

МОДЕЛІ ІЄРАРХІЧНОЇ БАГАТОАГЕНТНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ВИКОНАННЯ БІЗНЕС-ПРОЦЕСІВ**М. Ю. Мартюк, І. Г. Оксанич, І. В. Шевченко**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

ORCID: 0000-0002-4570-711X; 0000-0003-3009-8611

Одним з ключових моментів у питаннях, що пов'язані з функціонуванням і розвитком організаційно-технічних систем, є управління організаційними процесами. В сучасному світі вирішення цих питань стає все більш трудомістким завданням, оскільки організаційна структура таких систем постійно змінюється під впливом процесів глобалізації та діджиталізації. Множину бізнес-процесів, які проходять скрізь множину автоматизованих робочих місць, доцільно представити як сукупність потокових процесів. Причому слід відзначити, що значні резерви оптимізації потокових процесів залишаються незадіяними, тому що в більшості випадків в існуючих моделях не враховується їх взаємодія та динамічний вибір оптимального розподілу робіт між виконавцями. Тому застосування класичних методів і засобів керування потоками бізнес-процесів на даний час не дає вагомого поліпшення ефективності організаційно-технічних систем. В роботі вирішуються наступні завдання: синтезовано структурні, динамічні, інформаційні моделі, розроблена модель взаємодії агентів на трьох рівнях в складі автоматизованої організаційно-технічної системи, яка враховує множину функцій виконання, моніторингу і диспетчеризації та відношення відповідних ролей в процесі виконання бізнес-операцій, що дозволяє здійснювати контроль стану всіх АРМ, а отже і динамічний розподіл по АРМ заявок на виконання бізнес-операцій. Це дає можливість ефективної автоматизації процесів з мінімальними втратами на очікування виконання заявок.

Ключові слова: програмні агенти, бізнес-процеси, модель агента, модель взаємодії агентів.

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ. 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. Крім того, виконавчим структурам, які входять у такі системи, притаманна здатність самостійного розподілу ресурсів між власними елементами, а також адаптація своєї структури для забезпечення ефективного функціонування. Проблеми підвищення ефективності ОТС часто полягають у знаходженні оптимальної виконавчої структури, або оптимального розподілу виконавчих ресурсів, який забезпечить досягнення поставленої мети з найменшими втратами. Іншими словами, користувачі бачать проблему в низькій ефективності організаційно-технічних систем.

Більшість ОТС (підприємств та їх підрозділів) будуються за ієрархічним принципом. Ієрархічна багаторівнева структура має наступні істотні характеристики: можливість вертикальної декомпозиції системи на підсистеми; пріоритет дій або право втручання підсистем верхнього рівня; залежність дій підсистем верхнього рівня від фактичного виконання нижніми рівнями своїх функцій. Такий спосіб побудови, з одного боку, дає можливість узагальнювати інформацію та приймати адекватні рішення, а, з другого боку, створює дуже велику інерційність, у тому числі, інерційність щодо швидкості зміни складу виконавчих структур. Але саме тут є резерви підвищення ефективності, оскільки будь-який бізнес-процес створює потік заявок на виконання бізнес-операцій. Розподіл заявок між автоматизованими робочими місцями відбувається, найперше, відповідно до бізнес-логіки, але при цьому – з урахуванням компетенцій співробітників і їх поточного завантаження. Оскільки схожі компетенції зазвичай мають кілька співробітників, виникає можливість варіювати маршрути бізнес-процесів через мережу АРМ. Таким чином, ми приходимо до можливості та необхідності динамічного розподілу заявок або до динамічного формування тимчасових виконавчих структур при виконанні множини бізнес-процесів. Але, як

показує аналіз, в існуючих моделях не враховується взаємодія бізнес-процесів та не реалізовано оптимальний розподіл завдань між виконавцями. Тому застосування класичних методів і засобів керування потоками бізнес-процесів на даний час не дає вагомого поліпшення ефективності ОТС.

Це відбувається через те, в існуючих моделях не враховується взаємодія людей, програмних агентів і процесів що виконуються. Це не дозволяє здійснювати оптимальний динамічний розподіл робіт між виконавцями. Тому актуальним є створення комплексу формальних моделей, які описують з одного боку протікання бізнес-процесів, а з іншого боку – взаємодію виконавців, серед яких є і робітники ОТС і програмні агенти.

Таким чином, одним із значних резервів підвищення ефективності оперативного управління підприємством або організацією є оптимізація взаємодії сукупності виконавців (програмних агентів та людей) шляхом глибокої автоматизації бізнес-процесів і динамічного розподілу ресурсів виконавчих структур, що виконують потокові процеси в умовах мінливих параметрів зовнішнього середовища.

Робота [1] присвячена дослідженню та встановленню відношень між програмними агентами та людьми в рамках мережі соціального співробітництва. В роботі [2] обговорюються етичні, соціальні і юридичні наслідки цих технологій і стверджується, що вони можуть посилювати чи послаблювати важливі психологічні властивості людей. В роботі [3] наводиться приклад використання програмних агентів для управління ланцюгами поставок. Агенти спілкуються за допомогою обміну повідомленнями з посиленням на загальну онтологію для агентів, які беруть участь в переговорах. Ця онтологія формує основу взаємодії між агентами, а засоби структурування знань предметної області дозволяють програмним агентам ділитися доступними знаннями і виявляти нові знання. Програмні агенти розробляються на платформі JADE. В роботі [4] розглядаються загальні принципи побудови багатоагентних систем групового управління. Робота [5] наводить конкретний приклад застосування програмних агентів для оцінювання стану електроенергетичних систем.

У роботі [6] розроблені шаблони програмних модулів для взаємодії з програмними агентами в сере-

довищі мультимедіа. Взаємодію з агентом (Java API) побудовано на основі бібліотеки рівня взаємодії з агентом, яка представляє API для розробки голосових і мультимедійних додатків в клієнтському або серверному режимах. Java API дозволяє створювати додатки для контролю і управління голосом і мультимедіа при взаємодіях, які призначені для агента контакт-центру. Але такий підхід є дуже вузьким, він не передбачає колективну взаємодію програмних агентів між собою та з людьми-виконавцями, які працюють на робочих місцях.

В роботі [7] запропонована структура гетерогенних комунікацій програмних агентів. Дано математичне уявлення з використанням механізмів координації. Цей процес дозволяє математично оцінити і підтвердити пропоновані рішення шляхом агентного моделювання та імітації (ABMS). Однак, в роботі [7] розглядається тільки модель взаємодії агентів без прив'язки до проблемної області ОТС. Не приділено уваги потоковим процесам і функціям людей – менеджерам і користувачів.

Метою нашої роботи є створення набору моделей, які формально описують операційний простір ОТС і взаємодію програмних агентів різних ролей при виконанні бізнес-операцій (БО). Наявність такого комплексу моделей дозволяє створити інформаційну технологію моніторингу та маршрутизації бізнес-процесів та знизити витрати на виконання бізнес-операцій.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ. Для структурування операційного простору множини БП розроблено формальний теоретико-множинний опис БП і БО. 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.

З урахуванням сказаного, теоретико-множинну модель БП опишемо наступним виразом:

$$BP = \langle C^{BP}_{BO}, G_{BP}, SO_{BP}, QM_{BP}, cd_{BP} \rangle \quad (1)$$

В свою чергу модель БО представимо виразом:

$$BO = \langle C_{BO}, Code_{BO}, R_{BO}, MO_{BO}, S_{MO}, CA_{BO}, KB_{BO}, TO_{BO}, V_{BO}, Q_{BO}, cd_{BO} \rangle, \quad (2)$$

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 виконання MO ; CA_{BO} – множина алгоритмічних блоків (А-блоків), що задіяні для виконання операцій класу C_{BO} ; KB_{BO} – база знань (b-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.

Таким чином, множини бізнес-операцій розбито на S незалежних підмножин-класів:

$$C_{BO1}, C_{BO2}, \dots, C_{BOv}, C_{BOc}, \quad (3)$$

де $C_{BOv} \in CO_{BO}$, $Ov \cap Ow = 0$, $v, w = 1, 2, \dots, c$, $v \neq w$.

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

$$MO = \langle N, C_{MO}, X, P, E, CX, CE, D, C \rangle, \quad (4)$$

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.

Розглянемо матричну модель бізнес-процесу. Дана модель повинна відображати статичні зв'язки (відносини) між об'єктами операційного простору ОТС.

Інформаційну модель БП опишемо виразом:

$$BPMM = \langle SMBP, AM, E(t), B(t), TM, CD, CM \rangle, \quad (5)$$

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. Індикація матриці відповідає індикації БО – $i=1..I$.

Різниця матриць суміжності двох БП показує ступінь подібності процесів; $E(t)$ – 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. Кожен стовпець з індексом $n=1..N$ відповідає номеру функціонального вузла (АРМ). До номеру рядка r прив'язані номери БП і БО. Значення 0 означає, що дана БО не виконується на даному вузлі; значення 1,2,3 ... означають номер в черзі до вузла; 1 – йде обробка заявки; $B(t)$ – матриця-рядок для збору і фіксації даних про закінчення часу обробки заявок на вузлах. Індексом в цьому рядку служить n – номер АРМ; TM – матриця норм часу обробки всіх БО на всіх вузлах. Кожен рядок відповідає номеру i БО, кожен стовпець – номеру n АРМ; CD – матриця ціни затримок БО з усіх актуальних БП. Кожен рядок відповідає номеру i БО, кожен стовпець – номеру j БП; CM – матриця компетенцій – елементи cm_{ij} містять ймовірності успішного і своєчасного виконання i -ї БО на n -му АРМ;

Крім перерахованих матриць при аналізі ефективності БП використовуються матриці, що містять значення показників ефективності.

Запишемо теоретико-множинне подання агента у вигляді:

$$M = \langle A, FA(SO), K, RA, CC, AM(S, RF) \rangle, \quad (6)$$

де A – множина ролей агентів; FA – множина фу-

нкцій 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.

Компетенцію агента опишемо кортежем виду:

$$K^{BO} = \langle S_{MO}, NB, DB \rangle, \quad (7)$$

де S_{MO} – послідовність мікрооперацій (сценарій, що реалізує бізнес-логіку БО); NB – база знань, що включає засоби комунікації на проблемно-орієнтованій природній мові, 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.

Після представлення моделі у такому вигляді, зрозуміло, що компетенції та автоматне ядро можна тиражувати у множині екземплярів, і це спрощує процес створення агентів.

Тепер розглянемо загальну структуру системи моніторингу та диспетчеризації (СМД), яка реалізована як тривірнева (рис. 1).

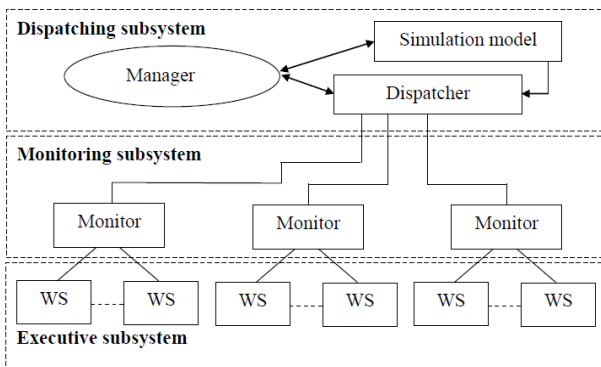


Рисунок 1 – Загальна структура системи диспетчеризації та моніторингу

На нижньому рівні розташовуються робочі станції ОТС (сукупність WS та мережеве обладнання). Кожний співробітник – користувач WS, врахований в базі даних як володар набору компетенцій, необхідних для виконання певних класів БО. Окремі бізнес-операції виконують програмні агенти нижнього рівня – боти. При цьому співробітники контролюють проміжні і кінцеві результати БО через інтерфейс бота. Кожний співробітник може одночасно контролювати від однієї до трьох БО.

Другий рівень СМД утворює підсистема моніторингу. Програмні агенти-монітори є проміжною ланкою між програмним агентом диспетчеризації, ботами та h-агентами. Кожен монітор працює з групою WS.

Беручи від диспетчера чергову заявку на виконання БО певного БП, монітор формує бота, поєднуючи ядро бота і потрібну в даний момент b-компетенцію (сценарій виконання БО, що включає програмний код, набір ключових словосполучень і зразковий лог виконання БО, що містить часові рамки для кожної мікрооперації). Запускаючи бота, монітор сповіщає користувача, і повідомляє йому тип БО і номер БП. Користувач підтверджує прийом заявки та при необхідності контролює хід БО.

Це дозволяє будувати контрольовану багатоагентну систему для виконання бізнес-процесів, яка швидко адаптується до нових бізнес-операцій.

Але при розробці моделі взаємодії агентів необхідно враховувати наступне:

- кожен агент виконує попередньо встановлену роль, яка у свою чергу визначається деякою компетенцією;
 - агенти існують і приймають рішення в умовах інформаційної залежності, що спричиняє необхідність інформаційного обміну між ними;
 - агенти повинні узгоджувати та синхронізувати свої дії при вирішенні спільних завдань.
- Отже, модель взаємодії між агентами можна уявити набором:

$$IM = \langle L(RD, V, D_S, D_P, MS), P_A, r_s, r_t, RI \rangle, \quad (8)$$

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 повідомлення; 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:

$$MS = \langle T, T_M, M \rangle, \quad (9)$$

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

Розглянемо функції агентів та відношення між ними. Функції диспетчера:

1. Контролювати чергу БП і ранжувати її за вартістю затримок.
 2. Здійснювати контроль черг заявок на виконання БО за допомогою механізму покажчиків (довжина кожної черги в одиницях, за часом, за вартістю затримки).
 3. Ранжування черг за вартістю затримок.
 4. Маршрутизація – формування заявок і їх розсилка по АРМ із зазначенням БП, етапу, вихідних даних і необхідних результатів.
 5. Розрахунок показника ефективності окремих бізнес-операцій та бізнес-процесів в цілому з використанням норм часу, ціни затримки, норм оплати часу h-агентів.
 6. Отримання інформації від моніторів:
 - 6.1 Ведення бази даних моніторингу роботи АРМ, включаючи стан заявок, прапори початку і закінчення процесу виконання бізнес-операції, прапори припинення, повторного виконання, закінчення черги, позначки часу і періоди простою АРМ.
 - 6.2. Перевірка логічних умов закінчення виконання декількох процесів при переході до наступної БО даного БП.
 7. Діагностика критичних ситуацій на рівні ОТС. Прийняття рішень і їх реалізація.
 8. Прийняття та реалізація рішень за повідомленнями про критичні ситуації на АРМ.
 9. Ситуативна комунікація з менеджером ОТС.
- Функції монітора:
1. Прийом заявок та їх первинна обробка.
 2. Формування b-агента.
 3. Запуск і зупинка процесу виконання заявки з видачею відповідних прапорів.

4. Ведення таблиці станів заявок.
5. Ведення лог-файлу по кожному процесу виконання заявки.
6. Призупинення процесу – виключення з черги на виконання всередині циклу виконання трьох процесів (обхід процесу) – прапор припинення.
7. Повторення процесу в разі потреби.
8. Діагностика критичних ситуацій на рівні АРМ і БО. Відправлення відповідних повідомлень диспетчеру.
9. Ситуативна комунікація з h-агентом.

- Функції b-агента:
1. Виконання програми-сценарію БО, до якої прив'язано завдання і вихідні дані.
 2. Ситуативна комунікація з h-агентом.
 3. Ситуативна комунікація з монітором.
- Згідно з виразом (8) складемо таблиці відношень між ролями агентів (табл. 1–3). Позначимо: «R» – отримувати від ...; «S» – відправляти до ...; "–" немає зв'язку.

Таблиця 1 – Таблиця комунікацій агента-диспетчера

Функція агента	Агенти адресати		
	h-агент	Монітор	Менеджер ОТС
1	–	–	–
2	–	R	S
3	–	–	–
4	S	S	–
5	–	–	S
6	–	R	–
6.1	–	R	S
6.2	–	–	–
7	R	R	R/S
8	R/S	R/S	R/S

Таблиця 2 – Таблиця комунікацій агента-монітора

Функція агента	Агенти адресати		
	h-агент	Диспетчер	Менеджер ОТС
1	–	–	–
2	–	R	S
3	–	–	–
4	–	–	–
5	–	S	–
6	–	S	–
7	–	S	S
8	R/S	–	–

Таблиця 3 – Таблиця комунікацій b-агента

Функція агента	Агенти адресати	
	h-агент	Монітор
1	–	R/S
2	R/S	R/S
3	–	–
4	–	–
5	–	S
6	–	S
7	–	S
8	R/S	–

Вирази (8) і (9) та таблиці 1–3 складають основну частину модельного опису взаємодії агентів різних ролей у процесі виконання бізнес-операцій і в процесі динамічної маршрутизації заявок. Додаткову частину складають діаграми послідовностей подій, які тут не наводяться. Отже, запропоновано модель взаємодії агентів трьох рівнів в складі автоматизованої ОТС, яка ураховує множини функцій виконання, моніторингу і диспетчеризації та відношення відповідних ролей в процесі виконання бізнес-операцій.

На основі розглянутих моделей розроблено структуру комплексу функціональних задач і структуру системи моніторингу і диспетчеризації, та архітектуру програмного комплексу СМД, визначено функції складових частин програмного комплексу, до якого входять модуль монітора для

взаємодії з АРМ, модуль монітора для обслуговування черги БО, модуль монітора для журналювання виконання БО, модуль реалізації взаємодії моніторів та диспетчера, модуль диспетчера для обробки черг БО, модуль диспетчера для адміністрування системи, модуль АРМ для виконання БО, модуль АРМ для трансляції сценаріїв БО, модуль АРМ для взаємодії з монітором, модуль АРМ для взаємодії з h-агентом.

Аналіз знайдених публікацій показав, що є кілька пов'язаних аспектів застосування програмних агентів в ОТС. Це, перш за все, організація тотального моніторингу операційного простору ОТС, тобто поточних станів процесів обробки заявок, черг і робочих станцій.

Вирішення цього завдання вимагає створення статичних і динамічних моделей бізнес-процесів.

При наявності такого інструментарію другим важливим аспектом є створення універсальної ієрархічної структури багатоагентної системи, в якій різні агенти виконують ролі виконавців, моніторів і диспетчерів. Така структура повинна передбачати регламентацію функцій агентів, моделі взаємодії агентів всіх трьох рівнів, способи комунікації між агентами і людьми.

У даній роботі зусилля були зосереджені саме на цих аспектах. На основі показаних моделей були розроблені також методи маршрутизації бізнес-процесів з урахуванням обмежених компетенцій виконавців, стратегія управління чергами та метод її адаптації. Ці результати представлені в роботах [8–10].

Практичне значення одержаних результатів полягає у підвищенні якості функціонування технічних та організаційних систем завдяки побудові і використанню інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС. Проведено дослідження ефективності застосування теоретичних та практичних результатів роботи в задачах управління конкретними об'єктами з метою підвищення якості їх функціонування.

Програмні модулі системи моніторингу забезпечують ведення обліку виконання робіт по робочих місцях, моніторинг часу виконання завдань та розрахунок витрат часу, контроль завантаження виконавців, оптимальний розподіл завдань з урахування

пріоритетності робіт, оперативну корекцію розподілу завдань з урахуванням поточної ситуації.

Випробування системи моніторингу та диспетчеризації в різних умовах (електронний документообіг, виробниче підприємство, департамент управління кадрами) показав зниження часу виконання бізнес-операцій, втрат на очікування і підвищити ритмічність виконання бізнес-процесів. Проведена перевірка підтвердила адекватність запропонованих в роботі моделей та ефективність застосування розроблених методів.

ВИСНОВКИ. Розроблено комплекс моделей ієрархічної багатоагентної системи для виконання бізнес-процесів. Комплекс включає статичний опис операційного простору організаційно-технічної системи, де є моделі бізнес-процесу, бізнес-операції та її складових. На основі статичного опису розроблено модель динаміки просування бізнес-процесів скрізь множину робочих станцій. Це дає змогу здійснювати моніторинг станів робочих станцій, черг і заявок на виконання бізнес-операцій. Зокрема створено формальний опис програмного агента, його компетенції та модель взаємодії агентів трьох рівнів, які виконують функції виконавців бізнес-операцій, моніторів та диспетчерів. Результати роботи дозволили розробити також стратегію керування чергами, яка показала зниження часу виконання операцій та більш збалансоване навантаження на персонал.

ЛІТЕРАТУРА

1. Hussain N., Wang H. H., Buckingham C. D., Zhang, X. Software Agent-Centric Semantic Social Network for Cyber-Physical Interaction and Collaboration. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*. 2020. Vol. 30(6). P. 859–893. DOI: <https://doi.org/10.1142/s0218194020400100>.
2. Christopher Burr, Nello Cristianini, James Ladyman. An Analysis of the Interaction Between Intelligent Software Agents and Human Users Minds and Machines. 2018. Vol. 28 (4) P. 735–774. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9479-0>.
3. Plinere D. S., Borisov A. N., Ludmila Aleksejeva. Interaction of software agents in the problem of coordinating orders. *Automatic Control and Computer Sciences*. 2015. Vol. 49(5) P. 268–276. DOI: <https://doi.org/10.3103/S0146411615050089>.
4. Городецкий В. И., Карсаев О. В., Самойлов В. В., Серебряков С. В. Прикладные многоагентные системы группового управления. *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2009. № 2. С. 3–24.
5. Массель Л. В., Гальперов В. И. Разработка многоагентной системы оценивания состояния электроэнергетических систем с использованием событийных моделей. *Наука и образование*. 2015. №9. Москва : МГТУ им. Баумана. Эл. №ФС77-4211.

ISSN 1994-0448. DOI: <https://doi.org/10.7463/0915.0811180>.

6. Agent Interaction SDK Java Developer Guide. Genesys Interaction SDK 7.6.6. 3/9/2020. URL: https://docs.genesys.com/Documentation/GDP/7.6.6/AI_LDeveloper (дата звернення: 21.12.2021)
7. Najhan M. I., Mohd F. H.. Mathematical modeling using coordination mechanisms for multi-agent systems in service oriented architecture. *Journal of Information Systems and Digital Technologies*. 2019. Vol. 1(2), P. 48–63.
8. Oksanych I. H., Shevchenko I. V., Krasnopol'ska Yu. A. Displaying a description of a business process in the operational space of an organizational technical system. *Radioelectronics & Informatics*. 2019. Vol. 2(85). P. 54–60.
9. Shevchenko I., Oksanych I., Konokh I. Model and method of dynamic formation of executive structures in robotized organizational-technical systems, *Transactions of Kremen'chuk Mykhailo Ostrohrad'skyi National University*. 2019. Vol. 5 (118). P. 103–109.
10. Shevchenko I. V., Oksanych I. H., Savushkyn P. D. Adaptive queue management strategy in an automated organizational technical system. *Transactions of Kremen'chuk Mykhailo Ostrohrad'skyi National University*. 2019. Vol. 6 (119). P. 68–76.

MODELS OF A HIERARCHICAL MULTI-AGENT SYSTEM FOR PERFORMING BUSINESS PROCESSES

M. Martuyuk, I. Oksanych, I. Shevchenko

Kremen'chuk Mykhailo Ostrohrad'skyi National University

ORCID: 0000-0002-4570-711X; 0000-0003-3009-8611

Purpose. Developing a set of models which formally describe the operation environment of the organizational and technical system and the interaction of software agents of different roles in performing business operations. The presence of such a set of models allows you to create information technology for monitoring and routing business processes and reduce costs for business operations. **Methodology.** The research methods are based on systems analysis methods. **Findings.** A set of models of hierarchical multi-agent system for business processes has been developed. The complex comprises a static description of the operation environment of the organizational and technical system, where there are

models of business process, business operation and its components. **Originality.** Organization of total monitoring of the operation environment of the organizational and technical system, i.e. the current state of the processes of processing applications, queues and workstations requires the development of static and dynamic business process models. Based on the static description, a model of the dynamics of business processes promoting throughout many workstations has been developed. This makes possible to monitor the status of workstations, queues and applications for business operations. In particular, a formal description of the software agent, its competencies and a model of interaction of three-level agents which perform the functions of business operation executors, monitors and dispatchers has been developed. Having such tools, the second important aspect is the development of a universal hierarchical structure of the multi-agent system, in which different agents perform the roles of performers, monitors and dispatchers. Such a structure should include the regulation of the agent functions, models of agents interaction at all three levels, ways of agents-people communication. **Practical value.** Tests of the monitoring and scheduling system in different conditions (electronic document management, manufacturing company, human resources management department) showed a decrease in time of business operations, losses on waiting and increase in rhythm of business processes. The results of the work has enabled the development of a queue management strategy, which has showed a reduction in time of operations and a more balanced workload.

Key words: software agents, business processes, agent model, agent interaction model.

REFERENCE

1. Hussain, N., Wang, H. H., Buckingham, C. D., Zhang, X. (2020). Software Agent-Centric Semantic Social Network for Cyber-Physical Interaction and Collaboration. *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*. Vol. 30(6). pp. 859–893.
2. Christopher, Burr, Nello, Cristianini, James, Ladyman (2018). An Analysis of the Interaction Between Intelligent Software Agents and Human Users Minds and Machines. Vol. 28 (4). pp. 735–774. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11023-018-9479-0>.
3. Plinere, D. S., Borisov, A. N., Ludmila, Aleksejeva (2015). Interaction of software agents in the problem of coordinating orders. *Automatic Control and Computer Sciences*. Vol. 49(5). pp. 268–276.
4. Horodezkii, V. I., Karsaev, O. V., Samoilov, V. V., Serebrakov, S. V. (2009). Prikladnye mnogoagentnye sistemy gruppovogo upravleniya [Applied multi-agent group management systems]. *Artificial intelligence and decision making*. No. 2. pp. 3–24. [in Russian]
5. Massel, L. V., Galperov, V.I. (2015). Razrabotka mnogoagentnoy sistemy otsenivaniya sostoyaniya elektroenergeticheskikh sistem s ispolzovaniem sobytiynih modeley [Development of a multi-agent system for assessing the state of electric power systems using event models]. *Science and education*. No. 9. [in Russian]
6. Agent Interaction SDK Java Developer Guide. Genesys Interaction SDK 7.6.6. (2020). URL: https://docs.genesys.com/Documentation/GDP/7.6.6/AI_LDeveloper.
7. Najhan, M. I., Mohd, F. H. (2019). Mathematical modeling using coordination mechanisms for multi-agent systems in service oriented architecture. *Journal of Information Systems and Digital Technologies*. Vol. 1. No. 2. pp. 48–63.
8. Oksanych, I. H., Shevchenko, I. V., Krasnopolska, Yu. A. (2019). Displaying a description of a business process in the operational space of an organizational technical system. *Radioelectronics & Informatics*. Vol. 2(85). pp. 54–60.
9. Shevchenko, I., Oksanych, I., Konokh, I. (2019). Model and method of dynamic formation of executive structures in robotized organizational-technical systems. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. Vol. 5 (118). pp. 103–109.
10. Shevchenko, I. V., Oksanych, I. H., Savushkyn, P. D. (2019). Adaptive queue management strategy in an automated organizational technical system. *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*. Vol. 6 (119). pp. 68–76.

Стаття надійшла 21.12.2021