $n$ -го вузла,  $t_{kj}^D$  – час очікування  $k$ -ї за-

явки  $j$ -го БП;  $s_k^D$  – приймає такі значення: «ЧО» – чекає обробки, це значення слугує прапором знаходження у черзі; «ОБ» – обробляється; «ЗО» – закінчено обробку заявки, – це значення стану слугує прапором закінчення виконання БО.

Вихідні сигнали моделі функціонального вузла запишемо:

$$Y^A = \{q_{обр}^n, t_{пр}^n\}, \quad (26)$$

де  $q_{обр}^n$  – кількість заявок, що оброблено на  $n$ -му вузлі;  $t_{пр}^n$  – час простою вузла.

Далі визначимо функцію переходів  $P^n = f(S^n, V^n)$  моделі вузла, як набір виразів, кожен з яких визначає стан вузла після певної події. Загальну структуру функції переходів визначено наступним чином:

$$P_n(t) = ("S_n^A", d_{kj}^n(t), q_{ч}^n(t-1), t_{kjП}^n, t_{kjЗ}^n, t_{фвл}^n). \quad (27)$$

Символом # будемо позначати ті змінні, які в деяких станах не мають значення. Для нижче визначених станів функція переходів буде мати такий вид:

– при надходженні нової заявки ( $v_{нкjn}^A=1$ ) вузол має переходити до обробки заявки ("О") і стан  $n$ -го екземпляру моделі вузла зміниться наступним чином:

$$P_n(t) = ("O", d_{kj}^n(t), q_{оч}^n(t-1), t_{kjП}^n, \#, \#); \quad (28)$$

– після того, як вузол обробив заявку ( $v_{3окjn}^A=1$ ) і простоює в очікуванні надходження нової заявки, стан змінюється наступним чином:

$$P_n(t) = ("ПР", d_{kj}^n(t-1), q_{ч}^n(t), 0, (t-1)_{kjЗ}^n, \#); \quad (29)$$

– після того, як було виявлено вихід з ладу  $n$ -го вузла ( $v_{нн}^A=1$ ), його стан змінюється на такий:

$$P_n(t) = ("H", d_{kj}^n(t-1), q_{ч}^n(t-1), \#, \#, t_{фвл}^n). \quad (30)$$

Отже, сукупність виразів (27...30) визначає функцію переходів автоматної моделі функціонального вузла.

Аналогічно визначимо функцію переходів  $P^D$  для змін стану заявки.

Загальну структуру цієї функції показано виразом (31):

$$P_D(t) = (n, S_k^D, q_{чо}^D(t), t_{kj}^D); \quad (31)$$

– після того, як закінчено виконання заявки на  $n$ -му АРМ, для цієї  $k$ -ї заявки  $v_{3окjn}^A=1$ , і її стан визначимо таким:

$$P_D(t) = (n, "ЗО", q_{чо}^D(t), t_{kj}^D); \quad (32)$$

– після того, як заявка надходить на обробку ( $v_{окjn}^D=1$ ), її стан змінюється таким чином:

$$P_D(t) = (n, "ОБ", q_{чо}^D(t-1), t_{kj}^D(t-1)). \quad (33)$$

Якщо заявка стоїть у черзі ( $v_{qkjn}^D=1$ ), її стан є таким:

$$P_D(t) = (n, "ЧО", q_{чо}^D(t), t_{kj}^D) . \quad (34)$$

Якщо заявка є останньою у даному БП, агент-диспетчер фіксує подію «Закінчення виконання БП».

Отже, вирази (19...34) є моделлю динаміки функціонування кожного АРМ, що входить до ОТС та динаміки просування заявок на виконання окремих БО скрізь множину АРМ під час реалізації множини БП. За допомогою моделі отримуються результати, які потрібні для аналізу якості функціонування окремих АРМ, виконавчих груп і ОТС в цілому.

Побудовано також модель процесу виконання множини БП. Як було зазначено вище, матриця виконання  $E(t)$  є моделлю відстеження завантаження АРМ бізнес-операціями. Для спрощення розуміння функціонування моделі нагадаємо, що в матриці  $E(t)=(e_{rn})$ ,  $r=1..R_m$ ,  $n=1,2, \dots, NM$ ; де  $m$  – число актуальних БП,  $NM$  – довжина найдовшого (по числу БО) бізнес-процесу. Маємо також вектор  $T=(t_k)$ ,  $k=1, \dots, K$ , де  $t_k$  – час, що минув з початку обробки  $k$ -ї БО на  $n$ -му АРМ.

Для побудови алгоритму моделювання необхідна також  $B(t)$  – матриця-рядок для збору і фіксації даних про закінчення часу обробки заявок на вузлах.

Елементи матриці  $E(t)=(e_{rn}(t))$  визначаються наступним чином:

$e_{rn}(t)=0$ , якщо  $r$ -я заявка не обробляється і не перебуває в черзі на обробку до АРМ  $n$  в момент часу  $t$ ;

$e_{rn}(t)=p$ , якщо  $r$ -я заявка в момент часу  $t$  знаходиться  $p$ -ю в черзі на обробку до  $n$ -го АРМ; при  $p=1$  заявка обробляється на  $n$ -му АРМ.

Елементи  $b_n(t)$ ,  $n=1, \dots, N_M$ , вектора  $B(t)$  визначаються як

$$b_n(t) = \begin{cases} T_{ok}, \exists e_{rn} = 1 \\ 0, \text{otherwise} \end{cases} , \quad (35)$$

де  $T_{ok}$  – момент закінчення обробки заявки з номером  $k$  на  $n$ -му АРМ згідно з таймером, який відраховує час виконання даної заявки.

Тобто,  $n$ -й стовпець матриці  $E(t)$  зображує поточний стан черги заявок на обробку до  $n$ -го АРМ. Для заявки, яка в даний момент часу вже обробляється (перша в черзі), значення елемента  $b_n(t)$  дорівнює моменту закінчення обробки.

Отже, за допомогою матриці  $E(t)$  встановлюється взаємозв'язок між змінними, що відносяться до АРМ, і змінними, що відносяться до БП. Таким чином досягається узгодження динаміки зміни станів множини БП, множини БО та множини АРМ.

Розроблено також загальний алгоритм імітаційного моделювання функціонування ОТС, а також алгоритм визначення часових показників ОТС.

Оскільки в контексті роботи автоматизована ОТС представлена багатоагентною системою, створено багаторівневу модель агента. На першому рівні моделювання побудовано модель програмного агента (аспект  $A_{222}$ ):

$$M = \langle A, FA(SO), K, RA, CC, AM(S, RF) \rangle, \quad (36)$$

де  $A$  – множина ролей агентів;  $FA$  – множина функцій агента;  $SO$  – множина операцій для виконання певної функції;  $K$  – множина компетенцій агентів;  $RA \subseteq K \times FA$

– відображення множини компетенцій на множину функцій;  $CC$  – множина каналів комунікацій агентів;  $AM$  – автоматне ядро агента;  $S$  – множина станів ядра;  $RF \subseteq S \times SO$  – відображення множини станів на множину дій агента у конкретній ролі.

Компетенція агента, що виконує певну БО, описується кортежем виду:

$$K^{BO} = \langle S_{MO}, NB, DB \rangle, \quad (37)$$

де  $S_{MO}$  – послідовність мікрооперацій (сценарій БО);  $NB$  – комунікаційна база знань, що включає мовні засоби, а саме – словник, який містить необхідні ключові словосполучення (КСС), перелік аспектів БО і їх зв'язки з КСС;  $DB$  – база даних, що зберігає вхідні дані, а також вихідні та проміжні результати виконання БО.

Для реалізації компетенції необхідно мати засоби комунікації агентів різних ролей (аспект  $A_{223}$ ). Важливою складовою процесів комунікації є проблемно-орієнтована анкетна мова, за допомогою якої з одного боку, користувач (h-агент) формує структуру та зміст компетенції щодо виконання певної БО, а з другого боку здійснюється діалог між h-агентом та ботом (b-агентом). З урахуванням цього представимо модель анкетної мови для формування компетенції у вигляді:

$$QL^{BO} = \langle E(AT), ER, EA, F, AS, MO^{BO}, AR, AO \rangle, \quad (38)$$

де  $E$  – набір сутностей БО, ототожнений з множиною образів, які висловлюються КСС;  $AT$  – множина атрибутів сутностей;  $ER \subseteq E \times E$  – множина відношень сутностей;  $EA \subseteq E \times AS$  – проекція сутностей на тематичні аспекти БО;  $F: E \times ER$  – мовні інтерпретації відношень сутностей;  $AS$  – множина аспектів, що визначає зміст БО;  $MO^{BO}$  – множина мікрооперацій, що здійснюються під час виконання БО;  $AR \subseteq AS \times AS$  – перетин аспектів;  $AO \subseteq AS \times MO^{BO}$  – перетин аспектів та мікрооперацій.

Створено також концептуальну модель інтерпретації словосполучень. Нехай  $T$  – вхідний потік тексту, в якому представлені словосполучення  $X = \{x_1, \dots, x_m\}$  що мають між собою приховані відносини  $R = \{r_1, r_2, \dots, r_v\}$ . Задачу інтерпретації може бути вирішено при використанні певної функції інтерпретації  $\varphi: X \rightarrow I$ , де  $I$  – суперпозиція відносин  $R$ , виражена в стислій формі на природній мові. Зафіксовані словосполучення (СС) –  $X_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  характеризують змістовний сенс процедур, які виконують h-агент і b-агент. Функція інтерпретації повинна обробляти вхідні СС, фіксувати їх асоціативні зв'язки і видавати, як результат інтерпретації, команди або повідомлення в бік b-агента. Виходи інтерпретатора  $I_j$ ,  $j = \overline{1, n}$  – словесні вирази, що грають роль команд для бота, і кожен вихід  $I_j$  відноситься до певного аспекту БО. Виходи  $I_j$  отримані як суперпозиції локальних результатів інтерпретації  $R_{ij}$ , що зв'язують СС  $X_i$  з попереднім контекстом  $X_{i-1} \dots X_{i-m}$  та аспектом  $I_j$ . Зв'язки між фрагментом тексту  $X_i$  і виходами  $I_j$  здійснюють оператори  $F_i$ , кожен з яких є екземпляром функції інтерпретації. Оператор інтерпретації  $F$ , що описує зв'язок фрагмента  $X_i$  і вихідний інтерпретації  $I_j$ , уявімо відображенням:

$$F_i: X_i \rightarrow R_{ij} \rightarrow I_j. \quad (39)$$

На теоретико-множинному рівні склад моделі інтерпретації виглядає як

$$IM = \langle X, Y1, Y2, CF1, CF2, A^{BO}, G, U1, U2 \rangle, \quad (40)$$

де  $X$  – множина КСС, що застосовуються у діалогах щодо БО;  $Y1$  – множина виходів у вербальній формі;  $Y2$  – множина виходів у формі команд, що виконуються;  $CF1$  – множина так званих синдромів рівня 1 – такий синдром  $cf1 \in CF1$  є результатом перекодування слів і словосполучень, що надходять до інтерпретатора, у компактну форму;  $CF2$  – множина синдромів рівня 2 – ці синдроми отримані як узагальнення певних синдромів рівня 1, тобто кожний синдром  $cf2 \in CF2$  містить змістовний сенс групи КСС;  $A^{BO}$  – множина аспектів БО;  $G=X \times A^{BO}$  – проекція множини КСС на множину аспектів БО, яка дає змогу визначити у процесі діалогу якій аспект є актуальним на даний час;  $U1=X \times Y1$  – множина функцій перетворення КСС у вихідні сигнали вербальної форми;  $U2=X \times Y2$  – множина функцій перетворення КСС у вихідні сигнали командної форми. Ці функції реалізовані табличне.

Розкриємо проекцію  $G=X \times A^{BO}$  – перетворення множини вхідних сигналів в множину аспектів БО і сформуємо операційну модель інтерпретації словосполучень. Для цього визначимо набір операторів обробки послідовності КСС, яка підлягає інтерпретації:

1. Оператор попередньої обробки  $PP$  (Preliminary Processing) – реалізує процедури первинної індексації застосованих КСС та формує словники та синдроми першого рівня  $cf1 \in CF1$ .

2. Оператор  $DP$  (Distribution Processing) призначений для розрахунку відносних частот застосування КСС по аспектах.

3. Оператор  $IE$  (integral evaluation) призначений для формування інтегральних оцінок ступеня актуальності кожного аспекту у конкретній ситуації шляхом розрахунку значущості КСС у аспектах.

4. Оператор  $SR$  (sequence recognition) розпізнавання послідовності КСС на основі патернів.

5. Оператор  $IA$  (identifying aspects) виявлення значущих аспектів у послідовності КСС і визначення синдромів другого рівня  $CF2$ .

6. Оператор  $MJ$  (making judgments) призначений для формування і реалізації реакцій щодо визначеного аспекту БО.

Зазначений набір операторів об'єднаємо в операційну модель інтерпретації:

$$OM = PP \times DP \times IE \times SR \times IA \times MJ \quad (41)$$

Отримані вирази (40) і (41) складають формальну модель інтерпретації словосполучень, яка може застосуватися у процесі навчання b-агента будь якої ролі, а також і в процесі його функціонування сумісно із людиною. Ця модель може бути застосована для будь якої мови без використання граматичного аналізу.

Завершає третій розділ опис моделі взаємодії агентів в ОТС. Модель взаємодії між агентами можна уявити набором:

$$IM = \langle L(RD, V, D_s, D_p, MS), P_A, r_s, r_t, RI \rangle, \quad (42)$$

де  $L$  – мова діалогу;  $RD$  – правила формування повідомлень;  $SR$  – множина словників, що містять стандартизовані повідомлення, у тому числі, у вигляді ключових словосполучень;  $D_s$  – множина ситуацій, що приводять до генерування повід-

омлення;  $D_P$  – множина рішень по ситуаціям;  $P_A$  – протокол обміну повідомленнями;  $r_s$  – роль агента-відправника;  $r_t$  – роль агента-одержувача;  $RI \subseteq r_s \times r_t$  – відношення ролей в процесі взаємодії;  $MS$  – стандартне повідомлення, що має вид:

$$MS = \langle T, T_M, M \rangle, \quad (43)$$

де  $T$  – час повідомлення, віднесений до часу процесу виконання БО;  $T_M$  – ключова тема повідомлення;  $M$  – зміст повідомлення.

Описано також функції агентів усіх рівнів та їх відношення. Опис наведено у вигляді таблиць та діаграм послідовності дій на мові UML.

**У четвертому розділі** увага приділяється створенню основних елементів інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів у автоматизованій організаційно-технічній системі.

Для оцінювання ефективності БО і БП введемо ціну операційного часу виконавця у вигляді вартісного коефіцієнта  $e$  з розмірністю  $[z.o./\tau_o]$ . Тоді вартісне вираження сукупних витрат на момент закінчення операції набуде вигляду:

$$CO = e \cdot TO + R_M + cd \cdot TD, \quad (44)$$

де  $e \cdot TO$  – вартість витраченого робочого часу тривалістю  $TO$ ;  $R_M$  – вартість використання і амортизації виконавчого механізму. У вартість  $R_M$  включені витрати на обслуговування механізму і витрати на енергетичні ресурси;  $cd$  – cost of delay – ціна затримки операції  $[z.o./\tau_d]$ ,  $TD$  – час затримки виконання операції. Вираз (44), як лінійна функція часу і вартісного ресурсу, дозволяє сформулювати критерій, на підставі якого можна проводити розрахунки витрат, а, отже, і ефективності як окремих операцій, так і системи операцій, що проводяться послідовно і паралельно для досягнення загальної мети.

Оскільки ступінь участі людини (h-агента) і бота (b-агента) у виконанні конкретної БО буде різною, на основі виразу (44) запишемо показник собівартості спільного функціонування h-агента, b-агента і виконавчого механізму при виконанні БО:

$$C^{BO} = e_H \cdot TO_H + e_B \cdot TO_B + R_M + CD, \quad (45)$$

де  $e_H \cdot TO_H$  – вартість робочого часу h-агента,  $e_B \cdot TO_B$  – вартість робочого часу b-агента;  $CD = cd \cdot TD$ . В загальному вигляді вираз (45) як показник витратності операції запишемо:

$$C^{BO} = \sum_{s=1}^{S_R} r e_s + CD, \quad s = \overline{1, S_R}, \quad (46)$$

де  $S_R$  – кількість використовуваних ресурсів;  $r e_s$  – вартісне вираження ресурсів операції. Вважаючи, що якість бізнес-процесу багато в чому визначається ймовірністю виникнення помилок і, як наслідок, виникнення критичних ситуацій, що ведуть до зниження ефективності, запишемо ймовірність погіршення якості бізнес-процесу при виникненні помилки:

$$P_E = \sum_{k=1}^K P_k [1 - P_{kd}(s(t)) P_{ke}(u(t), c(t))], \quad (47)$$

де  $P_k$  – ймовірність виникнення помилки при виконанні  $k$ -ї операції;  $P_{kd}$  – ймовір-

ність своєчасного виявлення помилки при виконанні  $k$ -ї операції;  $P_{ke}$  – ймовірність своєчасного усунення результатів помилки. Відповідно, ймовірність успішного завершення операцій  $P_S$  у відведений за нормою час:

$$P_S = \sum_{k=1}^K (1 - P_k (1 - P_{kd}(s(t)) P_{ke}(u(t), c(t)))) \quad (48)$$

Вважаємо, що ймовірність виходу з ладу технічних засобів АРМ близька до 0. Тоді величина  $P_S$  відображає рівень надійності пари h-b при виконанні конкретної БО. Оскільки критерій ефективності повинен бути відносною величиною, приймемо за базову величину собівартість операції, виконуваної виключно людиною і без помилок:

$$C_H^b = e_H^b \cdot TO_H^b + R_M^b, \quad (49)$$

де  $e_H^b$ ,  $TO_H^b$ ,  $R_M^b$  – відповідно, базова ціна робочого часу h-агента, базовий нормативний час, відведений на виконання даної операції h-агентом, базові нормативні витрати на експлуатацію протягом базового нормативного часу  $TO_H^b$ .

З урахуванням сказаного, вираз для показника ефективності  $i$ -ї операції набуде вигляду:

$$V_i = \frac{\alpha_{Hi} e_{Hi} TO_{Hi} + \alpha_{Bi} e_{Bi} TO_{Bi} + R_{Mi}}{C_{Hi}^b} \rightarrow \min, \quad (50)$$

де  $\alpha_H = 1 + (1 - P_{SH})$ ,  $\alpha_B = 1 + (1 - P_{SB})$  – коефіцієнти, що враховують збільшення часу і витрат внаслідок ймовірності виникнення помилки людини і бота,  $P_{SH}$  і  $P_{SB}$  – відповідно ймовірності успішного (безпомилкового) завершення операцій h-агента і b-агента.

При виконанні множини  $i$ -х БО, що належать  $j$ -му БП, вираз (50) прийме вигляд:

$$V_j = \sum_{i=1}^I \sum_{s=1}^{S_R} V_i, \quad s = \overline{1, S_R}, i = \overline{1, I}, \quad (51)$$

що відповідає подвійному інтегруванню при розподіленому характері споживання ресурсів під час виконання неперервних операцій.

Необхідно також врахувати обмеження на зв'язки між заявками, які задаються матрицями  $AM$  і  $E(t)$ , а також обмеження на загальний час виконання всіх БО даного БП:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{n=1}^N t_{kn} x_{kn} \leq T_3 \quad (52)$$

Залежно від того, яка цільова функція і які обмеження враховуються, виникає ряд окремих постановок задачі оптимального розподілу заявок по АРМ.

На основі виразу (51) запишемо цільову функцію, яка виражає ефективність виконання множини БП в ОТС:



$$F_V = \sum_{j=1}^{N_{BP}} V_j \rightarrow \min, \quad j = \overline{1, N_{BP}}, \quad (53)$$

де  $N_{BP}$  – кількість бізнес-процесів в ОТС.

В систему обмежень в задачі мінімізації цільової функції (53) входять:

а) обмеження часу реакції на виникнення помилок:  $T_D + T_R \leq T_{ID}$ , де  $T_{ID}$  – час незворотнього погіршення ситуації;  $T_D$  – час виявлення помилки;  $T_R$  – час реакції.

б) обмеження на кількість АРМ  $M(t) \in L^M$ ,  $t \in T$ ;

в) обмеження на кількість компетенцій h-агентів  $K_H \in L^{KH}$ ;

г) обмеження на кількість компетенцій b-агентів  $K_B \in L^{KB}$ ;

д) обмеження на час виконання БП  $T_{BP} \in L^{TB}$ ;

е) обмеження вартості затримок виконання  $C_d \in L^{Cd}$ ;

ж) обмеження на кількість БО, що одночасно виконуються на одному АРМ.

Розроблено метод вирішення задачі динамічного розподілу виконавчих ресурсів для бізнес-процесу. На попередньому етапі фіксується надходження нової заявки  $i$ -й БО  $j$ -го БП.

Етап 1. Формується підмножина АРМ  $A^c = \{a_n^c\}$  за умовою наявності компетенції у h-агента.

1.1 Відзначаємо клас актуальної на поточний момент БО і знаходимо відповідний значущий рядок в матриці компетенцій  $CM$ .

1.2 Аналізуючи значущий рядок матриці компетенцій, отримуємо підмножину h-агентів ( $i$ , відповідно, АРМ) – кандидатів на виконання даної БО в тих стовпчиках матриці компетенцій, де ймовірність успішного завершення БО вище граничного значення. Тобто відношення  $LCE: BO_{BP} \times CM$  відображає список АРМ – кандидатів на виконання –  $LCE$ .

1.3 Ранжування АРМ в робочій підмножині за спаданням рівня h-компетентності.

Етап 2. Аналіз черг для вибору маршруту.

2.1 Розрахунок сумарного нормованого часу виконання всіх заявок, які вже стоять в кожній  $n$ -ї черзі. Оскільки відома ціна затримки розглянутої заявки  $cd_k$ , розраховуємо вартість затримки нової заявки, множачи ціну заявки на очікуваний час простою в  $n$ -й черзі з робочої підмножини АРМ:  $CD_{kn} = cd_k \cdot TQ_n$

2.2 Перебираючи черги в межах робочої підмножини, знайдемо мінімальне значення  $CD_{kn}^*$  і поставимо заявку  $k$  в чергу  $n^*$ .

Етап 3. У кожній черзі ранжування заявок за зменшенням ціни затримки  $cd_i$ .

Етап 4. Контроль стану АРМ.

4.1 Якщо виявлена критична ситуація, пов'язана з затримкою виконання БО, перехід до Етапу 1. Інакше – перехід до п. 4.2.

4.2 Якщо виявлено відмову АРМ (зупинка АРМ), для кожної заявки з черги до даного АРМ – виконання етапів 1 ... 3. Перехід до п. 4.3.

4.3 Якщо виявлено простий АРМ, виконується формування черги з заявок, що стоять в чергах на інші АРМ з урахуванням компетентностей даної АРМ. З хвостових заявок в чергах до інших АРМ, утворюється і ранжується нова черга. Довжина черги вибирається за умовою:  $L_{\text{нovoї черги}} \approx$  середній довжині наявних черг.

Етап 5. Аналіз довжини черг і визначення наявності критичної ситуації по довжині черг. Довжиною черги  $n$ -го АРМ вважається час, необхідний для обслуговування всіх заявок, що знаходяться в черзі і на обслуговуванні в момент часу  $t$ . Якщо знайдено чергу, довжина якої вище порога, дане АРМ позначається як блоковане від участі в процедурі маршрутизації.

Етап 6. Якщо є закінчені БП, розрахувати для них сумарне значення критерію втрат часу, вартості затримки і критерію (53). Результати зберегти для аналізу.

Відповідно до запропонованого методу маршрутизації заявок розроблено стратегію керування чергами та метод її адаптації. Цілі стратегії:

1. Мінімізація критерію (53) для сукупності БП.
2. Забезпечення квазістаціонарного режиму обслуговування заявок на всіх АРМ.

Оскільки функція розподілу тривалості обслуговування для кожного АРМ задалегідь не визначена, але відомі часові обмеження  $T'_{max}$ , то адаптивну стратегію призначення пріоритетів визначимо наступним чином:

1. Прийmemo, що критерієм для адаптації стратегії є  $CD_{kn}$  – вартість затримки виконання  $k$ -ї заявки (БО) на  $n$ -му АРМ.

2. Множина заявок класифікується за обмеженням  $CD_{max}$  на 2 групи ризику (urgency group): UG1, UG2. На будь-який поточний момент існують підмножини заявок в кожній групі.  $k$ -я заявка додається в групу UG1 при виконанні умови:  $CD_{k}^{max} > CD_{max}$ . Частота контролю стану заявок в «старшій» групі вище, ніж в «молодшій», що зменшує загальну кількість звернень до таблиці станів заявок і дає економію часу агента-диспетчера. Кратність періодичності циклів контролю в групах можна регулювати.

3. Вибір підмножини АРМ для маршрутизації за критерієм компетентності.

3.1 Для маршрутизації кожної заявки визначається підмножина АРМ по необхідній для даної БО компетенції. Відбирається робоча підмножина АРМ, у яких компетентність  $h$ -агента більше заданого порогу. Серед цих АРМ відбувається вибір конкретного вузла обслуговування за мінімальним значенням вартості очікування.

3.2 Поріг необхідної компетентності для заявки залежить від відносної ціни затримки  $cd_k$ . Значення порога визначається виразом:

$$P_k = \frac{a}{1 + \exp(-\alpha \cdot cd_k + b)} + c, \quad (54)$$

де параметри  $a$ ,  $b$ ,  $c$  визначають межі зміни порогу компетентності (0,3...0,9), а параметр  $\alpha$  – крутизну зміни порога, що визначається.

3.3 При підвищенні порога компетентності робоча підмножина теоретично може виявитися порожньою, тому необхідний контроль потужності сформованої під-

множини.

4. Аналіз черг для вибору маршруту. Після розрахунку сумарного часу виконання  $TQ_n$  заявок, що стоять попереду в кожній  $n$ -ї черзі, з урахуванням ціни затримки  $cd_k$ , можна обчислити вартість затримки нової заявки  $CD_{kn}=CD_{kn}=cd_k \cdot TQ_n$  для кожної  $n$ -ї черги з робочої підмножини. Перебираючи чергі в межах робочої підмножини, слід знайти мінімальне значення  $CD^*_{kn}$  і поставити заявку  $k$  в чергу  $n^*$ .

5. Ранжування заявок в чергах по зменшенню ціни затримки  $cd_k$ .

6. Забезпечення квазістаціонарного режиму по кожному АРМ. Для забезпечення квазістаціонарного режиму повинна виконуватися умова  $\rho_n \leq \rho_T$ , де  $\rho_T$  – граничне значення завантаження, незалежно від поточного розподілу типів заявок.

6.1 Для кожної підмножини заявок типу  $v$  (за компетенцією  $v$ ) обчислюється поточне значення ступеня завантаженості  $\rho_a$ . Якщо  $\rho_a \geq \rho_{Th}$ , то по даній компетенції необхідно:

- ранжувати АРМ в робочій підмножині за рівнем компетентності типу  $v$ ;
- з урахуванням встановленого порога компетентностей визначити цільове АРМ з меншою кількістю заявок з групи ризику UG1.

6.2. Якщо завантаження по певній компетенції нижче нижнього порога завантаження ( $\rho_a < \rho_{Tl}$ ), здійснюється формування черги з заявок, що стоять в чергах на інші АРМ. З останніх заявок в чергах до інших АРМ, утворюється і ранжується нова черга відповідно до компетенцій даного АРМ. Довжина черги вибирається за умовою:

$$L_{\text{нovoї черги}} \approx L_{\text{ср довжині черг, що існують}}$$

6.3 Ранжувати черги по спаданню відносної ціни затримки.

Розроблено метод і алгоритм оптимізації для оперативної адаптації стратегії управління чергами. Для вибору оптимальних значень параметрів стратегії використовується імітаційна модель. Робочими змінними в процесі адаптації є:  $X1$  – параметр  $\alpha$  виразу (54) для визначення порогу компетентностей; поріг  $X2$  поділу заявок на групи ризику за вартістю  $CD_k$ ; Метод складається з таких етапів:

1. Для імітаційного моделювання процесу багатофазного обслуговування і формування маршрутів БП задаються імовірнісні розподіли потоку надходження БП, значення компетентностей, часові обмеження на виконання заявок різних типів, відносні ціни затримок БО, характерні для даної ОТС.

2. За допомогою еволюційного алгоритму генерується популяція допустимих рішень у вигляді двійок  $(X1_r, X2_r)$ ,  $r=1...NP$ , де  $NP$  – число членів популяції.

3. Кожна двійка (особина)  $(X1_r, X2_r)$  використовується в процесі імітаційного моделювання, для обчислення значення критерію оптимальності.

4. За допомогою еволюційних процедур відбирається найкраще рішення  $(X1^*_r, X2^*_r)$  за критерієм мінімізації сумарної вартості витрат і затримок:

$$Q = \sum_{j=1}^J \sum_{i=1}^{I_j} (C_{ij}^{BO} + CD_{ij}) \rightarrow \min, i = \overline{1, I}, j = \overline{1, J}, \quad (55)$$

де  $J$  – кількість запущених в роботу БП,  $I_j$  – кількість БО в  $j$ -м БП.

5. Знайдені рішення зберігаються у таблиці рішень, яка є базою знань для швидкої адаптації стратегії при мінливих змінах ситуації.

З урахуванням того, що аналіз популяції ведеться за допомогою імітаційної моделі, необхідно вжити заходів щодо скорочення обсягу обчислень при аналізі популяції:

- обмеження кількості членів популяції;
- дискретизація рівнів робочих змінних в діапазоні  $[0,3 \dots 0,9]$  з кроком  $0,1$ ;
- перевірка абсолютної ідентичності нової особини з екземплярами, наявними в глобальній таблиці особин.

Розроблено моделі і алгоритми розпізнавання ситуацій і діагностики помилок виконання бізнес-операцій. Зв'яжемо поняття потоку подій на рівні ОТС або АРМ з поняттям ситуації. Усі значущі ситуації на рівні монітора кодуємо символами:  $X1$  – затримка за часом виконання БО більше порога реагування;  $X2$  – спотворені вхідні дані;  $X3$  – помилка в результатах БО;  $X4$  – довжина черги перевищує поріг.

Позначимо висновки щодо одномоментного аналізу ситуації:  $D1$  – ситуація штатна;  $D2$  – повторити БО з початку;  $D3$  – повторити ввід вихідних даних та повторити БО з початку.

Склавши відповідну таблицю істинності та використовуючи апарат алгебри висловлювань, отримаємо:

$$D1 = \overline{X1} \cap \overline{X2} \cap \overline{X3} \cap \overline{X4}; D2 = X3; D3 = X2. \quad (56)$$

На рівні диспетчера ОТС необхідно розпізнавати тенденції, що відбуваються на кожному АРМ.

Визначимо поняття тенденції. Нехай  $x(t) = \{x_1, \dots, x_m\}$  – часовий ряд значень певної змінної, яка характеризує лише два факти – певна подія відбулася чи не відбулася. Тоді тенденцією  $e(t) \in E$  є впорядкована за деяким законом  $z(t)$  сукупність значень  $e(t) = z(t, x_1, \dots, x_n)$ . Визначаючи множину послідовностей подій  $E$  на всіх інтервалах  $[t-m+1, t]$  часового ряду, і розташовуючи початок та закінчення інтервалу на часовій шкалі, отримаємо часовий ряд тенденції:

$$e^z(t) = \{x_1, x_2, \dots, x_k, \dots, x_n\}, \quad (57)$$

де  $n$  – ширина часового вікна спостереження. Зрозуміло, що для кожного елемента множини послідовностей  $e(t) \in E$  існує власний закон впорядкування подій  $z(t)$ .

Створимо простір ознак, розмірність якого буде дорівнювати ширині  $n$  вікна спостереження послідовностей. Кожне значення  $x(t)$  буде зіставлене з однією віссю координат простору ознак. Якщо буде знайдено множину еталонних послідовностей  $S$ , задачу розпізнавання тенденції можна вирішити за допомогою класичних підходів, наприклад, обчисленням скалярного добутку:

$$D(S_i, X_j) = \sum_{k=1}^n s_{ik} x_{jk}, \quad (58)$$

$$X_k \in S_i, \text{ якщо } D(S_i, X_j) = \max_k D(S_i, X_j), \quad (59)$$

де  $D(S_i, X_j)$  – скалярний добуток вектора ознак поточної ситуації та одного з еталонних векторів, що визначають клас ситуації з індексом  $k$ , або обчисленням відстаней за однією зі зв'язних метрик, наприклад, метрикою Евкліда:

$$L(X_i, S_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - s_{jk})^2} . \quad (60)$$

Сформувавши таблицю істинності рішень та використовуючи апарат алгебри висловлювань, отримаємо:

$$z(t) = X1 \cap X2 \cap X4 \cup X1 \cap X2 \cap X3 \cup X2 \cap X3 \cap X4 \cup X1 \cap X3 \cap X4 . \quad (61)$$

Дане правило використовується для всіх 4-х подій  $X1, X2, X3, X4$ . Застосовуючи правило (61) і визначивши рішення по оперативному управлінню ( $Y1$  – зняти частку черги (розвантаження АРМ);  $Y2$  – аналіз алгоритму виконання БО,  $Y3$  – переглянути матрицю компетентностей h-агентів), складемо таблицю істинності з аналізу тенденцій, з якої отримаємо правила:

$$Y1 = \overline{X1} \cap X2 \cap X4 \cup \overline{X1} \cap X3 \cap \overline{X4} \cup \overline{X1} \cap X2 \cap X3 \cup X2 \cap X3 \cap \overline{X4} , \quad (62)$$

$$Y2 = X2 , \quad (63)$$

$$Y3 = X1 \cup X4 . \quad (64)$$

Отже, вирази (56)...(64) складають модель розпізнавання ситуацій і діагностики помилок виконання бізнес-операцій на рівні АРМ і на рівні ОТС.

Після фіксації одномоментних зрізів і тенденцій і виявлення критичних ситуацій на конкретному АРМ і в конкретній БО, необхідно локалізувати в тілі БО критичну МО. Для цього потрібно використовувати КСС і аспекти. КСС вбудовані в лог БО. За їх складом і послідовністю визначаються критичні МО. Для кожної МО є індивідуальний аспект і набір КСС. Маючи по результатам логування таблицю зв'язку КСС–аспекти, в якій кожна стрічка відповідає одному КСС, а кожен стовпчик – одному аспекту, можна розрахувати значущість  $i$ -го слова в  $j$ -му аспекті:

$$Y_{ij} = 1 - \frac{n_i}{n} , \quad (65)$$

де  $n_i$  – число аспектів, в яких фігурує КСС  $x_i$ ,  $n$  – загальне число аспектів. Значення  $Y_{ij}$ , отримане за формулою (65), може бути скоректовано в межах  $[0,1]$  під час налаштування системи.

Створимо функцію фокусування  $\varphi$ , яка повинна здійснювати суперпозицію величин  $Y_{ij}$  і грати роль критерію відбору аспектів, а таким чином, і МО [6]:

$$\varphi_j(x) = F_j(Y_{ij}) = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Y_{ij}. \quad (66)$$

Вираз (66) є критерієм для фокусування на певній підмножині МО для пошуку помилок. Провівши ранжування значень  $\varphi_j(x)$  і граничне перетворення

$$H = \begin{cases} 1 & \text{if } F \geq T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (67)$$

де  $F$  – оцінка значущості аспекту;  $T$  – заданий поріг, отримаємо підмножину мікрооперацій, які підлягають аналізу на предмет критичної ситуації.

Таким чином, вирази (65) – (67) являють собою модель визначення найбільше значимих аспектів БО у поточній ситуації.

Розроблено та описано алгоритм діагностики помилок виконання операцій.

У п'ятому розділі розроблено інформаційну технологію динамічного розподілу виконавчих ресурсів, яка складається з декількох комплексів інформаційних процесів (КІП). Кожен комплекс відображається як функціональна модель певного виконавського рівня в рамках автоматизованої ОТС. Відповідно, розроблено комплекс інформаційних процесів агента-виконавця (КІП1), комплекс інформаційних процесів агента-монітора (КІП2), комплекс інформаційних процесів диспетчеризації (КІП3) (рис. 2), комплекс інформаційних процесів адаптації стратегії управління чергами (КІП4), комплекси інформаційних процесів контролю і діагностики на рівні монітора і диспетчера (КІП4, КІП5) та загальну схему інформаційної технології (рис.3).

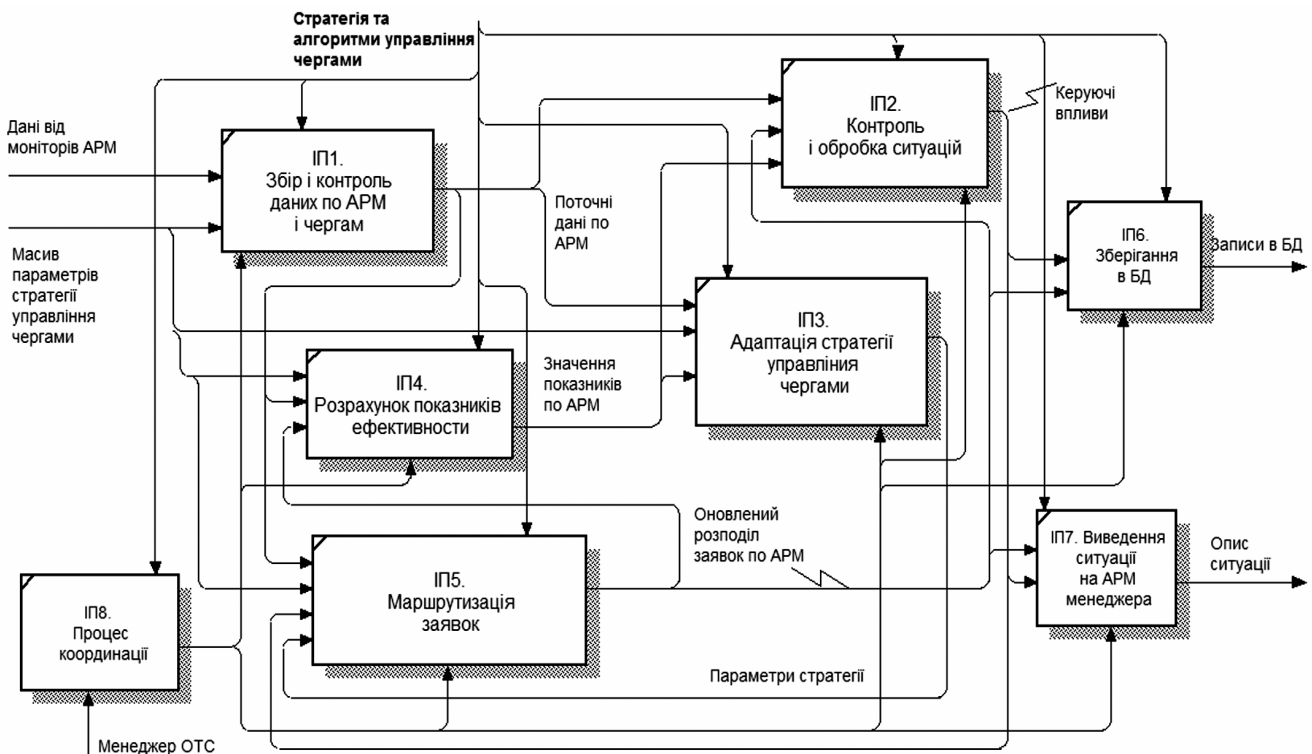


Рисунок 2 – Комплекс інформаційних процесів диспетчеризації

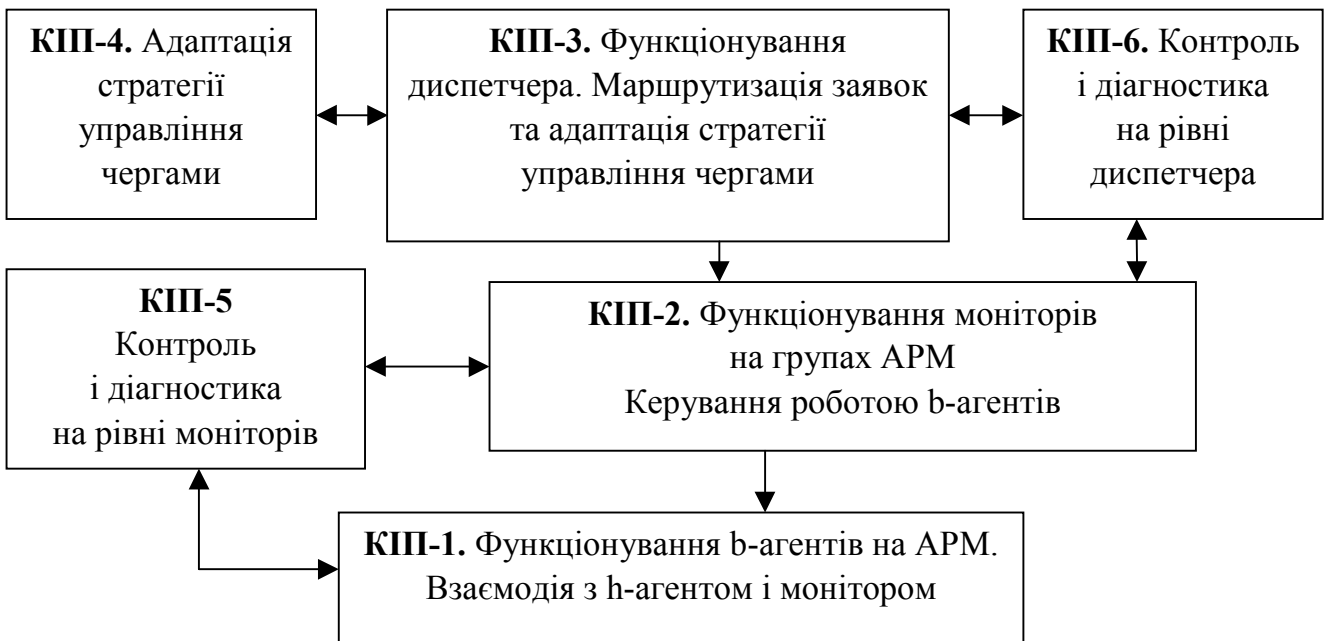


Рисунок 3 – Загальна блок-схема інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС

**Шостий розділ** дисертаційної роботи присвячений розробці і дослідженню ефективності комплексу програмних засобів системи моніторингу та диспетчеризації бізнес-процесів (СМД), що реалізують розроблені методи, моделі та інформаційну технологію. Складено комплекси функціональних задач СМД, а саме: комплекс задач підсистеми диспетчеризації бізнес-процесів; комплекс задач моніторингу виконання БО; комплекс задач підготовки та виконання бізнес-операцій. На рис. 4 показано загальну структуру системи диспетчеризації та моніторингу.

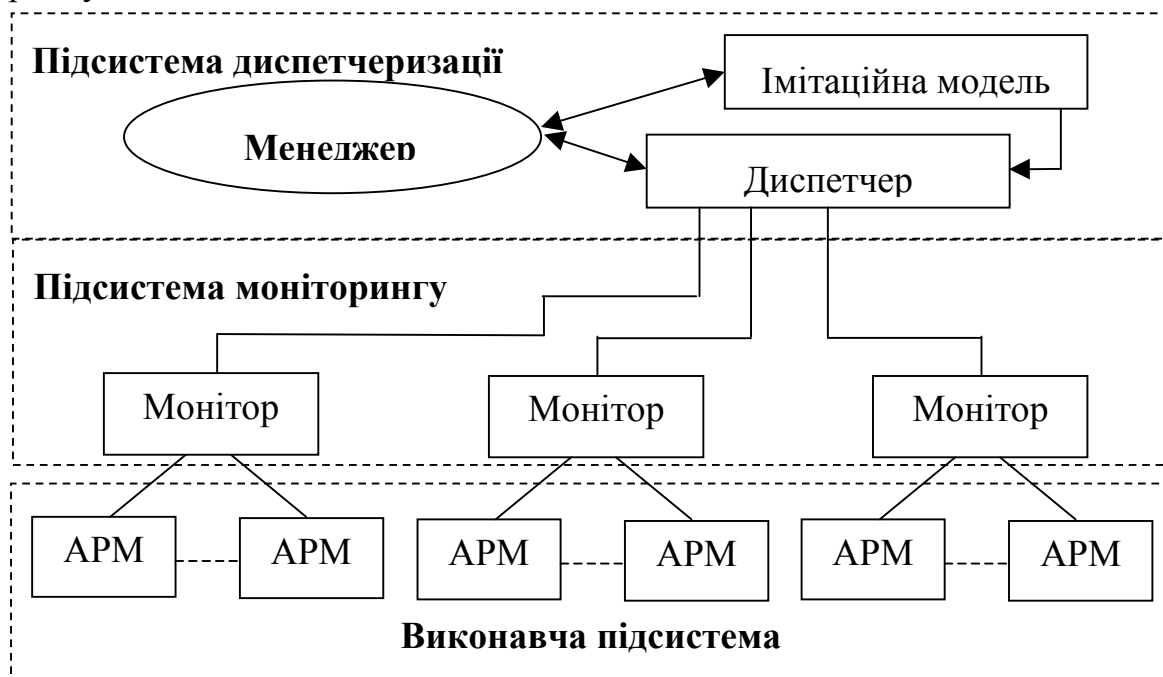


Рисунок 4 – Загальна структура системи диспетчеризації та моніторингу

Імітаційна модель застосовується для дослідження властивостей СМД і оптимізації стратегії керування чергами. Цей інструмент входить до підсистеми диспетчеризації. Головний результат експериментів на імітаційній моделі – підтвердження гіпотези про те, що запропонована стратегія управління чергами працездатна і може бути адаптована до умов роботи ОТС, що змінюються, а саме – до змін інтенсивності потоків різнорідних заявок, ступеня компетентності виконавців, ступеня завантаження АРМ. На рис. 5 показано залежність критерію втрат очікування від середньої інтенсивності надходження заявок в систему. Крива а) відображає цю залежність при випадкових значеннях параметрів  $X1$  і  $X2$ . Крива б) показує ту ж залежність при оптимальних значеннях параметрів  $X1$  і  $X2$ . На кривій б) видно ділянку стабілізації втрат за рахунок оперативної зміни маршрутів заявок. Зі збільшенням інтенсивності потоку заявок стабілізація стає практично неможливою і втрати зростають. Разом з тим видно, що адаптивна стратегія є ефективним інструментом зниження втрат очікування.

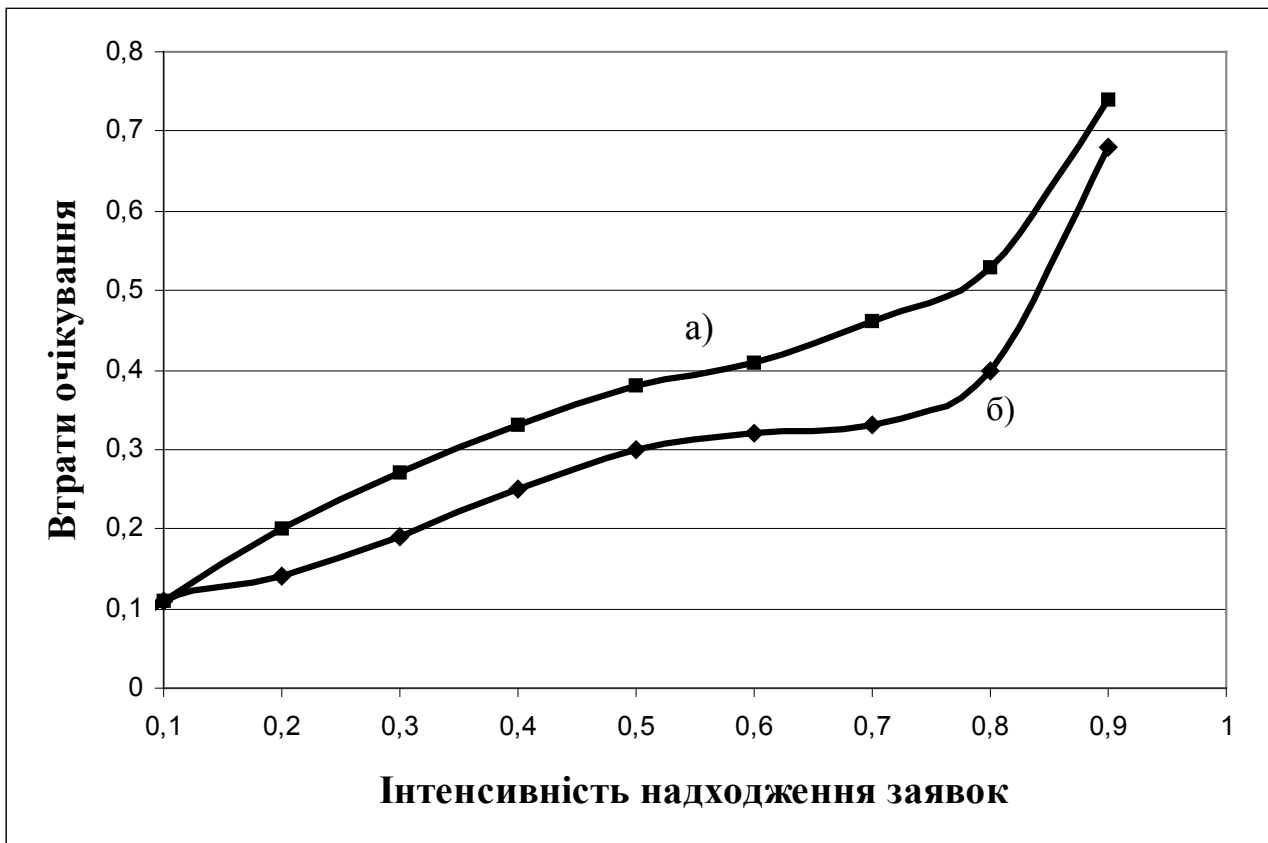


Рисунок 5 – Залежність втрат очікування від параметрів стратегії: а) залежність при випадкових значеннях параметрів  $X1$  і  $X2$ ; б) залежність при оптимальних значеннях параметрів  $X1$  і  $X2$

Досліджено також динаміку середніх завантажень по АРМ для адаптованої і неадаптованої стратегії. На рис. 6 показані зміни середнього завантаження при середньому значенні відносної інтенсивності загального потоку заявок. Оптимізована за параметрами стратегія управління чергами дозволяє згладити пікові нава-



нтаження і зменшити дисперсію середнього завантаження. Для оптимізованої стратегії дисперсія середнього завантаження склала 0,059. Для неоптимізованої стратегії дисперсія середнього завантаження склала 0,090. Через нерівномірний по інтенсивності і складу потік заявок окремі АРМ можуть виявитися перевантаженими, незважаючи на оптимізацію стратегії управління чергами (блукаючи вузькі місця). Під час імітаційного моделювання такі ситуації створювалися штучно. Аналіз результатів моделювання показав, що стратегія управління чергами дозволяє досить швидко ліквідувати такі перевантаження за рахунок перерозподілу заявок на інші АРМ і зміни порогів компетентностей з проблемних класів заявок.

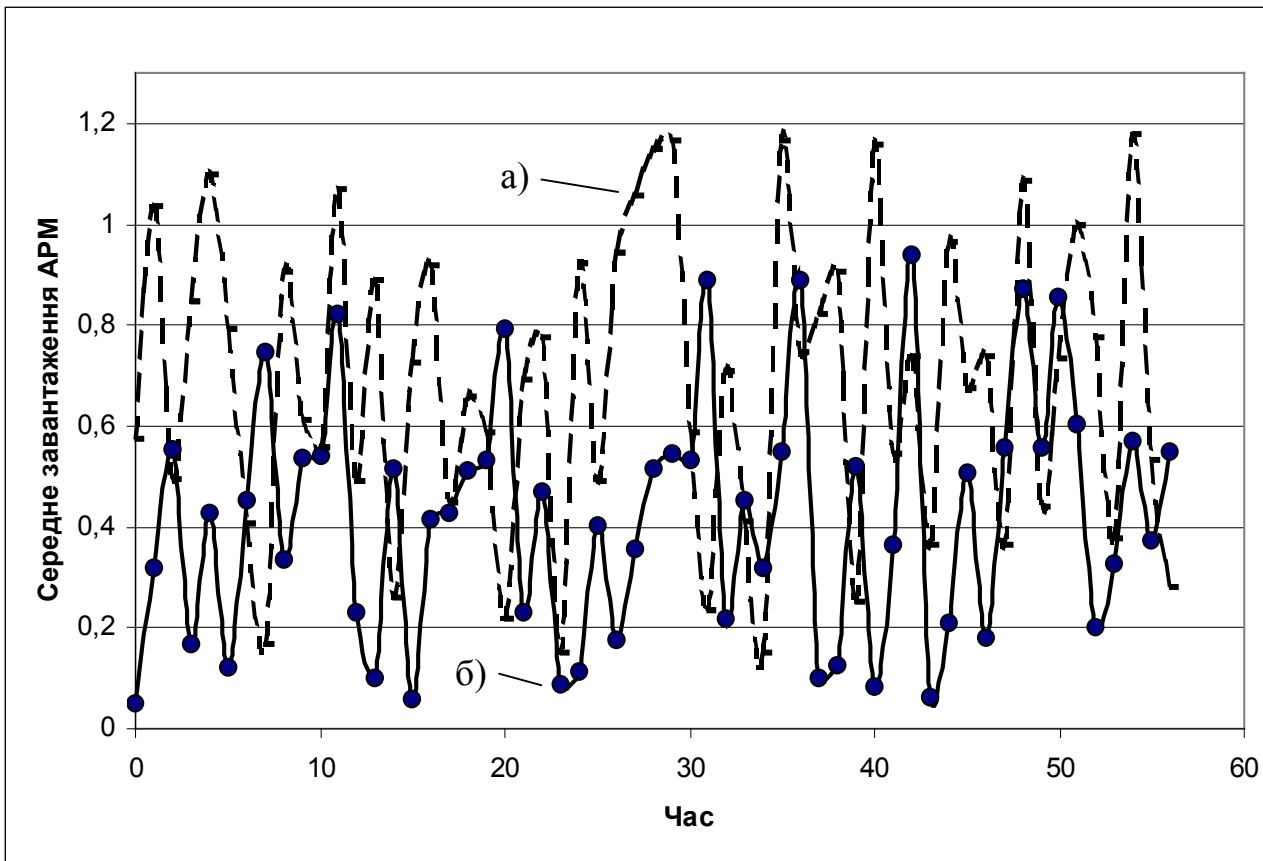


Рисунок 6 – Графік динаміки середнього завантаження в часі для інтенсивності загального потоку  $\lambda=0,5$ : а) – для стратегії, що не є оптимізованою; б) – для стратегії, що оптимізована.

На основі розробленої інформаційної технології було створено комплекс програмних засобів–прототипів для підсистеми диспетчеризації та моніторингу системи електронного документообігу, розробленого у рамках теми «Розробка програмного забезпечення для маршрутизації та моніторингу проходження електронних документів виконавчого комітету». Комплекс програмних засобів–прототипів використано як основу для створення повнофункціональної системи електронного документообігу в рамках системи «Електронний виконком».

Систему моніторингу та диспетчеризації впроваджено у службі керування персоналом ПрАТ «Науково-технічний центр «Інформаційні системи». За результатами досліджень виявилось, що у ОТС департаменту керування персоналом ско-

ротився на 32,3% середній час виконання операцій та зменшився на 24 % час очікування у чергах на виконання операцій.

Результати дисертаційних досліджень у вигляді системи моніторингу та диспетчеризації процесів виробництва впроваджено на ООО «Статус». За рахунок підвищення ефективності оперативного управління виробництвом скоротилися витрати часу на планування та перепланування робіт, час виконання завдань скоротився у середньому на 14,3 %.

Впровадження СМД також відбулося у Випробувальному центрі продукції вагонобудування державного підприємства «УкрНДІВ». При експлуатації програмного забезпечення за рахунок підвищення ефективності оперативного управління випробуваннями середній час виконання завдань скоротився на 15,2 %.

## ВИСНОВКИ

Внаслідок проведеного дослідження отримано теоретичні та практичні результати, які забезпечують розв'язання актуальної науково-прикладної проблеми – створення методологічних засад і відповідних технологічних засобів динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованих організаційно-технічних системах. У дисертаційній роботі одержані такі результати:

1. Аналіз тенденцій розвитку методологій побудови інформаційних систем, проблем розподілення виконавчих ресурсів в існуючих структурах ОТС, аналіз існуючих технологій автоматизації бізнес-процесів, відомих критеріїв якості та ефективності ОТС, існуючих методів динамічної маршрутизації в системах масового обслуговування показав актуальність і доцільність розробки методології створення інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в рамках концепції застосування ієрархічної системи програмних агентів в ОТС.

2. Побудовано методологічні основи створення інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованих організаційно-технічних системах. Зокрема:

– удосконалено методологію створення засобів динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованих організаційно-технічних системах. До комплексу методологічних принципів включені принцип конвергенції онтологій предметної області і системи управління, принцип рефлексивного переходу і його формалізований опис, а також включені етапи стратифікації онтологій за аспектними рівнями, що дозволяє схематизувати та прискорити процес синтезу комплексу моделей і методів, які становлять у своїй сукупності і взаємозв'язку потрібну інформаційну технологію;

– отримав подальший розвиток комплекс формальних ознак показників, призначених для оцінки ефективності операцій зі змінними в часі параметрами, що дає можливість формувати обґрунтовані критерії ефективності операцій та процесів.

3. Розроблено інформаційну модель багатофазного обслуговування БП і БО, яка подана у вигляді формального теоретико-множинного опису з відображенням зв'язків БП і БО різних класів в спільному операційному просторі за допомогою

набору матриць, що дає можливість побудови адекватного відображення і узгодження динаміки зміни станів множини БП і множини БО.

4. Створено комплекс моделей багатофазного обслуговування заявок на виконання бізнес-операцій. В моделях враховані динамічні зв'язки бізнес-процесів, окремих бізнес-операцій і вузлів обслуговування, а також часові показники ОТС, що дає можливість адекватного відображення і узгодження динаміки зміни станів множин робочих місць, бізнес-процесів і бізнес-операцій.

5. Розроблено елементи інформаційної технології формування компетенцій програмних агентів в автоматизованій ОТС, а саме:

- модель спеціалізованого сервісу організаційно-технічної системи, яка заснована на використанні програмного агента, і включає модель агента, модель компетенції агента і комплекс моделей інтерпретації природномовних словосполучень, що дозволяє будувати контрольовану багатоагентну систему для виконання бізнес-процесів, яка швидко адаптується до нових бізнес-операцій;
- комплекс моделей формування компетенції програмного агента, який містить модель анкетної мови, концептуальну та формальну модель інтерпретації словосполучень та модель визначення найбільше значимих аспектів бізнес-операції, що дозволяє швидко формувати різні компетенції агентів з мінімальним використанням мов програмування.

6. Створено модель взаємодії агентів на трьох рівнях, яка враховує множину функцій виконання, моніторингу та диспетчеризації та відносини відповідних ролей в процесі виконання бізнес-операцій, що дозволяє здійснювати контроль завантаження та стан всіх АРМ, довжину черг, діагностику збоїв і динамічний розподіл по АРМ заявок на виконання бізнес-операцій.

7. Розроблено комплекс критеріїв оцінки ефективності бізнес-операцій і бізнес-процесів, що реалізуються спільно людиною та ботом. В комплексі враховані окремі вартісні оцінки часу функціонування людини і бота та ймовірності успішного виконання операції за відведений нормативами час, що дало можливість динамічного прогнозного оцінювання ефективності обробки заявок на виконання бізнес-операцій і адаптивної зміни траєкторії руху бізнес-процесу в умовах мінливої операційної обстановки.

8. Розроблено метод динамічного розподілу заявок по функціональних вузлах при виконанні бізнес-процесів в організаційно-технічній системі, в якому здійснюється послідовний відбір вузлів з максимальною компетентністю, ранжування черг за критерієм ціни затримки та урахування критичних ситуацій в вузлах. Це дає можливість оперативно здійснювати формування тимчасових виконавчих ланок організаційно-технічної системи під надходження бізнес-задач.

9. Розроблено адаптивну стратегію управління чергами в автоматизованих організаційно-технічних системах, яка враховує в якості ознак ступінь інтенсивності потоку заявок, ступінь компетентностей виконавців та ступінь завантаження робочих місць, що дозволяє реалізувати процес структурної адаптації системи до змін у оперативній обстановці. Стратегія експериментально апробована на імітаційній моделі і показала свою працездатність.

10. Розроблено метод адаптації стратегії управління чергами в організаційно-технічній системі, який відрізняється тим, що для оптимального вибору параметрів стратегії застосовано еволюційний алгоритм і таблицю прийняття рішень щодо поточної ситуації, що дає можливість при зміні розподілу вхідних потоків вибрати найкращі умови багатофазного обслуговування в процесі випадкового надходження вимог на виконання бізнес-процесів відомих класів.

11. Розроблено формальні моделі розпізнавання ситуацій і правила прийняття рішень для усунення критичних ситуацій на рівні агента-монітора робочих місць та на рівні агента-диспетчера організаційно-технічної системи. В моделях використовуються як одномоментні ознаки, так і послідовності подій та ключові словосполучення, що супроводжують виконання операцій. Це дозволяє реалізувати інформаційну технологію динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованій організаційно-технічній системі і підвищити надійність виконання бізнес-процесів.

12. Створено та реалізовано методологічно обґрунтовану інформаційну технологію динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС. В інформаційну технологію входять комплекси інформаційних процесів автоматизованого виконання бізнес-операцій, моніторингу виконання бізнес-операцій, диспетчеризації проходження бізнес-процесів та маршрутизації заявок, адаптації стратегії управління чергами та дворівневого контролю і діагностики. Зокрема, розроблено структуру системи моніторингу і диспетчеризації та архітектуру програмного комплексу.

13. Проведено дослідження ефективності застосування теоретичних та практичних результатів роботи на імітаційній моделі та в задачах управління конкретними об'єктами. Запропоновані методи та моделі були використані в задачах автоматизації документообігу виконавчого комітету м. Кременчука, управління департаменту керування персоналом ПрАТ «Науково-технічний центр «Інформаційні системи», випробувального центру державного підприємства «УкрНДІВ» та ООО «Статус».

Одержані теоретичні результати відкривають можливість науково обґрунтованого розв'язання актуального кола прикладних задач, пов'язаних з автоматизацією обробки поточкових бізнес-процесів на основі методології та інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС.

## **СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ**

[1] И. Г. Оксанич, "Обоснование использования системного подхода в задачах синтеза структуры функциональных систем", *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, № 5 (112), с. 52–58, 2018.

[2] И. Г. Оксанич, и И. В. Шевченко, "Подходы к формированию методологии синтеза адаптивных исполнительных структур в организационно-технических системах", *Радіоелектроніка та інформатика*, № 4 (87), с. 61–68, 2019.

[3] И. Г. Оксанич, И. В. Шевченко, и Ю. А. Краснополяская, "Отображение описания бизнес-процесса в операционное пространство организационно-технической системы", *Радіоелектроніка та інформатика*, № 2 (85), с. 54–60, 2019.

[4] И. В. Шевченко, И. Г. Оксанич, и И. С. Конох, "Модель и метод динамического формирования исполнительных структур в роботизированных организационно-технических системах", *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, вип. 5(118), с. 103–109, 2019.

[5] И. В. Шевченко, и И. Г. Оксанич, "Концептуальное моделирование организационно-технических систем", *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*, № 1 (475), с. 173–180, 2019.

[6] И. Г. Оксанич, и И. В. Шевченко, "Модели распознавания ситуаций и ошибок выполнения бизнес-операций в роботизированной организационно-технической системе", *Комп'ютерне моделювання: аналіз, управління, оптимізація*, № 2 (6), с. 51–57, 2019. DOI: 10.32434/2521-6406-2019-6-2-51-57.

[7] И. Г. Оксанич, О. П. Слюсаренко, та И. В. Шевченко, "Формування компетенцій агентів у багатоагентній системі, орієнтованій на виконання бізнес-операцій", *Вісник Вінницького політехнічного інституту*, № 6 (147), с. 91–98, 2019. DOI: 10.31649/1997-9266-2019-147-6-91-98.

[8] И. В. Шевченко, И. Г. Оксанич, и П. Д. Савушкин, "Адаптивная стратегия управления очередями в автоматизированной организационно-технической системе", *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, вип. 6 (119), с. 68–76, 2019.

[9] И. Г. Оксанич, И. В. Шевченко, О. В. Калюжный, и В. А. Мизин, "Взаимодействие агентов в информационной технологии динамического формирования исполнительных структур", *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, вип. 1(120), с. 99–106, 2020. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.1.99-106

[10] И. Г. Оксанич, "Кибернетическая сущность показателя эффективности", *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*, т. 30(69), ч. 1, № 1, с. 104–109, 2019.

[11] И. Г. Оксанич, "Синтез архитектуры управляемой системы с использованием агентного подхода", *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*, т. 30 (69), ч.1, № 5, с. 132–137, 2019. DOI: 10.32838/2663-5941/2019.5-1/21.

[12] I. Lutsenko, E. Fomovskaya, I. Oksanych, E. Vikhrova, and O. Serdiuk, "Formal signs determination of efficiency assessment indicators for the operation with the distributed parameters", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, iss. 4(85), pp. 24–30, 2017. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.91025.

[13] I. Lutsenko, E. Fomovskaya, I. Oksanych, S. Koval, and O. Serdiuk "Development of a verification method of estimated indicators for their use as an optimization criterion", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. vol. 2, iss. 4 (86), pp. 17–23, 2017. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.95914.

[14] I. Lutsenko, S. Koval, I. Oksanych, O. Serdiuk, and H. Kolomitc, "Development of Structural-parametric Optimization Method in Systems with Continuous Feeding of Technological Products", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 4, iss. 2(94), pp. 55–62, 2018. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.136609.

[15] I. Lutsenko, I. Oksanych, I. Shevchenko, and N. Karabut, "Development of the method for modeling operational processes for tasks related to decision making", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, iss. 4 (92), pp. 26–32, 2018. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.126446.

[16] И. Г. Кротюк, и И. В. Шевченко, "Формирование многоуровневых оценок качества производственных процессов", *Нові технології. Науковий вісник КВЕІТУ*, № 3(13), с. 89–94, 2006.

[17] I. Lutsenko, E. Fomovskaya, I. Konokh, and I. Oksanych, "Development of a method for the accelerated two-stage search for an optimal control trajectory in periodical processes", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, iss. 2 (87), pp. 47–55, 2017. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.103731.

[18] I. Lutsenko, I. Oksanych, D. Prykhodko, S. Koval, O. Feoktystova, and I. Kolos, "Synthesis of the structure of functional systems of conversion class with a portional supply of initial products", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6, iss. 4 (96), pp. 32–40, 2018. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150848.

[19] И. А. Луценко, Е. В. Фомовская, И. Г. Оксанич, и О. Ю. Сердюк, "Разработка метода верификации критерия для оптимизации операционных процессов с распределенными параметрами", *Радіоелектроніка, інформатика, управління*, вип. 3 (42), pp. 161–174, 2017. DOI: 10.15588/1607-3274-2017-3-18.

[20] I. Konokh, I. Oksanych, and N. Istomina, "Automatic Search Method of Efficiency Extremum for a Multi-stage Processing of Raw Materials", *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making*. Springer, Cham, vol. 1020, pp. 225–241, 2019. DOI: 10.1007/978-3-030-26474-1\_17.

[21] I. Oksanych, I. Shevchenko, I. Shcherbak, and S. Shcherbak, "Development of specialized services for predicting the business activity indicators based on micro-service architecture", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, iss. 2 (86), pp. 50–55, 2017. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.98991.

[22] I. Г. Оксанич, О. О. Скриль, О. В. Калюжний, П. Д. Савушкін, та В. А. Мізін, "Архітектура системи моніторингу і диспетчеризації бізнес-процесів", *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, вип. 3 (122), с. 106–113, 2020. DOI: 10.30929/1995-0519.2020.1.99-106

[23] I. Lutsenko, A. Oksanych, O. Fomovskaya, I. Oksanych, D. Mospan, and O. Serdiuk, "Development of a method for determining the optimal control trajectory for the periodic processes", *EUREKA: Physics and Engineering*, № 3, pp. 59–68, 2019.

[24] И. А. Луценко, И. В. Шевченко, И. Г. Оксанич, Н. Н. Истомина, и В. В. Найда, "Разработка метода формирования моделей операций в условиях неопределенности", на *Міжнарод. наук. конф. Інтелектуальні системи прийняття рішень і проблеми обчислювального інтелекту ISDMCI'2020*, Херсон, 2020, с. 83–85.

[25] I. Г. Оксанич, "Етапи і основні принципи методології синтезу виконавчих структур", на *VI Міжнарод. наук.-практ. конф. Нанівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка*, Кременчук, 2020, с. 80–81.

[26] I. Г. Оксанич, "Комплекс моделей формування компетенції інтелектуального агента", на *VII Всеукр. наук.-практ. конф. IT-Перспектива*, Кременчук, 2020, с. 21–23.

[27] І. Г. Оксанич, та П. Д. Савушкін, "Діагностування ситуацій та інформаційна підтримка процесів адаптації виконавчих структур організаційно-технічних систем", на *VI Міжнарод. наук.-практ. конф. Інформаційні технології та взаємодії*, Київ, 2019, с. 155–159.

[28] І. Г. Оксанич, и И. В. Шевченко, "Информационная модель многофазного обслуживания заявок", на *IV Всеукр. наук.-практ. конф. Перспективні напрями сучасної електроніки, інформаційних і комп'ютерних систем*, Дніпро, 2019, с. 45–46.

[29] І. Г. Оксанич, и И. В. Шевченко, "Метод динамического формирования исполнительных структур организационно-технической системы", на *XVIII Міжнарод. наук.-техн. конф. Фізичні процеси та поля технічних і біологічних об'єктів*, Кременчук, 2019, с. 139–140.

[30] І. Г. Оксанич, и И. В. Шевченко, "Структурные модели бизнес-процесса и бизнес-операции", на *VIII Міжнарод. наук.-техн. конф. Інформаційні системи і технології*, Харків, 2019, с. 100–101.

[31] I. Oksanych, I. Lutsenko, S. Koval, and N. Rylova, "Modeling a convertor-class interactive system", in *IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology ELNANO-2019*, Kyiv, 2019, pp. 50–53.

[32] І. Г. Оксанич, "Розробка методу оптимізації для оперативної адаптації стратегії управління чергами", на *VI Всеукр. наук.-практ. конф. IT-Перспектива*, Кременчук, 2019, с. 27–30.

[33] І. Г. Оксанич, "Онтологическая модель задачи синтеза структуры управляемой системы", на *IX Міжнарод. наук.-техн. конф. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем*, Чернігів, 2019, с. 233–236.

[34] І. Г. Оксанич, "Розвиток методу верифікації оціночних показників для їх використання у якості критерію оптимізації", на *Міжнарод. наук.-практ. конф. Комп'ютерні технології і мехатроніка*, Харків, 2019, с. 122–125.

[35] I. Oksanych, I. Lutsenko, S. Koval, and N. Rylova, "The synthesis of the functional systems structure by the example of liquid heating workflow", in *IEEE 2nd Ukraine Conference on Electrical and Computer Engineering UKRCON-2019*, Lviv, 2019, с. 1022–1027.

[36] І. Г. Оксанич, "Идентификация диапазона эффективных управлений для систем преобразовательного класса", на *Міжнарод. наук.-практ. конф. Вітчизняна наука на зламі епох: проблеми та перспективи розвитку*, Переяслав-Хмельницький, 2019, с. 157–160.

[37] І. Г. Оксанич, и И. В. Шевченко, "Концептуальна модель задачі структурної адаптації керованої системи", на *V Міжнарод. наук.-практ. конф. Нанівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка*, Кременчук, 2018, с. 161–163.

[38] I. Oksanych, "Комплекс критеріїв оцінки якості функціонування автоматизованої організаційно-технічної системи", in *IV International Scientific and Practical Conference*, Stockholm, 2020, pp. 432–435.

## АНОТАЦІЯ

**Оксанич І. Г. Методологічні основи та інформаційна технологія динамічного розподілу виконавчих ресурсів в організаційно-технічних системах. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.13.06 «Інформаційні технології». – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2021.

Дисертаційну роботу присвячено вирішенню актуальної науково-прикладної проблеми створення методологічних засад і технологічних засобів динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованих організаційно-технічних системах.

Удосконалено методологію створення технологічних засобів динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованих організаційно-технічних системах. До комплексу методологічних принципів включені принцип конвергенції онтологій предметної області і системи управління, принцип рефлексивного переходу і його формалізований опис, а також включені етапи стратифікації онтологій за аспектними рівнями. Синтезовано структурні, динамічні, інформаційні моделі, а також методи, що складають основу інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів. Створено та реалізовано інформаційну технологію динамічного розподілу виконавчих ресурсів в організаційно-технічних системах.

Наведено результати експериментів на імітаційній моделі та результати впровадження, які довели працездатність та ефективність системи моніторингу і диспетчеризації бізнес-процесів на основі методів і моделей динамічного розподілу виконавчих ресурсів в організаційно-технічних системах.

**Ключові слова:** організаційно-технічні системи, динамічний розподіл виконавчих ресурсів, методологія, методи, моделі, інформаційна технологія.

## АННОТАЦИЯ

**Оксанич И. Г. Методологические основы и информационная технология динамического распределения исполнительных ресурсов в организационно-технических системах. Квалификационная научная работа на правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 «Информационные технологии». – Винницкий национальный технический университет, 2021

Диссертационная работа посвящена решению актуальной научно-прикладной проблемы создания методологических основ и технологических средств динамического распределения исполнительных ресурсов в автоматизированных организационно-технических системах.

Усовершенствована методология создания технологических средств динамического распределения исполнительных ресурсов в автоматизированных организационно-технических системах. В комплекс методологических принципов включены принцип конвергенции онтологий предметной области и системы управления, принцип рефлексивного перехода и его формализованное описание, а также включены этапы стратификации онтологий по аспектным уровнями. Синтезированы структурные, динамические, информационные модели, а также методы, сос-



тавляющие основу информационной технологии динамического распределения исполнительных ресурсов в автоматизированных организационно-технических системах. Разработана и реализована информационная технология динамического распределения исполнительных ресурсов.

Приведены результаты экспериментов на имитационной модели и результаты внедрения, которые доказали работоспособность и эффективность системы мониторинга и диспетчеризации бизнес-процессов на основе методов и моделей динамического распределения исполнительных ресурсов в организационно-технических системах.

**Ключевые слова:** организационно-технические системы, динамическое распределение исполнительных ресурсов; методология, методы, модели, информационные технологии.

## ABSTRACT

***Oksanych I. G. Methodological basics and information technology for dynamic distribution of executive resources in organizational and technical systems.***

Thesis for the degree of a doctor of technical sciences in specialty 05.13.06 «Information technology». – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2021.

The dissertation work is devoted to solving the actual scientific and applied problem of creating methodological foundations and technological means of dynamic distribution of executive resources in automated organizational and technical systems (OTS).

A conceptual ontological model of the problem domain of synthesis of the structure of the controlled executive system has been offered. It provides theoretical prerequisites for solving the problem of optimal formation of executive groups within the organizational and technical systems and allows nesting and multilevelling in the synthesis of continuous and discrete controlled systems.

Approaches to construction of the methodology of synthesis of adaptive executive structures in automated OTS have been improved. The set of methodological principles includes the principle of convergence of ontologies of the subject domain and control system, the principle of reflexive transition and its formalized description, as well as the stages of stratification of ontologies by aspect levels. This makes possible to schematize and accelerate the process of synthesis of a set of logical, mathematical, functional models and methods whose aggregation and interaction design the required information technology.

The concept of the generalized structure of the control system of the production class has been created, which provides for the application of a nested matrix description of links between the system elements and agent approach. This provides a methodological basis for building a set of automatic and ergatic systems with the dynamic formation of executive structures in different subject domains.

A set of formal features of indicators designed to assess the effectiveness of operations with time-varying parameters has been enhanced. This makes it possible to form reasonable criteria for the effectiveness of business operations and business processes.

A model of interaction of agents at three levels in the robotic OTS, which takes into account a set of functions of execution, monitoring and scheduling as well as

relationships of relevant roles in the process of business operations. This allows to control the load and status of all workstations, queue length, fault diagnosis and dynamic distribution of applications for business operations on workstations.

A complex of criteria for evaluating the effectiveness of business operations and business processes co-performed by a human and a robot has been developed. This makes possible dynamic predicted estimation of the effectiveness of applications processing for business operations and adaptive changes in the trajectory of the business process in a changing operational environment.

The method of dynamic distribution of applications on functional knots at of business processes performance in OTS has been developed. This lets quickly carry out the formation of temporary executive structures of the organizational and technical system for business tasks.

An adaptive queue management strategy in automated organizational and technical systems has been developed. This enables implementation of the process of structural adaptation of the system to changes in the operational environment. The strategy was experimentally tested on the simulation model and proved its effectiveness.

A method for adapting the queue management strategy in a robotic organizational and technical system has been developed. This makes it possible to change the distribution of input flows to choose the best conditions for multi-phase service in the process of random receiving of requirements for the implementation of business processes of known classes.

Formal models for situation recognition and decision-making rules have been developed to eliminate critical situations at the workplace monitor level and at the level of the robotic OTS manager. This enables implementation of the information technology for dynamic formation of executive structures in the robotic OTS and improvement of quality and reliability of business processes.

Methodologically grounded information technology for dynamic distribution of executive resources in OTS has been created. This provides complex automation and robotization of processes in organizational and technical systems and increases efficiency in general.

The information technology for dynamic distribution of executive resources in OTS in the form of a software complex has been realized. The presented results of experiments prove the operability and efficiency of the system of monitoring and scheduling of business processes on the basis of methods and models of dynamic formation of executive structures in OTS.

The practical significance of the obtained results is in improvement of the quality of functioning of technical and organizational systems through construction and application of the information technology for dynamic distribution of executive resources in OTS. A study of the effectiveness of theoretical and practical results application in the management of specific objects in order to improve the quality of their operation has been carried out.

**Keywords:** organizational and technical systems, dynamic distribution of executive resources, methodology, methods, models, information technology.

Оксанич Ірина Григорівна

**МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ТА ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ  
ДИНАМІЧНОГО РОЗПОДІЛУ ВИКОНАВЧИХ РЕСУРСІВ  
В ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМАХ**

(Автореферат)

Підписано до друку 02.03.2021. Формат 30x42/4  
Папір Polspeed. Друк лазерний. Умовн. друк. арк. 1,9.  
Обліково-видавн. арк. 1,9. Наклад 100 прим. Зам. № 20340.

Редакційно-видавничий відділ  
Кременчуцького національного університету  
імені Михайла Остроградського  
Першотравнева, 20, м. Кременчук, Полтавська обл., 39600  
**Реєстраційне свідоцтво серії ДК № 4837 від 22.01.2015**