Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського
Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

ОКСАНИЧ ІРИНА ГРИГОРІВНА

УДК 004.9:681.518:519.876

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

05.13.06 – інформаційні технології
Технічні науки

Подається на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело
_____І. Г. Оксанич

Науковий консультант Шевченко Ігор Васильович, д.т.н., професор

Кременчук – 2020

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». – Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, Кременчук. – Вінницький національний технічний університет, Вінниця, 2020.

Одним з ключових моментів у питаннях, що пов'язані з функціонуванням і розвитком організаційно-технічних систем (ОТС), 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 діджіталізації. 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 ОТС.

Вищесказане дозволяє констатувати протиріччя між складністю управління множиною бізнес-процесів (велика розмірність інформаційного та операційного простору, складна динаміка) і неможливістю за допомогою існуючих моделей, методів та інформаційних технологій забезпечити максимальну ефективність ОТС, що призводить до необхідності розробки методології та інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС.

У роботі вирішено актуальну науково-прикладну проблему створення науково-методологічних засад і відповідних технологічних засобів динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованих організаційно-технічних

системах.

Запропоновано концептуальну онтологічну модель проблемної області синтезу структури керованої виконавчої системи. Це дає теоретичні передумови вирішення задачі оптимального формування виконавчих груп в рамках організаційно-технічних систем та допускає вкладеність і багаторівневість при синтезі безперервних і дискретних керованих систем.

Удосконалено підходи до побудови методології синтезу адаптивних виконавчих структур в автоматизованих ОТС. 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. Це дозволяє схематизувати та прискорити процес синтезу комплексу логічних, математичних, функціональних моделей і методів, які становлять у своїй сукупності і взаємозв'язку потрібну інформаційну технологію.

Створено концепцію узагальненої структури системи управління виробничого класу, яка передбачає використання вкладеного матричного опису зв'язків між елементами системи і агентного підходу. Це дає методичну основу для побудови множини автоматичних і ергатичних систем з динамічним формуванням виконавчих структур в різних предметних областях.

Отримав подальший розвиток набір формальних ознак показників, призначених для оцінки ефективності операцій зі змінними в часі параметрами. Це дає можливість формувати обґрунтовані критерії ефективності бізнес-операцій та бізнес-процесів.

Синтезовано структурні, динамічні, інформаційні моделі, а також методи, що складають основу інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованих ОТС. Це дозволяє будувати контрольовану багатоагентну систему для виконання бізнес-процесів, яка швидко адаптується до нових бізнес-операцій.

Створено модель взаємодії агентів на трьох рівнях в складі автоматизованої

ОТС, яка враховує множину функцій виконання, моніторингу та диспетчеризації та відношення 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.

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

Розроблено метод динамічного розподілу заявок по функціональних вузлах при виконанні бізнес-процесів в ОТС. Це дає можливість оперативно здійснювати формування тимчасових виконавчих структур організаційно-технічної системи під надходження бізнес-задач.

Розроблено адаптивну стратегію управління чергами в автоматизованих організаційно-технічних системах. Це дозволяє реалізувати процес структурної адаптації системи до змін у оперативній обстановці. Стратегія експериментально апробована на імітаційної моделі і показала свою працездатність.

Розроблено метод адаптації стратегії управління чергами в автоматизованій організаційно-технічній системі. Це дає можливість при зміні розподілу вхідних потоків вибрати найкращі умови багатофазного обслуговування в процесі випадкового надходження вимог на виконання бізнес-процесів відомих класів.

Розроблено формальні моделі розпізнавання ситуацій і правила прийняття рішень для усунення критичних ситуацій на рівні монітора робочих місць та на рівні диспетчера автоматизованої ОТС. Це дозволяє реалізувати інформаційну технологію динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованій ОТС і підвищити якість та надійність виконання бізнес-процесів.

Створено методологічно обґрунтовану інформаційну технологію динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС. Це дає можливість комплексної автоматизації процесів в організаційно-технічних системах та підвищення ефективності праці в цілому.

Реалізовано інформаційну технологію динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС, а саме: розроблено структуру комплексу функціональних задач і структуру системи моніторингу і диспетчеризації, зокрема загальну структуру СМД та архітектуру програмного комплексу СМД; визначено функції складових частин комплексу, до якого входять модуль монітора для взаємодії з АРМ, модуль монітора для обслуговування черги БО, модуль монітора для обліку 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; розроблено імітаційну модель для дослідження властивостей системи з динамічною маршрутизацією бізнес-процесів і оптимізації стратегії керування чергами та описано користувальницький інтерфейс програмного модулю підсистеми диспетчеризації; наведено результати експериментів на імітаційній моделі, в ході яких доведено працездатність та ефективність системи моніторингу і диспетчеризації бізнес-процесів на основі методів і моделей 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. Запропоновані методи та моделі були використані в задачах автоматизації управління департаменту керування персоналом ПрАТ «Науково-технічний центр «Інформаційні системи». Отримано певний економічний ефект від впровадження системи моніторингу та маршрутизації.

Систему моніторингу та диспетчеризації впроваджено у випробувальному центрі державного підприємства «УкрНДІВ». Проведена

перевірка підтвердила адекватність запропонованих в роботі моделей та ефективність застосування розроблених методів. Середній час виконання завдань скоротився на 15,2%.

Програмні модулі моніторингу та маршрутизації пройшли випробування та рекомендовані до впровадження у системі електронного документообігу виконкому м. Кременчука.

Результати роботи у вигляді системи моніторингу та диспетчеризації виробничого процесу впроваджено також на ООО «Статус», яке спеціалізується на виготовленні установок типу «Редмет-30» і «Редмет-60» для виробництва кремнію, устаткування для переробки плат радіоелектронної техніки, вакуумних печей нестандартних конструкцій. Програмне забезпечення, що встановлено, здійснює оптимальний розподіл завдань з урахуванням їх пріоритетності та рівня завантаження збиральних бригад і спеціалістів, які мають різні компетентності. З початку експлуатації програмного забезпечення за рахунок підвищення ефективності оперативного управління виробництвом скоротилися витрати часу на планування та перепланування робіт. Час виконання завдань скоротився у середньому на 14,3%.

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

ABSTRACT

Oksanych I.G. Methodological basics and information technology for dynamic distribution of executive resources in organizational and technical systems. – Qualification scientific work as a manuscript.

The dissertation for Doctor of Technical Sciences Degree in specialty 05.13.06 "Information Technologies". – Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk, 2020. – Vinnytsia National Technical University, Vinnytsia, 2020.

One of the key points in functioning and development of organizational and technical systems (OTS) is the management of organizational processes. At present these tasks are becoming increasingly labor-consuming since the organizational structure of such systems is constantly changing under the influence of globalization and digitalization. It is appropriate to present the set of business processes through the set of automated workstations as a set of flow processes. Besides it should be noted that significant arsenal for optimization of flow processes remains unused, because in most existing models their interaction and dynamic choice of the optimal distribution of work between performers are not taken into account. Therefore, classical methods and tools for managing business process flows do not significantly improve OTS efficiency.

The above mentioned let us state the contradictions between the complexity (large dimension of information and operational space, complex dynamics) of managing the set of business processes and the inability of existing models, methods and information technologies to ensure maximum efficiency of OTS, which leads to the need of developing the methodology and information technology for dynamic formation of temporary executive structures.

The work solves an actual scientific and practical problem of creation of scientific and methodological basics and appropriate technological means for dynamic formation of executive structures in robotic and automated organizational and technical systems.

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.

Structural, dynamic and information models, as well as methods constructing the basis of information technology of dynamic formation of executive structures in robotic and automated OTS have been synthesized. This enables building a controlled multi-agent system for business processes, which quickly adapts to new business operations.

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. The complex takes into account some cost estimations of the time of a human and a robot work and the probability of successful execution of the operation for the time required by the regulations. 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 of dynamic distribution of executive resources in UTS is realized, namely: the structure of a complex of functional tasks and structure of system of monitoring and dispatching, in particular the general structure of SMD and architecture of software complex of SMD is developed; the functions of the components of the complex are determined, which includes the monitor module for interaction with the workstation, the monitor module for maintenance of the BO queue, the monitor module for accounting of BO performance, the module of implementation of interaction of monitors and dispatcher, the dispatch module for BO queue processing, the module workstation module for BO execution, workstation module for translation of BO scenarios, workstation module for interaction with the monitor, workstation module for interaction with the h-agent; developed a simulation model for studying the properties of the system with dynamic routing of business processes and optimization of the queue management strategy and described the user interface of the software module of the scheduling subsystem; the results of experiments on the simulation model are presented, during which the efficiency and effectiveness of the system of monitoring and scheduling of business processes on the basis of methods and models of dynamic distribution of executive resources in UTS are proved.

A study of the effectiveness of the application of theoretical and practical results in the management of specific objects in order to improve the quality of their operation. The proposed methods and models were used in the automation tasks of the personnel management department of PJSC "Scientific and Technical Center" Information Systems ". A certain economic effect was obtained from the implementation of the monitoring and routing system.

The monitoring and dispatching system has been implemented in the testing center of the state enterprise "UkrNDIV". The inspection confirmed the adequacy of the proposed models and the effectiveness of the developed methods. The average time to complete tasks decreased by 15.2%.

Monitoring and routing software modules have been tested and recommended for implementation in the electronic document management system of the Executive Committee of Kremenchuk.

The results of work in the form of a system of monitoring and scheduling of the production process are also implemented at LLC "Status", which specializes in the manufacture of installations such as "Redmet-30" and "Redmet-60" for silicon production, equipment for processing electronic boards, vacuum furnaces of non-standard designs . The installed software carries out the optimal distribution of tasks taking into account their priority and the level of workload of assembly teams and specialists with different competencies. From the beginning of operation of the software due to increase of efficiency of operational management of production time expenses for planning and re-planning of works decreased. Task execution time decreased by an average of 14.3%.

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

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати 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", *Радиоелектроніка та інформатика*, №4 (87), с. 61–68, 2019.

[3] И. Г. Оксанич, И. В. Шевченко, и Ю. А. Краснопольская, "Отображение описания бизнес-процесса в операционное пространство организационно-технической системы", *Радіоелектроника 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 Национального университету кораблестроения имени адмирала Макарова*, № 1(475), с. 174–180, 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: https://doi.org/10.32434/2521-6406-2019-6-2-51-57.

[7] І. Г. Оксанич, О. П. Слюсаренко, та І. В. Шевченко, "Формування компетенцій агентів у багатоагентній системі, орієнтованій на виконання бізнес-операцій",

Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 6 (147), с. 91–98, 2019. DOI: https://doi.org/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 похода", *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*, т. 30 (69), ч. 1, № 5, с. 132–137, 2019. DOI: https://doi.org/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. A. Lucenko, S. S. Koval', I. G. Oksanich, O. Ju. Serdjuk, and A. V. Kolomic, "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 многоуровевых оценок качества производственных процессов", *Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ,* № 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", *Радиоэлектроника, информатика, управление,* 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, v*ol. 1020, pp. 225–241, 2019, DOI https://doi.org/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] І. 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, 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.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

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

[26] І. Г. Оксанич, "Комплекс моделей формування компетенції інтелектуального агента", на *VII Всеукр. наук.-практ. конф. ІТ-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, та І. 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, та І. 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, та І. В. Шевченко, "Структурные модели бизнес-процесса и бизнес-операции", на *VIII Міжнарод. наук.-техн. конф. Інформаційні системи і технологі,* 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. 20–21.

[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, c. 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, та І. В. Шевченко, "Концептуальна модель задачі структурної адаптації керованої системи", на *V Міжнарод. наук.-практ. конф. Напівпровідникові 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.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ..... 24
ВСТУП ……..... 25
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ КЕРУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ... 37
1.1 Аналіз тенденцій розвитку методологій побудови інформаційних систем..... 37
1.1.1 Основи методології системного проектування..... 38
1.1.2 Ергатичні принципи побудови проектних рішень при системному проектуванні..... 42
1.1.3 Методологічні підходи до концептуального моделювання..... 46
1.1.4 Проблеми системного проектування інформаційних систем у світлі реінжинірингу бізнес-процесів..... 49
1.1.5 Розвиток інструментарію проектування інформаційних технологій..... 51
1.1.6 Взаємодія бізнес-структур та інформаційних технологій..... 54
1.2 Аналіз проблем розподілення виконавчих ресурсів в організаційно-технічних системах..... 56
1.2.1 Загальна характеристика організаційно-технічних систем..... 56
1.2.2 Існуючи структури організаційно-технічних систем..... 58
1.3 Аналіз існуючих технологій автоматизації бізнес-процесів..... 61
1.3.1 Концепція BPM..... 61
1.3.2 Аналіз мов програмування і стандартів зображення процесів в BPM..... 64
1.3.3 Роботизована автоматизація бізнес-процесів..... 70
1.3.4 Проблема забезпечення гнучкості настройки сценарію. бізнес-операцій..... 72
1.3.5 Моніторинг бізнес-процесів..... 73
1.4 Багатоагентні та ергатичні системи..... 75
1.4.1 Актуальність багатоагентного підходу..... 75

1.4.2. Ергатичні системи..... 76
1.4.3 Проблеми кооперації людей і програмних агентів..... 79
1.5 Класифікаційний аналіз відомих критеріїв якості та ефективності організаційно-технічних систем..... 81
1.5.1 Загальні положення оцінки ефективності організаційних структур..... 81
1.5.2 Інтерпретація терміну «ефективність»..... 83
1.5.3 Співвідношення економічності та продуктивності при оцінці ефективності..... 84
1.6 Огляд досліджень щодо керованих систем масового обслуговування..... 87
1.7 Висновки та формулювання завдань дослідження..... 91
РОЗДІЛ 2 РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГІЇ ДИНАМІЧНОГО РОЗПОДІЛУ ВИКОНАВЧИХ РЕСУРСІВ..... 95
2.1 Етапи і принципи методології розподілу виконавчих ресурсів ... 96
2.1.1 Етапи методології..... 96
2.1.2 Формування набору основних принципів методології..... 97
2.1.3 Методика стратифікації онтології предметної області..... 102
2.1.4 Метамодель онтології діяльності організаційно-технічної системи..... 104
2.1.5 Метамодель онтології системи управління..... 108
2.1.6 Перший рівень конвергенції онтологій..... 110
2.1.7 Метамодель вимог до адаптивної виконавчої системи..... 111
2.1.8 Схема реалізації методології..... 112
2.2 Концепція узагальненої структури системи управління..... 114
2.3 Дослідження і вибір формальних ознак показників ефективності операцій в організаційно-технічних системах..... 119
2.3.1 Концептуальні основи визначення ефективності операції..... 119
2.3.2 Визначення базових показників ефективності..... 128

2.3.3 Визначення формальних ознак показників для оцінки ефективності операцій..... 130
2.3.4 Про вибір базового показника для оцінювання ефективності операційних процесів..... 142
2.4 Концепція вирішення задачі структурної адаптації організаційно-технічної системи..... 146
2.4.1 Розробка концептуальної моделі багатоагентної системи що адаптується..... 148
2.4.2 Розробка переліку завдань структурної адаптації функціональної системи..... 149
Висновки до розділу 2..... 151
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ТА АЛГОРИТМІВ ВІДОБРАЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНІЙ СИСТЕМИ..... 153
3.1 Розробка комплексу моделей для відображення бізнес-процесу в операційному просторі автоматизованої організаційно-технічної системи..... 154
3.1.1 Теоретико-множинна модель бізнес-процесу і бізнес-операції 154
3.1.2 Інформаційна модель багатофазного обслуговування заявок.... 156
3.2 Розробка комплексу математичних моделей динаміки процесу багатофазного обслуговування 158
3.2.1 Розробка моделі динаміки функціонування елементів організаційно-технічної системи..... 159
3.2.2 Математична модель процесу багатофазного обслуговування заявок..... 164
3.2.3 Загальний алгоритм імітаційного моделювання функціонування організаційно-технічної системи..... 166
3.2.4 Розробка алгоритму визначення часових показників організаційно-технічної системи..... 167

3.3 Багаторівнева модель агента..... 169
3.3.1 Теоретико-множинне уявлення складу та структури агента..... 169
3.3.2 Розробка моделей і метода формування компетенції агента..... 170
3.4 Розробка моделі взаємодії агентів в організаційно-технічній системі..... 177
3.4.1 Загальні положення про взаємодію агентів..... 177
3.4.2 Модель взаємодії агентів..... 180
3.4.3 Функції агентів і їх відношення..... 180
Висновки до розділу 3..... 187
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБКА СКЛАДОВИХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДИНАМІЧНОГО РОЗПОДІЛУ ВИКОНАВЧИХ РЕСУРСІВ 189
4.1 Розробка комплексу критеріїв оцінки якості функціонування автоматизованої організаційно-технічної системи..... 190
4.2 Розробка моделі та методу розв'язання задачі динамічного розподілу виконавчих ресурсів 195
4.2.1 Загальна постановка задачі..... 195
4.2.2 Формальна постановка задачі..... 196
4.2.3 Розробка методу вирішення задачі динамічного розподілу виконавчих ресурсів для бізнес-процесу..... 196
4.3 Розробка стратегії керування чергами та методу її адаптації..... 198
4.3.1 Загальні положення щодо функціонування організаційно-технічної системи..... 198
4.3.2 Основні положення стратегії управління чергами..... 199
4.4 Розробка методу і алгоритму оптимізації для оперативної адаптації стратегії управління чергами..... 204
4.4.1 Розробка еволюційного алгоритму для вирішення задачі оптимізації..... 205

4.5 Розробка моделей і алгоритмів розпізнавання ситуацій
і діагностики помилок виконання бізнес-операцій..... 208
4.5.1 Структурування множини проблем і ситуацій в організаційно-технічній системі..... 208
4.5.2 Модель розпізнавання ситуацій і прийняття рішень на рівні монітора АРМ..... 211
4.5.3 Модель розпізнавання ситуацій і прийняття рішень
на рівні диспетчера організаційно-технічній системи..... 212
4.5.4 Аналіз ситуацій та ознак на рівні мікрооперацій..... 216
4.5.5 Алгоритм діагностики помилок виконання операцій..... 217
Висновки до розділу 4..... 218
РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ДИНАМІЧНОГО РОЗПОДІЛУ ВИКОНАВЧИХ РЕСУРСІВ..... 220
5.1 Комплекс інформаційних процесів агента-виконавця..... 220
5.2 Комплекс інформаційних процесів агента-монітора..... 222
5.3 Комплекс інформаційних процесів диспетчеризації..... 224
5.4 Комплекс інформаційних процесів адаптації стратегії
управління чергами..... 226
5.5 Комплекси інформаційних процесів контролю і діагностики
на рівні монітора і диспетчера та схема інформаційної технології.... 226
Висновки до розділу 5..... 231
РОЗДІЛ 6 РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ
ДИНАМІЧНОГО РОЗПОДІЛУ ВИКОНАВЧИХ РЕСУРСІВ..... 232
6.1 Розробка архітектури системи моніторингу і диспетчеризації бізнес-процесів..... 232
6.1.1 Комплекси функціональних задач системи моніторингу
і диспетчеризації..... 232
6.1.2 Загальна структура системи моніторингу і диспетчеризації..... 238
6.2 Опис архітектури програмного комплексу системи моніторингу
і диспетчеризації..... 242

6.2.1 Структура комплексу..... 242
6.2.2. Опис функцій складових частин комплексу..... 243
6.3 Розробка імітаційної моделі для дослідження властивостей системи з динамічною маршрутизацією бізнес-процесів..... 257
6.3.1 Розробка структури імітаційної моделі..... 257
6.3.2 Опис інтерфейсу користувача підсистеми диспетчеризації та імітаційної моделі..... 259
6.4 Результати експериментів на імітаційній моделі..... 264
6.5 Впровадження системи моніторингу та диспетчеризації в департаменті керування персоналом..... 272
6.5.1 Опис основних бізнес-процесів департаменту..... 275
6.5.2 Класифікація бізнес-процесів та бізнес-операцій..... 277
6.5.3 Розробка узгодженого регламенту виконання базових бізнес-операцій документообігу..... 278
6.5.4 Етапи підготовки сценарію БО і компетенції ботів..... 283
6.6 Загальні результати впровадження системи моніторингу та диспетчеризації..... 290
Висновки до розділу 6..... 294
ВИСНОВКИ..... 297
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ..... 304
ДОДАТКИ 335
Додаток А Список опублікованих праць за темою дисертації..... 336
Додаток Б Документи про впровадження результатів..... 343

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

АРМ – автоматизоване робоче місце.

БП – бізнес-процес.

БО – бізнес-операція.

КСС – ключове словосполучення.

КСМО – керована система масового обслуговування.

КІП – комплекс інформаційних процесів.

ЛСП – логічна схема проектування.

МО – мікрооперація.

ОТС – організаційно-технічна система.

ПрО – предметна область.

ОП – операційний процес.

СМО – система масового обслуговування.

СМД – система моніторингу та диспетчеризації.

ТК – технологічна карта.

PE – вартісна оцінка вихідних продуктів операції

RE – вартісна оцінка вхідних продуктів операції

BPM – Business Process Management.

BPEL – Business Process Execution Language.

BPMN – Business Process Model and Notation.

RPA – Robotics Process Automation.

SOA – Service-Oriented Architecture.

SCA – Service Component Architecture.

UG – група ризику (urgency group).

ВСТУП

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 діджіталізації вимоги до ефективності ОТС зростають, а їх складність та ступінь розподіленності росте. Крім того, виконавчим структурам, які входять у такі системи, має бути притаманна здатність самостійного розподілу ресурсів між власними елементами, а також швидка перебудова своєї структури для забезпечення ефективного функціонування. Потреба в оптимальному розподілі виконавчих ресурсів в рамках ОТС виникає з протиріччя між вимогою гарантованого виконання множини бізнес-операцій у встановлені терміни та обмеженнями технологічних і організаційних можливостей ОТС. Іншими словами, користувачі бачать проблему в низькій ефективності організаційно-технічних систем.

Отже, проблеми підвищення ефективності ОТС часто полягають у знаходженні оптимальної виконавчої структури, або оптимального розподілу виконавчих ресурсів, який забезпечить досягнення поставленої мети з найменшими втратами. Для успішного розвитку таких систем необхідна розробка методологічних основ, спрямованих на вдосконалення принципів організації автоматизованих ОТС і, відповідно, методів динамічного розподілу наявних виконавчих ресурсів. Ці методи ґрунтуються на застосуванні сучасних інформаційних технологій та використанні програмних агентів, які організовані в ієрархічну структуру.

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. Ними розроблені підходи до синтезу систем керування складними об’єктами зі змінною

структурою з урахуванням багатьох критеріїв та обмежень. Методологічні основи системного синтезу складних систем різного призначення заклав А. А. Тимченко, якій сформулював основні принципи та аксіоми системного проектування об’єктів нової техніки.

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 можливості 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 компетентностей 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.

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, які можуть бути реалізовані 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. Віттіха, M. Pinedo. Проте проблема динамічного формування тимчасових виконавчих груп у рамках організаційно-технічних систем, як і раніше, не вирішена.

Таким чином, одним із значних резервів підвищення ефективності оперативного управління підприємством або організацією є оптимізація взаємодії сукупності виконавців шляхом глибокої автоматизації бізнес-процесів і динамічного розподілу ресурсів виконавчих структур, що виконують потокові процеси в умовах мінливих параметрів зовнішнього середовища. Для цього необхідно переосмислити принципи, технології, показники, критерії та методи управління інформаційними та матеріальними потоками в рамках концепції сумісного використання програмних агентів та людей–виконавців.

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 моделей, розробки методів та стратегії динамічного розподілу виконавчих ресурсів і вибору показників оцінки якості бізнес-операцій у організаційно-технічних системах в умовах інтенсивного використання програмних агентів. Отже, розробка комплексу питань взаємодії людей-виконавців з багаторівневою системою програмних агентів в організаційно-технічних системах залишається в даний час маловивченим напрямком і вимагає подальшого дослідження.

Вищесказане дозволяє констатувати **протиріччя** між:

– існуванням складних ОТС, де реалізується множина бізнес-процесів різних типів з великою розмірністю інформаційного та операційного простору;
– складною динамікою багатофазного 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 методологічних основ створення інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в 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 29.01.2018р. «Розробка регламенту та моделей функціонування системи електронного документообігу виконавчого комітету»; №417/18–«ІУС–ВК2» від 11.05.2018р. «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 автоматизованих 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, підвищити надійність виконання бізнес-процесів.

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 створення та експлуатації автоматизованих систем. При вирішенні поставлених задач використані методи системного аналізу і загальної теорії систем при розробці методологічних засад інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів; теоретико-множинний підхід та теорію 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 програмного 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 методу 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 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, містіть модель анкетної мови, концептуальну та формальну 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 роботом за рахунок введення сукупності формальних ознак показників операцій, окремих вартісних оцінок часу

функціонування людини і робота 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 можливість 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 якість моніторингу та диспетчеризації бізнес-процесів, як на рівні окремих автоматизованих робочих місць, так і на рівні організаційно-технічних систем за рахунок розроблених моделей і методів процесу динамічного розподілу виконавчих ресурсів.

Програмні модулі моніторингу бізнес-процесів та маршрутизації

документів пройшли випробування та рекомендовані до впровадження у системі електронного документообігу виконкому м. Кременчука (акт випробувань від 28.11.2018).

Запропоновані в роботі моделі, методи та алгоритми динамічного розподілу завдань на виконання випробувальних експериментів, обробки і оформлення результатів впроваджені у Випробувальному центрі продукції вагонобудування ДП «УкрНДІВ», що підтверджено відповідним актом впровадження від 14 квітня 2020 року. 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. В період з 04.10.2019 по 27.03.2020 при експлуатації програмного забезпечення за рахунок підвищення ефективності оперативного управління випробуваннями середній час виконання завдань скоротився на 15,2%.

Запропонована у роботі адаптивна стратегія управління чергами в організаційно-технічних системах впроваджена на ПРАТ НТЦ «Інформаційні системи», що підтверджено відповідним актом впровадження від 21 лютого 2020 року. Методи, моделі та інформаційна технологія динамічного розподілу виконавчих ресурсів реалізовані у вигляді підсистем «Підготовка процесів», «Диспетчер», «Моніторинг», «Виконавець» у складі першої черги системи маршрутизації бізнес-процесів керування персоналом. Позитивний ефект від впровадження забезпечується за рахунок скорочення вартості затримок при виконанні бізнес-процесів, скорочення втрат часу на підготовку підсумкових форм і управлінських рішень, та скорочення часу зайнятості персоналу на виконанні рутинних операцій. Сумарний економічний ефект від впровадження вказаних підсистем за період з 10.08.2019 р. по 5.02.2020 р. склав 58.4 тис. грн.

Результати дисертаційних досліджень у вигляді системи моніторингу та диспетчеризації впроваджено на ООО «Статус», яке спеціалізується у

виробництві установок типу «Редмет-30» і «Редмет-60» для виготовлення кремнію, устаткування для переробки плат радіоелектронної техніки, вакуумних печей нестандартних конструкцій. Програмне забезпечення, що встановлено, забезпечує оптимальний розподіл виробничих завдань з урахуванням їх пріоритетності, завантаження збиральних бригад та спеціалістів, які мають різні компетентності. Програмні модулі забезпечують ведення бази даних по завантаженості виконавців і оперативних даних з виконання завдань, моніторинг часу виконання завдань, розрахунок витрат часу і завантаження виконавців, динамічну корекцію планів виконання завдань з урахуванням поточної ситуації. З початку експлуатації програмного забезпечення за рахунок підвищення ефективності оперативного управління виробництвом скоротилися витрати часу на планування та перепланування робіт. Час виконання завдань скоротився у середньому на 14,3% (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 потокових бізнес-процесів на основі методології динамічного розподілу виконавчих ресурсів.

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 і 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 системі 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.

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 303 сторінки основного тексту, що включає 50 рисунків і 19 таблиць (з них 4 рисунка і 6 таблиць на 10 окремих сторінках).

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ І ТЕХНОЛОГІЙ КЕРУВАННЯ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНИМИ СИСТЕМАМИ

1.1 Аналіз тенденцій розвитку методологій побудови інформаційних систем

Значення і роль організаційно-управлінської діяльності зростає по мірі розвитку і ускладнення глобальних взаємодій в економіці і суспільному житті. І якщо в суспільному житті стихійність взаємодій є в якійсь мірі природною, то в організаційно-технічних системах необхідні функції управління реалізуються за певними технологіями і алгоритмами. Однак різноманітність і складність великих систем породжує безліч проблем для розробників. Усвідомлення цього факту слугувало втіленню в життя і відповідних методології, серед яких чільну роль займає системний підхід і системний аналіз. Концепція системного підходу з достатньою повнотою описана в роботах В. Н. Садовського [39], Е. Г. Юдіна [40], А. І. Уемова [41] і ряду інших авторів (див., зокрема, [42], [43]). Треба підкреслити, що мова в цих роботах йде про логіко-методологічної концепції системного підходу. З іншого боку, системний підхід давно і міцно зайняв своє місце в проектуванні технічних об'єктів і систем управління, що знайшло своє відображення у відповідних працях [44], [45], [46], [47], 48].

Складні види діяльності традиційно обслуговувалися несистематизованими агломераціями знань з різних наукових дисциплін. Але сама складність і багатогранність цієї діяльності вимагає теоретичного об'єднання і теоретичної систематизації, тобто створення предметних методологій [49], [50], [51], [52], [53]. Інакше кажучи, системна проблематика і системне мислення практично завжди потрібні там, де об'єднуються різні предмети дослідження та проектування. Це означає, що методологічною основою системного проектування виступає побудова моделей з інтегральними властивостями, які об'єднують в єдину форму взаємодію фізично різноманітних об'єктів.

Сучасні ОТС в будь-якій галузі, як правило, мають у своєму складі безліч елементів зі складною схемою взаємозв'язків. У завданнях синтезу оптимальних виконавчих структур, здатних до адаптації при мінливих потоках заявок на виконання бізнес-операцій, важливо мати єдиний методологічний підхід. Створення такого підходу є досить складним завданням [63], [65]. Складнощі структурного синтезу виконавчих систем пов’язані, в першу чергу, з невизначеністю умов завдань проектування, коли не в повному обсязі конкретизовані моделі і алгоритми функціонування і взаємодії виконавчих структур [41], [66], [67], [68], [69]. В ідеалі повинна існувати якась «універсальна» метамодель, що відображає вертикальні і горизонтальні зв'язки в системі на будь-якому рівні ієрархії [67]. Однак в процесі синтезу багаторівневих структур зазвичай не вдається врахувати всі системні властивості, представлені на верхніх рівнях ієрархічного модельного опису, що є спільною проблемою. З іншого боку, аналіз останніх публікацій не виявив робіт, пов'язаних з математичним моделюванням виконавчих ієрархічних структур. Як приклади загального підходу можна навести роботи [68], [69], [70], [71], в яких завдання проектування координаційних процесів ставляться в практичному плані, хоча і з використанням відомих засобів моделювання, концептуальних і онтологічних підходів.

Таким чином, буде актуальним і корисним з точки зору завдань синтезу виконавчих структур, що динамічно змінюються, розробити онтологічний і модельний підхід для подання ієрархічної організаційно-технічної системи з урахуванням її функціонального призначення та загальних показників якості.

1.1.1 Основи методології системного проектування

Розвиток сучасної техніки розглядається як системна проблема, для вирішення якої треба створити інструментарій. Його розвиток повинен мати характерні для сучасного науково-технічного прогресу властивості. Такий інструментарій має спиратися на конкретний ефективний економічний механізм і реалізовуватися у конкретному виді автоматизованих систем. Такий механізм можна створити на основі концепції системності [66]. Теорія систем дозволила

вийти за межі вивчення внутрішніх властивостей об'єктів, що синтезуються. Основна ідея системного проектування полягає в тому, що об'єкт розробки розглядається як система, що призначена для досягнення певних цілей передусім за рахунок взаємодії підсистем.

Теорія систем та інші прикладні наукові дисципліни не мають поки що досконалого апарата, який дав би змогу збудувати єдину (наскрізну) систему критеріїв для оцінки всіх проміжних розв'язків завдання утворення об’єкту розробки з єдиних цільових позицій. У процесах проектування й побудови нових об’єктів створюються локальні критерії *{K}* і локальні початкові дані *{A}*. Дослідження задач проектування складних об'єктів показали, що вони перманентно недовизначені за початковими даними *{A}*. Значну частину їх можна дістати на наступних етапах життєвого циклу об’єкту (при побудові, випробуваннях та ін.). Іншими словами, проектування як процедура розв'язання логічно суперечлива, оскільки до початкових даних проектних задач включається інформація, що формується на пізніших етапах утворення об'єкта. Апарат аналізу логічних схем проектування дає змогу оцінити ступінь недовизначеності задачі проектування [67]. Аналогічно оцінити можна задачі побудови об'єкта, його випробувань і використання. Для деяких виробів нової техніки такі оцінки є. Вони свідчать про нетривіальні тенденції і властивості задач системного проектування складних об’єктів.

Операційною основою системного проектування є логічна схема обміну та узгодження окремих проектних рішень, збудованих в межах моделей локальних об’єктів (підсистем) – логічна схема проектування (ЛСП). Проте такій апарат можна ефективно використати на тих етапах, де закони функціонування системи в цілому вже збудовані і декомпоновані в «об'єктній» області на локальні режими, які підлягають взаємному узгодженню [66].

На ранніх же (системних) етапах проектування складного об'єкта виникає цілком нова проблема побудови домінуючих законів функціонування системи в цілому, для подання яких не використовуються локальні теорії та їх моделі. Звідси випливає, що методологічною основою системного проектування є

побудова *нових* моделей з інтегральними властивостями, які повинні об'єднати в єдину форму взаємодію фізично та алгоритмічно різноманітних об'єктів. Ці об'єкти мають здійснювати операції стосовно досягнення заданих цілей.

Оптимізація проектних рішень на ранніх етапах може бути представлена тільки категоріями цих моделей з інтегральними властивостями, оскільки, наприклад, саме поняття динамічної операції не можна виразити мовою локальних моделей.

Центральним завданням системного підходу в проектуванні є оптимізація окремих проектних рішень, і надалі – оптимізація процесу проектування в цілому. Проте це завдання є принципово багатокритеріальним, і отже, – перманентно недовизначеним [66].

Довизначити таку задачу можна за рахунок введення у початкові дані, яких бракує, прогнозованих характеристик окремих компонентів об'єкта розробки. Повне замикання задачі за початковими даними (прогнозованими), як зазначалося вище, можливе тільки в межах всього життєвого циклу: проектування, побудови й використання складного об'єкта.

Оскільки процес розробки складної системи завжди має два аспекти (технічний і творчий), для реалізації технічної сторони процесу проектування необхідно побудувати методологічну аксіоматику. Таку аксіоматику слід доповнити ергатичними принципами системного проектування, що в цілому представляє системні основи для побудови людино-машинних систем [66].

У загальному випадку ЛСП становить ієрархічну структуру з кількома рівнями по декомпозиції складного об'єкта як системи, що функціонує і розчленовує процес проектування на етапи розробки. На початковому етапі побудови ЛСП слід скористатися такими тезами [66]:

Теза 1. Задача побудови складного проектного рішення не розв'язується у межах точно паралельної (декомпонованої тільки «по об'єкту») або повністю послідовної (декомпонованої тільки «по етапах») логічної схеми.

Теза 2. Задача побудови складних проектних рішень характеризується невизначеністю щодо початкових даних *A,* обмежень *C* і цілей *G*.

Теза 3. Задача побудови складного проектного рішення логічно суперечлива, оскільки в силу тези 2 до процедури розв'язання необхідно ввести початкові дані та обмеження, які можна дістати при реалізації процедур розв'язання подальших етапів і подальших (деталізованих) рівнів проектування [66].

Теза 4. В силу тез 2, 3 задачі проектування мають кілька проектних рішень. Але в силу багатоцільового призначення складного об'єкта в загальному випадку не можливо створити настільки «сильне» правило переваги для вибору єдиного проектного рішення, яке було б конструктивним на «глибину» всієї послідовності етапів і рівнів процедури розв'язування.

Наступна група постульованих положень, що є також узагальненням досвіду автоматизації проектних і конструкторських розробок і що мають в основі принципи В. М. Глушкова [60], формулюються як принципи системного проектування.

Принципи нових задач (ПНЗ). Принципово нову людино-машинну структуру й нові засоби обробки інформації в проектуванні доцільно використовувати для розв'язання принципово нових проектних задач. Центральною задачею системного проектування є задача програмування життєвого циклу об’єкту. Менш важливими є задачі розробки та адаптації системних процедур розв'язування завдань об’єкту.

Принцип системного підходу (ПСП). Його реалізація означає виконання таких операцій: декомпозиція загальної задачі проектування на рівні цільової орієнтації й етапів із процедурною локалізацією; побудова схеми обміну проектними рішеннями між етапами й рівнями із ітераційними циклами (теза 1); встановлення цілей функціонування об’єкту; конструювання ієрархічної системи оцінок проектних рішень (багаторівневої) для побудови процедури багатокритеріальної оптимізації (теза 4) за показником вартість – ефективність.

Висловлені тези і принципи можна представити як систему аксіом.

Аксіома 1. Із нерозв’язуваності загальної задачі проектування (теза 1, ПСП) випливає необхідність її декомпозиції на сукупність локальних задач,

упорядкованих багаторівневою паралельно-послідовною логічною схемою проектування.

Аксіома 2. Із невизначеності початкових даних і обмежень < *A, C* > у загальній задачі проектування (теза 2, ПНЗ) випливає необхідність їх прогнозування й обміну проектними рішеннями між функціональними комірками системи проектування відповідно до певної логічної схеми.

Аксіома 3. Із логічної суперечності загальної задачі проектування (теза 3, ПНЗ) випливає необхідність організації ітераційних циклів, що визначають збіжність системних процедур розв'язування.

Аксіома 4. Із неможливості сконструювати апріорі «наскрізне» правило переваги (теза 4, ПСП) випливає необхідність «індивідуальної» побудови багаторівневого критерію оцінки проектних рішень, який можна дістати евристично тільки в кінці ітераційного циклу (не раніше виконання першої ітерації).

Аксіома 5. Розв'язання центральної задачі системного проектування – програмування життєвого циклу об’єкту (ПНЗ) – означає необхідність інтеграції об’єкту з іншими автоматизованими системами.

Сформульовані аксіоми на основі прийнятих передумов (тези 1...4) і висловлених принципів (ПНЗ, ПСП) є нормативною канонізацією системного проектування. Це по суті аксіоматизовані вимоги до побудови апарату системного проектування.

1.1.2 Ергатичні принципи побудови проектних рішень при системному проектуванні

Мета розробки ергатичних принципів системного проектування полягає в створенні певної алгоритмічної основи для розв'язання задачі побудови складних систем. Така задача не може бути формалізованою у повному обсязі, тому роль миследіяльності дослідника є дуже вагомою [71], [72], [73].

Основними об'єктивними передумовами, що зумовлюють необхідність опрацювання ергатичних принципів системного проектування, є проблема

складності і невизначеності. Ця проблема має методологічний зміст і в прикладному плані може бути зведена до проблеми побудови й експлуатації складної системи. На початку опису процедур розв'язання ЛСП їх не розподіляють на власне формалізовані та неформалізовані, що вимагають участі людини-дослідника в побудові розв'язань. У роботи [66] сформульовано основний принцип поєднання формалізованих і неформалізованих процесів розв'язку в задачах системного проектування.

Логічна схема проектування відноситься до класу матричних структур, в якій поєднується декомпозиція загальної задачі по горизонтальному (методологічному) і вертикальному (предметному) напрямах [66]. Вертикальна ієрархія ЛСП відображується майже повністю в традиційній структурі функціонального керування організацією, яка здійснює розробку великого проекту. Горизонтальна ієрархія ЛСП становить структуру, що відображує новий, ергатичний аспект системного проектування. Функції людини тут пов'язані перш за все з реалізацією евристичних процедур розв'язування з побудовою аксіоматики (можливо, нормативної) моделей об'єкта проектування. Сама логіка процесу системного проектування залишає місце для утворення процесів побудови (творіння), які принципово не формалізуються, наприклад, нових архітектурних рішень.

Таким чином, основним ергатичним принципом системного проектування є принцип обов'язкового і цільового (розумного) поєднання формально логічних елементів з елементами, що не формалізуються, в системних процедурах розв'язання проектних задач [66].

До «сильних» сторін застосування ергатичних елементів в системному проектуванні відноситься «доповнення» традиційних схем категоріями цілей і ресурсів. Якщо при цьому всій сукупності цілей $G_i \in G$ функціонування проектованої системи відповідають повністю порівнянні варіанти, зображені порівнянними векторами $K = \{K_1, K_2, ..., K_i\}$, тоді встановлюється абсолютно точне правило переваги у виборі варіанта. У цьому разі можна формалізувати процедуру перебору до кінця. Проте на практиці така однотипність цілей в склад

ній системі трапляєтеся вкрай рідко. Багатоцільовій системі, як правило, не можна поставити у відповідність сукупність повністю порівнянних векторів. Самі цілі $G_i \in G$ мають різноманітну значущість, непропорційний цій значущості обсяг необхідних ресурсів Z_i , різну повторюваність (частоту) й порядок проходження динамічних операцій $D_i \in D$ для досягнення «стратегічної» цілі G. Різноманітні спроби об'єктивізувати процедуру порівняння до абсолютної упорядкованості множини векторів K за рахунок «обробки» поглядів експертів не можна вважати кардинальними, оскільки кількісні оцінки що вводяться, знімають некоректність тільки у процедурі перебору. Основна ж проблема побудови складного проектного рішення $R\{R^*\}$ залишається внутрішньо суперечливою – оскільки є принципово багатокритеріальною. В цій проблемній ситуації єдиний вихід полягає в приверненні ергатичних засобів для організації багаторівневих ітераційних процедур системного проектування [66].

Методологічним засобом об'єднання формальних (машинних) і евристичних процедур розв'язання в системному проектуванні є передусім система математичних моделей $\{M\}$ об'єкта проектування. Розроблені моделі визначають здійсненність прийнятого принципу декомпозиції процесу проектування. Ієрархії моделей, що виникає внаслідок такої декомпозиції, відповідає ієрархія мов опису об'єкта проектування.

Модельний опис системи <об'єкт – середовище функціонування> і моделювання процесів досягнення цілей дають змогу відобразити цілі G *в* системні властивості об'єкта проектування. Категорія системних властивостей становить основу методології системного проектування. Вона полягає в тому, що проектне рішення складного об'єкта подають спочатку в базисі системних властивостей (досяжності, координованості, стійкості, оптимальності, надійності та ін.), а потім у базисі конструктивних елементів.

Базис системних властивостей – математична категорія, базис конструктивних елементів – системотехнічна або фізична. Перший «генерується» з використанням банку моделей $<M^{ОБ}, M^{СФ}>$, базис елементів формується (або буде формуватися) промисловістю. Склад цілей $<G_i>$ і процесів їх досягнення у

вигляді $M^{ОБ} \times M^{СФ}$ формується на етапі формування концепції об'єкта проектування. Концепція виявляється в перетворенні набору властивостей $\{Q\}$ і після цього відбивається в ресурси $\{R\}$, тобто в методології системного проектування прийнято відображення $\{G\} \rightarrow \{Q\} \rightarrow \{R\}$, в якому друга множина є модельною категорією, а третя – кількісною [66].

Із всіх категорій задач проектування максимальною недовизначенністю характеризуються задачі синтезу законів керування складними об'єктами. Особливо це стосується об'єктів багатоцільового призначення, багаторежимних принципів функціонування та ін. У системі проектування складних об'єктів важливе місце належить імітаційному моделюванню процесів функціонування нових об’єктів і цільовому їх керуванню. Приблизно таку ж невизначеність мають задачі надійності та якості функціонування об'єкта на етапі його проектування. Тут імітаційне моделювання повинно доповнюватися процесами прискорених випробувань нових об’єктів.

Максимальну невизначеність мають задачі діагностики та ресурсної динаміки на етапі використання нового об’єкту. Зняти цю невизначеність можна за допомогою імітаційного моделювання і методів аналізу інформації. Це створює основу для швидких ітерацій, що в поєднанні із імітаційним моделюванням забезпечує постановку й ефективне проведення математичного експерименту на ранніх (системних) етапах проектування.

Отже, змушене підсилення сукупності малоефективних автономних методів за рахунок системного підходу здійснюється за допомогою притягнення евристик дослідника, реалізація яких вимагає утворення нового теоретичного апарату і відповідних засобів комп'ютерно-інформаційного обслуговування.

Концептуальні характеристики об’єкту системного проектування можуть бути представлені категоріями найзагальнішої композиційної моделі, яку зручно відобразити теоретико-множинними засобами. Якщо застосувати ієрархічний принцип побудови моделей, то важливі характеристики моделі верхнього рівня M_0 можуть бути зображені категоріями моделі наступного рівня M_1. Між рівнями процес перетворення моделей проходить через моделі M_i із власними

композиційними властивостями, тобто крізь кореневі моделі кожного з рівнів.

Зробимо проміжні висновки.

1. Структура ЛСП, що базується на дереві моделей, упорядкованих з урахуванням інформаційної сумісності, відображає безпосередньо механізм перетворення проектних рішень вищого системного рангу в проектні рішення нижнього рангу. Таке дерево моделей розробник створює, поступово переходячи від одного рівня до наступного у процесі рефлексивного осмислення аспектів відповідної онтології. Отже, саме принцип рефлексивних переходів необхідно закладати у методологію системного проектування. Але такий принцип досі не сформульовано і не формалізовано.

2. У завданнях синтезу оптимальних виконавчих структур, здатних до адаптації при мінливих потоках заявок на виконання бізнес-операцій, важливо мати єдиний методологічний підхід. В ідеалі повинна існувати якась «універсальна» метамодель, що відображає вертикальні і горизонтальні зв'язки в системі на будь-якому рівні ієрархії. Однак в процесі синтезу багаторівневих структур зазвичай не вдається врахувати всі системні властивості, представлені на верхніх рівнях ієрархічного модельного опису, що є спільною проблемою. З іншого боку, аналіз останніх публікацій не виявив робіт, пов'язаних з математичним моделюванням виконавчих ієрархічних структур.

1.1.3 Методологічні підходи до концептуального моделювання

У концептуальних моделях об'єкти представляються не в кількісному (метричному), а в якісному вигляді в сукупності їх істотних відмітних ознак. У цьому сенсі концептуальні моделі як моделі відносин є умовами побудови кількісних математичних моделей.

У працях С. Никанорова і його школи створений теоретичний апарат концептуального моделювання, аналізу та синтезу, що дозволяє на строгому математичному мовою описати методологію побудови концептуальних моделей предметних областей і цілеспрямованих систем [74]. В роботі [74] викладаються питання методології концептуального проектування, аналізу і синтезу систем в

застосуванні до автоматичних і автоматизованих систем управління. Розглядаються питання збереження цілісності модельних уявлень АСУ в процесі їх багатоаспектного синтезу. Вводяться концептуальні моделі структур систем управління інформаційного, процесорного, функціонального і морфологічного аспектів. Це забезпечує необхідну теоретичну дисципліну, необхідну для керованості процесу проектування складних систем [64], [66]. Проте, оскільки в кожному конкретному випадку існує невизначеність умов завдань проектування через індивідуальних особливостей предметної області, строгий математичний опис свідомо звужує спільність концептуального підходу. Доцільно вирішити концептуальні питання інтерпретації метамоделей онтологій в предметні моделі (онтології нижнього рівня), тобто, в моделі процесів і функціональних структур. Це на нашу думку, стане можливо, якщо будуть сформульовані етапи відповідної методології та комплекс принципів, на які слід спиратися при реалізації такої методології.

Будемо виходити з того, що об'єктом методології системного синтезу є миследіяльність, тобто, сукупність мислення і діяльності [75]. Конструктивне мислення неможливо без рефлексивних циклів, в процесі яких розробник розвиває і поступово формалізує концептуальний опис об'єкта розробки [74], [75], [76]. Таку методологію прийнято називати системно-структурною [75].

Як показує Г.П. Щедровицький [75], до складу системно-структурної методології повинен увійти певний вид роботи, призначення якого полягає в тому, щоб усвідомлювати і систематизувати власну організацію методологічної роботи в системній області: отже, цей блок організує системно-структурну методологію як деяке ціле, пов'язуючи і об'єднуючи воєдино методологічне системно-структурне конструювання та проектування з усіма обслуговуючими його знаннями і методологічними системно-структурними дослідженнями. Тому його можна назвати блоком системної авторефлексії [75].

Узагальнюючи цей момент, пов'язаний вже з відмінністю позицій і типів роботи всередині методології, ми можемо тепер сказати, що в рамках системно-структурної методології існує і має існувати багато різних типів і способів

мислення і розумової роботи, а відповідно до цього – багато різних позицій і, можна навіть сказати, спеціалізацій [75]. Це будуть:

– організація системних практик різного роду;

– розробка системних проблем в рамках приватних предметів науки, інженерії, управління і т. ін.;

– системно-структурне програмування досліджень і розробок;

– системно-структурне проектування;

– системно-структурне конструювання;

– методологічні системно-структурні дослідження, які описують системні розробки в рамках наукових, інженерних та управлінських предметів і практик різного роду;

– методологічна авторефлексія всій області системно-структурних розробок в цілому.

Крім того, потрібно підкреслити, що продуктом методологічних розробок повинні бути не тільки і не стільки знання, скільки методичні приписи, проекти, програми, норми і т. ін., які будуть використовуватися в нижчих шарах мислення і діяльності – в локальних методологічних розробках і в практиках. З цієї причини в методологічної роботі буває завжди не одне онтологічне уявлення, а щонайменше два: одне з них зображує структуру і онтологію предметної області, а інше зображує онтологію рефлексивної миследіяльності, що спрямована на дану предметну область. Особливе з'єднання і зв'язок цих двох онтологічних уявлень складає кожен раз специфічну особливість конкретної методології.

Отже, можна зробити такий висновок. При вирішенні завдань системно-методологічного характеру, таких, як структурний аналіз і синтез виконавчих структур ОТС зі структурною адаптацією, виникає специфічна проблема формування комплексу принципів, онтологій і інших інформаційних структур для забезпечення можливості створення повної системи взаємопов'язаних рішень на основі ієрархічного об'єднання кінцевої множини моделей і методів. Конструюючи методологію системного синтезу, необхідно врахувати і поєднати онтологію діяльності користувачів і онтологію системи управління діяльністю

користувачів, так як саме на стику цих онтологій народжується багаторівневе системне рішення.

1.1.4 Проблеми системного проектування інформаційних систем у світлі реінжинірингу бізнес-процесів

Завдання, які покладаються на автоматизовані інформаційні системи при управлінні сучасним підприємством, що функціонує в умовах ринкової економіки, пов'язані зі збиранням, збереженням, відновленням, обробкою і видачею інформації, необхідної для управління підприємством як економічним, соціальним і виробничим об'єктом та прийняття управлінських рішень [77]. Систематичні та істотні зміни в технологіях, ринках збуту і потребах клієнтів змушують компанії, які прагнуть зберегти свою конкурентоздатність, безперервно перебудовувати корпоративну стратегію і тактику. Це викликало необхідність застосування нових підходів до вдосконалення виробництва, як, насамперед, реінженерія бізнес-процесів (BPR – Business Process Reengineering) та інші методи [78]. Цьому сприяли й такі зміни в інформаційних технологіях, як розвиток архітектури та розроблення стандартів відкритих систем, феномени персональних обчислень, кооперативних технологій та комп'ютерних комунікацій. Це призвело до того, що не інформаційна, і навіть не функціональна модель підприємства, а онтологічна модель предметної області з множиною її основних понять, за умови її постійного перегляду і оновлення, стала відносно стабільним інтегруючим чинником сучасної інформаційної системи [77], [78], [79], [80].

Серед завдань BPR в можна виділити такі [80]:

– зменшення витрат часу на виконання функцій, наприклад, шляхом поєднання певної кількості робочих процедур в одну (так зване «горизонтальне стискання», або створення паралельних процесів там, де це можливо);

– зменшення числа робітників і інших витрат на виконання функцій, наприклад, шляхом ефективного використання інформаційних систем;

– глобалізація бізнесу: робота з клієнтами і партнерами будь-де у світі за рахунок використання хмарних технологій;

– робота з клієнтом в режимі 24 години на добу 365 днів на рік.

BPR пропонує розв'язання проблеми шляхом зміні основних принципів організації компаній і в переході до орієнтації не на функції, а на процеси з використанням інформаційних технологій.

Поєднання кількох робочих процедур в одну передбачає відмову від технології «складального конвеєра», у рамках якої на кожному робочому місці виконуються прості робочі процедури. Завдання полягає в інтегруванні таких процедур в одну. У разі, коли всі робочі процедури звести до однієї роботи, створюється команда, що відповідає за даний процес. І хоч певних затримок у цьому разі запобігти складно, втрати тут значно менші, ніж при традиційній організації робіт. За наявними оцінками, такі зміни, які називають «горизонтальним стисканням» прискорюють виконання процесу у декілька разів [82].

Окрім «горизонтального стискання» при реінженерії здійснюють ще й «вертикальне стискання» процесів, яке полягає у самостійному ухваленні рішення виконавцем, у тих випадках, коли при традиційній організації робіт він повинен був звертатися до управлінської ієрархії. При традиційній організації робіт вважається, що виконавці не мають ні часу, ні знань, необхідних для прийняття рішень. Реінженерія відкидає це положення, наділяючи співробітників великими повноваженнями і збільшуючи ролі кожного з них у роботі компанії, що приводить до значного підвищення їхньої віддачі [83], [84], [85], [86], [87].

Отже, можна зробити такий проміжний висновок.

При традиційному виробництві продукції для масового ринку, обирається, як правило, один технологічний процес незалежно від вихідних умов при всіх можливих входах процесу. Висока динамічність ринку приводить до того, що бізнес-процес повинен мати різні версії в залежності від конкретної ситуації, стану ринку і т. ін. Традиційні процеси, зазвичай, досить складні, оскільки повинні враховувати різні винятки й окремі випадки.

Якщо проводиться реінженірінг, можна використати і нові організаційні, методичні та інформаційні компоненти, які відповідають цілям, що поставлені перед реінженерією:

– адаптивний підхід до формування тимчасових оргструктур, що виконують бізнес-процеси;

– використання програмних агентів для забезпечення виконання рутинних бізнес-операцій.

1.1.5 Розвиток інструментарію проектування інформаційних технологій

Швидке поширення інформаційних технологій з початку 90-х років минулого століття призвело до появи, принаймні, трьох принципово нових явищ, що одержали назву феноменів інформаційних технологій. Вони стали ширше входити в практику, якісно змінюючи діяльність комп’ютеризованих організацій [77], [90]:

– феномен персональних обчислень, який полягає в тому, що в багатьох видах інформаційних, проектних і управлінських робіт зникла необхідність в технічних працівниках (друкарках, креслярах, діловодах і ін.), від професійності яких іноді залежала доля проектів;

– феномен кооперативних технологій полягає в комп'ютерній підтримці спільної погодженої роботи групи розробників над одним проектом, що означає можливість забезпечити управління доступом членів групи до різних частин проекту, управління версіями і редакціями проектної документації і погодженим виконанням робіт в їх послідовності, управління паралельним проектуванням та ін.;

– феномен комп'ютерних комунікацій полягає в різкому збільшенні можливостей обміну будь-якою інформацією, який виник на ґрунті стандартизованих протоколів обміну даними прикладного рівня в локальних і глобальних мережах і дозволяє виключити необхідність передачі паперових документів для отримання згоди або змістовних зауважень, переїздів для проведення нарад, забезпечує постійну готовність працівника отримати і відіслати повідомлення або інформативні записи даних поза залежністю від місця його географічного розташування та ін.

Великі проекти інформаційних систем найчастіше характеризуються такими особливостями [77]:

– складність описання, обумовлена достатньо великою кількістю елементів даних, функцій, процесів і складними взаємозв'язками між ними, що потребує ретельного моделювання й аналізу даних і процесів;
– тісна взаємодія компонентів (підсистем), що мають свої локальні задачі і цілі функціонування;
– необхідність інтеграції існуючих і нових застосувань;
– функціонування в неоднорідному середовищі на декількох апаратних платформах;
– різний рівень і різні підходи розробників вихідної групи і груп, що займаються доробкою чи розширенням можливостей інформаційних систем при використання тих або інших інструментальних засобів;
– динамізм сучасних інформаційних систем.

Досвід проектування інформаційних систем показує, що ця логічно складна, трудомістка і тривала за часом робота потребує високої кваліфікації спеціалістів, що беруть у ній участь, тим більше, що майбутні користувачі, частіш за все не досить обізнані у можливостях інформаційних систем та й їх інформаційні потреби часто не за їх ініціативою й незалежно від них змінюються або уточнюються, а це ще більш ускладнює розробку і супровід таких систем. У той же час донедавна проектування інформаційних систем виконувалося головним чином на інтуїтивному рівні з застосуванням неформалізованих методів.

При розробці інформаційних систем у 70-х і 80-х роках застосовувалася структурна методологія, що заснована на формалізованих методах опису інформаційних систем і прийнятих технічних рішень з використанням для опису різноманітних моделей інформаційних систем схем і діаграм. Всі рекомендації цієї методології при розробці конкретних інформаційних систем часто не виконувалися, оскільки при ручній розробці це практично неможливо, бо вручну дуже важко розробити і графічно уявити строгі формальні специфікації системи,

перевірити їх на повноту і несуперечливість.

При ручній розробці інформаційних систем доводилося стикатися з такими проблемами, як неадекватна специфікація вимог, нездатність виявляти помилки у проектних рішеннях, низька якість документації, затяжний цикл і незадовільні результати тестування. Наявність вказаних проблем сприяла появі програмно-технологічних засобів спеціального класу — CASE-засобів, що реалізують CASE-технології створення і супроводу інформаційних систем [88], [89], [92], [94], [99].

Термін CASE (Computer Aided Software – пізніше System–Engineering) зараз трактується досить широко. Спочатку значення терміну CASE обмежувалося питаннями автоматизації створення тільки лише програмного забезпечення інформаційних систем. Тепер воно охоплює весь процес розроблення складних інформаційних систем і термін CASE-засоб поширюється на розробку всіх програмних засобів, що підтримують процеси створення і супроводу інформаційних систем, включаючи аналіз і формулювання вимог, проектування прикладного забезпечення інформаційних систем і баз даних, генерацію коду, тестування, документування, забезпечення якості, конфігураційне керування і керування проектом, а також інші процеси [95].

Виникнення CASE-технології і CASE-засобів є наслідком дослідження в області методології програмування. Системний підхід до програмування став можливим завдяки розробці і впровадженню мов високого рівня, методів структурного і модульного програмування, мов проектування і засобів їхньої підтримки, формальних і неформальних мов описів системних вимог і специфікацій і т. ін.

Більшість існуючих CASE-засобів грунтується на методологіях об'єктно-орієнтованого аналізу і проектування, що використовують специфікації у вигляді діаграм або текстів для описання зовнішніх вимог, зв'язків між моделями системи, динаміки поведінки системи й архітектури програмних засобів [95].

При проектуванні спеціалізованих інформаційних систем або адаптації універсальної інформаційної системи до вимог і потреб конкретного замовника

зазвичай застосовують набір засобів і технологій під назвою «Майстерня Інформаційних Технологій» (IT Workshop) [97]. Зростання складності інформаційних систем створюваних у різноманітних галузях економіки й потребує використання саме таких стандартних засобів.

1.1.6 Взаємодія бізнес-структур та інформаційних технологій

У світлі задач даної роботи доцільно розглянути ідеологію взаємодії бізнес-структур та інформаційних технологій. Як повинни змінюватися інформаційні технології при змінах у бізнес-платформі? Докладний опис впливу реконструкцій бізнес-процесів на нові архітектури інформаційних технологій, насамперед, – на архітектури систем з базами даних, подається моделлю Дж. Хендерсона [77], яка служить для поглиблення розуміння взаємодії бізнес-структур і інформаційних технологій (рис. 1.1). В цій моделі визначені:

– основна бізнес-платформа – набір стратегій, ринків, приписів, технологій виробництва продуктів і ресурсів, обраних підприємством як такі, що відповідають поставленій меті;

– бізнес-архітектура – той набір товарів і послуг, організаційних структур, процесів управління, розподілу ресурсів, що є необхідними для впровадження основної бізнес-платформи;

– основна IT платформа – ряд адекватних комп'ютерних технологій, що можуть бути доступними підприємству, і засоби, якими ці технології можуть бути використані для підвищення конкурентоспроможності;

– IT архітектура – набір певних архітектур і продуктів, що реалізують основну платформу інформаційних технологій, а також засоби, що використовуються для розгортання цих архітектур (інфраструктури підтримки, рівні кваліфікації, процеси прийняття рішень та адміністративні механізми).

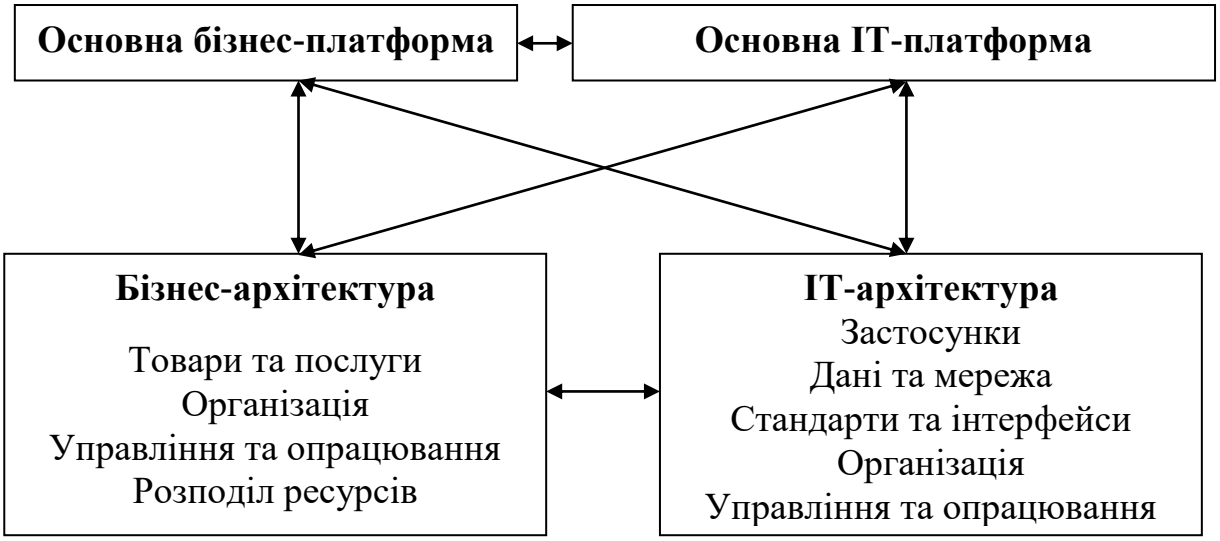

Рисунок 1.1 – Модель Дж. Хендерсона

Ґрунтуючись на цій моделі, можна зробити наступні висновки:

– існує взаємний вплив основних бізнес-платформ та платформ інформаційних технологій;

– якщо основна бізнес-платформа або платформа інформаційних технологій змінюється, то імовірніше за все відповідна успадкована архітектура інформаційних технологій зміниться;

– вирішальним чинником успіху є відповідність між бізнес-архітектурами та архітектурами інформаційних технологій.

Таким чином, вплив зростання ринкової динаміки і тотальної бізнес-реінженерії на застосування інформаційних технологій, наприклад, в рамках викладеної вище схеми Дж. Хендерсона проявляється в тому, що коли динаміка ринку змушує корпорацію проводити реінженерію основних видів діяльності, тобто міняти бізнес-платформу, то повинна змінитися не лише архітектура, але й платформа інформаційних технологій, внаслідок чого:

– засоби проектування інформаційних систем в нових методах проектування повинні мати підвищену гнучкість для забезпечення живучості підприємства в умовах загальної, тотальної бізнес-реінженерії;

– вартість такого проектування зростає, тому що в загальному випадку при зміні

бізнесу повинні забезпечуватися зміна не тільки архітектури інформаційних технологій, але й платформи інформаційних технологій;

– для віртуальних кіберкорпорацій існує можливість забезпечити більшу стабільність застосовуваних інформаційних технологій, тому що зі зміною чисто управлінських задач можна обмежуватися змінами в архітектурі інформаційних технологій, міняючи окремі прикладні функціональні й інформаційні компоненти;

– для забезпечення такого рівня змінності архітектури інформаційних технологій необхідно застосовувати комплекс інструментів і спеціальних проектних прийомів, що забезпечать відповідну динаміку компонентної реінженерії підприємства;

– методології і окремі засоби сучасного системного проектування відрізняються від класичних.

1.2 Аналіз проблем розподілення виконавчих ресурсів в організаційно-технічних системах

1.2.1 Загальна характеристика організаційно-технічних систем

Сучасна ОТС є складною системою управління, що включає множину взаємопов'язаних і взаємодіючих в просторі і в часі процесів та елементів, які формують її інтегративні властивості та функціонують спільно для досягнення цілей, поставлених перед системою [101], [102], [103], [104], 105].

В умовах високого ступеня невизначеності зовнішнього і внутрішнього середовища підприємств управління являє собою адаптаційний багатокроковий процес поступового формування і осмислення перспективних і поточних цілей і можливості їх досягнення. Складність проблем управління вимагає надання керівникам різних рівнів систематичної допомоги на всіх етапах процесу прийняття рішень на основі сучасних інформаційних технологій, здатних забезпечити можливість визначення порівняльної ефективності альтернативних варіантів з урахуванням широкого діапазону непередбачених ускладнень і зміни

екзогенних факторів [105].

Більшість промислових підприємств має складну організаційну структуру і велику кількість виконуваних підрозділами функцій. При цьому найчастіше системи управління на підприємствах будуються за ієрархічним принципом. Такий спосіб побудови усуває суперечності між бажаною простотою опису об'єкта управління і потребою обліку широкого спектра виробничих характеристик цього об'єкта управління, а також протиріч між вимогами оперативності формування управлінського рішення і глибини його опрацювання. Під ієрархічної багаторівневої структурою розуміється структура, що має наступні істотні характеристики [66]:

– 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.

Організаційно-технічні системи є динамічними і мають властивості адаптивності, стабільності, сумісності, а також певною мірою мають властивість адаптації, що полягає в пристосуванні до середовища. В силу існуючих обмежень на розвиток таких систем є тенденція до посилення адаптації, що проявляється в значної мірі в необхідності оптимізації структури, функцій, мінімізації витрат на розвиток і т.д.

Важливою властивістю великих, складних систем, таких як організаційно-технічні, є інерційність щодо швидкості зміни функцій. Вона визначається часом відгуку системи у відповідь на зовнішнє обурення, тобто проміжком часу від початку впливу, що обурює до зміни діяльності системи в потрібному напрямку, і залежить від впливу, що обурює ($t=t_1+t_2$, де t_1 – час відгуку керуючої підсистеми; t_2 – час проходження обурення через всі рівні системи). У зв'язку з цим системи такого типу слід розглядати як таки, що володіють відносними властивостями, тобто відносно відкриті, відносно адаптивні і т.д. Динамічні властивості проявляються в повній мірі, якщо проміжок часу, протягом якого вивчається система, перевищує час відгуку, і якщо вплив перевищує певний поріг.

Саме властивість інерційності тісно пов'язана з проблемами організаційного керування. Коли існує потік бізнес-процесів, виникає потенційна можливість динамічного розподілу завдань між робітниками, які мають необхідну компетентність. Але динамічне балансування навантаження потребує швидких дій в організаційному плані та повну інформацію про стан системи.

1.2.2 Існуючі структури ОТС

Більшість організацій мають так звану функціонально-орієнтовану структуру. Це означає, що кожен підрозділ орієнтований на виконання цілком певного кола завдань (закупівлі, виробництво, фінанси і бухгалтерія, конструювання, технологія і т. ін.). Відповідно, один функціональний підрозділ несе відповідальність за всі продукти і території в рамках своїх функцій. Перевага вузької спеціалізації службовців «компенсується» великими накладними витратами на комунікації і координацію функціональних підрозділів. Функціонально-орієнтовані організації мають ряд недоліків [101], основними з яких є:

– неможливість швидкої реакції на зміни;
– відірваність працюючих від кінцевого результату;
– головним споживачем результатів праці працівника є вищий керівник;
– відсутність безпосередньої орієнтації на клієнта;
– ускладнено взаємодію та обмін інформацією між підрозділами організації.

Альтернативою строго функціональній структурі є процесно-орієнтована структура. Відповідно з новим поглядом на організацію робота повинна бути організована навколо процесів [103]. Метою організації повинно бути вдосконалення бізнес-процесів для подолання їх фрагментарності і для досягнення істотних поліпшень в ключових показниках результативності – витрати, якість, рівень обслуговування та оперативність.

Незважаючи на явні переваги процесно-орієнтованого устрою компанії, – домогтися створення такої структури в чистому вигляді не уявляється можливим,

тому що в будь-якій компанії переважає ієрархічне підпорядкування структур і спеціалізація підрозділів.

Організації, які мають складну і розгалужену структуру, характеризуються, як правило, такими особливостями [103]:

– досить велика кількість функцій, процесів, елементів даних і складні взаємозв'язки між ними, що вимагає ретельного моделювання і аналізу даних і процесів;
– наявність сукупності тісно взаємодіючих підсистем, що мають свої локальні завдання і цілі функціонування (наприклад, обробка транзакцій, рішення регламентних задач, підтримки прийняття рішень;
– роз'єднаність і різнорідність окремих груп виконавців за рівнем кваліфікації і традиціям, що склалися у роботі.

Аналогічна проблема виникає при наявності прямої (дисциплінарної) підпорядкованості одного організаційного елемента іншому і одночасно додаткової (функціональної) підпорядкованості. Найбільш яскравим прикладом може служити бухгалтерія великої компанії, що має кілька напрямків діяльності. Бухгалтери, які обслуговують певний напрямок діяльності такої компанії, входять до складу єдиної бухгалтерії і підпорядковуються (дисциплінарно) головному бухгалтеру (іноді фінансовому директору). Однак функціональна підпорядкованість (в рамках основних функціональних обов'язків бухгалтерів, які обслуговують напрямок) має на увазі їх підпорядкування керівнику функціонального блоку (напрямку).

Тим не менш, ключовим поняттям в сучасній теорії управління бізнесом є процес. Міжнародний стандарт ІСО 9000:2000 визначає процес як сукупність взаємозв'язаних і взаємодіючих видів діяльності, яка перетворює входи у виходи. Процес включає одну або більше пов'язаних між собою процедур або функцій, які спільно реалізують деяку задачу бізнесу – зазвичай в рамках організаційної структури. Він може виконуватися в межах однієї організаційної одиниці, охоплювати кілька одиниць або навіть кілька різних організацій, наприклад, в системі «покупець-постачальник».

З урахуванням сказаного, першим кроком робіт по оптимізації діяльності повинно стати виділення основних продуктів компанії і вибудовування бізнес-процесів відповідно до продуктових ліній. Це дозволяє отримати продуктові «зрізи» бізнес-процесів, що протікають в організації. Однак завжди існує кілька функціональних підрозділів, які приймають участь в обслуговуванні всіх продуктових ліній, наприклад, бухгалтерія, транспортний цех і т. ін. Перебудувати ці напрямки, розбивши їх на продуктові зрізи компанії, складно, тому що це призведе до додаткових проблем і витрат. Проте, процесний підхід дає змогу збудувати відповідні ланки виконавців, які безпосередньо задіяні у бізнес-процесі. Це, у свою чергу, дозволяє ефективно автоматизувати виконання бізнес-процесів, не перебудовуючи функціональну структуру підприємства [105].

Отже, для організації в цілому, завдання оптимізації діяльності зводиться до виділення бізнес-процесів відповідно до продуктових ліній і функціоналу підрозділів, і ув'язці їх в наскрізні процеси організації. Це дозволяє автоматизувати моніторинг та диспетчеризацію процесів, що знижує ступінь невизначеності умов роботи ОТС та створює передумови для підвищення продуктивності і якості діяльності організації, підвищення узгодженості обробки бізнес-завдань.

Таким чином, розглядаючи керування ОТС, множину бізнес-процесів, які проходять скрізь множину автоматизованих робочих місць, доцільно представити як сукупність потокових процесів. З цієї точки зору слід відзначити, що значні резерви оптимізації потокових процесів залишаються незадіяними, тому що в більшості випадків в існуючих моделях не враховується взаємодія робочих місць, застосування програмних агентів та динамічний вибір оптимального розподілу функціональності між виконавцями. Тому застосування класичних методів і засобів керування потоками бізнес-процесів на даний час не дає вагомого поліпшення ефективності ОТС.

1.3 Аналіз існуючих технологій автоматизації бізнес-процесів

1.3.1 Концепція BPM

Управління бізнес-процесами (Business Process Management, BPM) на даний час вважається інструментом підвищення ефективності діяльності будь-якої організації. На бізнес-рівні BPM – це управління процесами, які зазвичай містять послідовність операцій, від початку до кінця. Цінність BPM полягає в можливості моделювати, аналізувати, оптимізувати і, в кінцевому підсумку, впливати на бізнес-процес, що включає в себе багато учасників. Основні можливості, які надають BPM системи, це організація ефективної обробки вхідних даних, динамічна обробка і модифікація даних на кожному кроці процесу, організація взаємодії між сервісами і учасниками, моніторинг ефективності і динамічного зміни процесу і, нарешті, рекомендації щодо прийняття рішення або навіть автоматичне прийняття рішення на виході [106].

Оскільки бізнес-процес являє собою послідовність операцій зі створення продукту (цінності), то при активному застосуванні інформаційних технологій, все більше записів про процеси накопичується в інформаційних системах, тим самим забезпечується деталізована інформація про історію виконання бізнес-процесів. Крім історії бізнес-процесів можна витягати додаткову інформацію про те, хто яку дію виконав, і в який час, а також пов'язані з цим процесом дані [106].

Синтез систем автоматизованого управління бізнес-процесами немислимий без створення відповідного інструментарію, в якому важливе місце займають моделі БП і спеціалізовані засоби програмування.

У загальному випадку, модель бізнес-процесу повинна давати відповіді на наступні питання [107]:

– які процедури (функції, роботи) необхідно виконати для отримання заданого кінцевого результату;
– в якій послідовності виконуються ці процедури;
– які механізми контролю та управління існують в рамках розглянутого бізнес-процесу;

– хто виконує процедури процесу;
– які документи / інформацію використовує кожна процедура процесу;
– які вихідні документи / інформацію генерує процедура процесу;
– які ресурси необхідні для виконання кожної процедури процесу;
– яка документація / умови регламентує виконання процедури;
– які параметри характеризують виконання процедур і процесу в цілому.

Первинне моделювання БП зазвичай проводиться за допомогою відомих графічних нотацій, таких як DFD, IDEF0, IDEF3 [91], [99]. Ці методології орієнтовані на аналітиків, що працюють над реінжинірингом БП. Широко поширена також графічна методологія ARIS – продукт компанії IDS Scheer для моделювання бізнес-процесів [81]. У методології ARIS для опису бізнес-процесів використовується велика кількість типів графічних моделей, кожна з яких описує той чи інший аспект.

Потрібно згадати також мову BPEL (Business Process Execution Language) – мова на основі XML для формального опису бізнес-процесів і протоколів їх взаємодії між собою [108]. BPEL розширює модель взаємодії веб-служб і включає в цю модель підтримку транзакцій.

Отже, BPM – це концепція процесного управління організацією, яка розглядає бізнес-процеси як особливі ресурси підприємства, безперервно адаптуються до постійних змін, і покладається на такі принципи, як зрозумілість і видимість бізнес-процесів в організації за рахунок їх моделювання з використанням формальних нотацій. При цьому використовується програмне забезпечення для моделювання, симуляції, моніторингу та аналізу бізнес-процесів, виникає потенційна можливість динамічного перестроювання моделей бізнес-процесів силами учасників і засобами програмних систем [108]. Засоби BPM дозволяють здійснювати моніторинг робіт і фіксувати ступінь відповідальності осіб за виконання робіт [104].

Для підтримки концепції BPM створено BPMS/BPMT (англ. Business Process Management System/Tool) – технологічне програмне забезпечення. Серед нотацій моделювання бізнес-процесів в різних рішеннях використовуються мови BPMN, EPC (англ. Event-driven Process Chain), IDEF0 та інші [109], [110], [112], [113]. Серед

відомих нотацій виконання бізнес-процесів, що застосовуються в програмних системах – мова BPEL і її діалекти, а також YAWL.

Аналітики Gartner виділяють як основні наступні критерії оцінки BPM-рішень [113]:

– підтримка завдань «людина-людина» (англ. Human workflow) і зручність інтерфейсу користувача;
– підтримка організаційної структури та рольових груп;
– можливість перепризначення завдань, оперативного втручання в процес і обробки виняткових ситуацій;
– можливість управління логікою процесу з робочого місця користувача;
– зручність використання і адміністрування;
– наявність графічних засобів розробки моделей бізнес-процесу;
– підтримка загальноприйнятих архітектур і стандартів;
– продуктивність і масштабованість;
– здатність обслуговувати численні, тривалі і розподілені процеси;
– зрозумілий інтерфейс настройки і можливість мінімального участі IT-фахівців у впровадженні та підтримці;
– можливість інформування в реальному часі за відхиленнями показників процесу;
– підтримка сервіс-орієнтованої архітектури;
– присутність шаблонів бізнес-процесів, референтних моделей бізнес-процесів, на підставі яких можуть бути розроблені нові процеси.

Концепція BPM передбачає досягнення наступних цілей:

1. Швидкість – скорочення часу виконання процесів за рахунок регламентації і автоматизації кроків процесів, введення тимчасових обмежень для виконання кроків процесів.
2. Якість – за рахунок прозорості бізнес-процесів для всіх учасників, регламентації і засобів моніторингу забезпечується дотримання всіх передбачених правил.
3. Управління на основі показників – виконання процесів може контролюватися

через набори процесних показників, які відображають витрати на процес, час виконання і завантаження ресурсів, таким чином, полегшуючи аналіз і оптимізацію процесу на підставі реальних значень показників.

4. Гнучкість – можливість досягнення організаційної гнучкості компанії через залучення учасників процесів до моделювання і перебудові.

Застосування концепції BPM передбачає наявність таких ролей:

Архітектор процесів – відповідає за опис і проектування бізнес-процесів.

Процесний аналітик – відповідає за побудову, впровадження, моніторинг та оптимізацію бізнес-процесів.

Власник процесу – відповідає за виконання бізнес-процесу від початку до кінця, відповідно до визначених цільовими показниками ефективності і в кінцевому підсумку за створення цінності для споживача [115], [116], [117], [118], [119], [120].

Таким чином, дана концепція охоплює практично всі аспекти автоматизації БП за винятком автоматизації документообігу, де зазвичай використовуються інші підходи [121], [122].

1.3.2 Аналіз мов програмування і стандартів зображення процесів в BPM

Саме способи відображення процесів визначають те, як реалізується автоматизація БП. Від того, яким інструментарієм користуються аналітики та програмісти, залежить успіх або невдача впровадження BPM.

Розгляд цього аспекту BPM почнемо з BPEL (Business Process Execution Language). Це мова на основі XML для формального опису бізнес-процесів і протоколів їх взаємодії між собою. BPEL розширює модель взаємодії веб-служб і включає в цю модель підтримку транзакцій. У загальному вигляді конфігурація BPEL-проекту виглядає наступним чином [108]:

– BPEL-візуальний редактор;
– сервер управління бізнес-процесами.

Починаючи з 2002 року BPEL є стандартом для управління бізнес-

процесами. BPEL підтримується дуже широким колом компаній, включаючи всіх основних постачальників; він використовує більш ранні мови, включаючи WSFL від IBM і XLang від Microsoft.

Деякі з характерних особливостей BPEL:

– багата семантика секвенування, включаючи паралельну і асинхронну обробку. Використовує модель довгострокових транзакцій на основі компенсації (LRT);
– забезпечує широкі можливості обробки збоїв;
– забезпечує широкі можливості обробки асинхронних подій в певній галузі, дозволяючи отримувати сповіщення на основі часу, а також позасмугових події, такі як скасування замовлення;
– використовує веб-сервіси в якості моделі для декомпозиції і збірки процесів, тобто кожен процес BPEL є веб-службою і може бути складений як такої в інших процесах BPEL;
– використовує XML і XPath для доступу до даних і маніпулювання ними.

Корпорація Oracle вважає, що BPEL забезпечує важливий будівельний блок для сервіс-орієнтованих архітектур (SOA). Oracle була одним з перших розробників цього стандарту і надає одну з найбільш зрілих, комплексних і масштабованих реалізацій. З 2003 року Oracle працює з іншими гравцями галузі над розвитком BPEL і пов'язаних з ним стандартів [106], [107].

В сервіс-орієнтованої архітектури за допомогою BPEL можна забезпечити послідовність виконання, включаючи послідовні, паралельні або інші типи шаблонів залежностей потоку управління; обробки винятків, включаючи трансакції і компенсації; потоки даних і маніпулювання ними; обробку подій, включаючи таймери і інші зовнішні події.

Для моделювання та симуляції можна використовувати пакет Oracle BPA [108]. У частині підтримки електронного документообігу реалізується маршрутизація на основі декларативних шаблонів, де вказуються загальні ланцюжка управління, групи голосування. Шаблони можуть бути об'єднані для створення складних потоків маршрутизації.

Таким чином, BPEL став стандартом для управління процесами,

дозволяючи замовникам стандартно створювати комплексні бізнес-процеси, що охоплюють додатки, системи та користувачів.

Нотація BPMN. BPMN (англ. Business Process Model and Notation) – система умовних позначень і їх опису в XML для моделювання бізнес-процесів. Розроблено Business Process Management Initiative (BPMI.org) і підтримується Object Management Group, після злиття обох організацій в 2005 році [111], [112].

BPMN – це загальноприйнятий галузевий стандарт для моделювання цифрових процесів, що дозволяє відобразити бізнес-процеси у вигляді послідовностей завдань. Головною перевагою є візуалізація процесів і наочність їх представлення, таким чином, всі користувачі мають однакове бачення про те, як збудований процес, і хто в ньому бере участь.

Специфікація BPMN описує умовні позначення і їх опис в XML для відображення бізнес-процесів у вигляді діаграм бізнес-процесів. BPMN орієнтована як на технічних фахівців, так і на бізнес-користувачів. Для цього мова використовує базовий набір інтуїтивно зрозумілих елементів, які дозволяють визначати складні семантичні конструкції. Крім того, специфікація BPMN визначає, як діаграми, що описують бізнес-процес, можуть бути трансформовані в виконувані моделі. Специфікація BPMN 2.0 також є виконуваною і яку переносять (тобто процес, намальований в одному редакторі від одного виробника, може бути виконаний на движку бізнес-процесів абсолютно іншого виробника, за умови, якщо вони підтримують BPMN 2.0).

Основна мета BPMN – створення стандартного набору умовних позначень, зрозумілих всім бізнес-користувачам. Бізнес-користувачі включають в себе бізнес-аналітиків, що створюють і покращують процеси, технічних розробників, відповідальних за реалізацію процесів і менеджерів, що стежать за процесами і керуючих ними. Отже, BPMN покликана служити сполучною ланкою між фазою дизайну бізнес-процесу і фазою його реалізації. Поширення BPMN допомагає уніфікувати способи представлення базових концепцій бізнес-процесів, а також більш складні концепції (наприклад, обробка виняткових ситуацій).

Однак цього стандарту властиві й недоліки:

1. BPMN підтримує лише набір концепцій, необхідних для моделювання бізнес-процесів. Моделювання інших аспектів, крім бізнес-процесів, знаходиться поза зоною уваги BPMN. Наприклад, в BPMN немає засобів для моделювання типів даних і організаційних структур, не можна зобразити схему інформаційних потоків, як це робиться в нотації DFD.

За рахунок жорстких вимог до XML-формату, описи процесів в BPMN можуть бути використані для створення програмного забезпечення в спеціальних платформах (BPMS). Використання BPMS для створення додатків на базі BPMN-опису процесу розвиває роль BPMN як сполучної ланки між бізнес-користувачами і технічними розробниками, оскільки створюване програмне забезпечення зберігає візуальну складову процесу і виконує його строго відповідно до вимоги специфікації. Однак, реалізація цього стандарту в існуючих версіях BPMS поки далека від повноти.

На думку багатьох аналітиків BPEL і BPMN – два найбільш перспективних стандарти в області BPM.

Проте, автор роботи [113] констатує, що навіть прихильники BPEL визнають, що він насилу сприймається бізнес-користувачами, і BPMN в цьому відношенні явно краще. У пошуках фундаментальної причини такого стану справ автор вказує, що BPEL по суті є структурованою мовою програмування. Відповідно, в ньому відсутній популярний свого часу оператор «go to». Але у бізнес-аналітиків, які знаходяться в більш тісному контакті з реальним світом, постійно виникає бажання простягнути стрілку «ось звідси ось туди», що є аналогом оператора «go to» в мовах програмування. BPMN це дозволяє, а BPEL – ні. Якщо програміст продовжує наполягати на своєму баченні, то це призводить до того, що програміст і бізнес-аналітик оперують різними артефактами, а в підсумку – до розриву між бізнесом та IT, який сьогодні усвідомлений як фундаментальна проблема. А для вирішення цієї проблеми, власне і була запропонована концепція BPM. Таким чином, ясно, BPEL не може вирішити всі проблеми BPM.

Звідси шлях, який обрали кілька вендорів: моделювання в BPMN і

автоматична трансляція в BPEL, де і повинен створюватися виконуваний код. Як приклад такого підходу в [113] наводиться Intalio BPMS. Однак, після численних спроб, сьогодні можна констатувати, що в загальному вигляді це завдання не вирішено. З одного боку, доводиться обмежувати використання BPMN деякою підмножиною. А з іншого, для багатьох технічних подробиць процесу, що відносяться до його виконання, немає місця в BPMN – вони повинні бути внесені в BPEL. Останній факт робить вельми проблематичним «round-trip» – замкнутий цикл розробки, що залучає і аналітика, і розробника.

Автори робіт [114], [115], [116], зазначають, що і BPMN, і BPEL не ідеальні. Але BPMN користується успіхом не дивлячись на його недоліки, в той час як недоліки BPEL за фактом обмежують його застосування в основному областю інтеграції і SOA.

Автор [113], зокрема, зазначає, що BPMN дозволив піти від уявлення про діаграми процесу як про ескізі бізнес-вимог і ставиться до неї як до безпосередньо виконуваної (після додавання до неї програмістами відповідних атрибутів). А адже саме в цьому, на думку автора, полягає «виграшна ідея» BPM. BPMN дозволяє, наприклад, повернутися від розвилки до деякого попереднього кроку, в той час як BPEL накладає на такі речі серйозні обмеження. Це означає, що на BPMN можна намалювати діаграму, яку не можна транслювати в BPEL, або принаймні, не можна транслювати оборотним способом, щоб зробити можливим замкнутий цикл розробки. В основному вендори вирішують цю проблему, накладаючи обмеження на використання BPMN, а подібні обмеження ускладнюють використання нотації бізнес-користувачами.

Разом з тим, BPMN програє BPEL в стандартизації семантики. У разі BPEL ви зобов'язані підтримувати певний набір вимог, щоб претендувати на сумісність. BPMN ж занадто складно реалізувати в повному обсязі, а ніяких проміжних рівнів сумісності стандарт не визначає. В результаті кожен вендор довільним чином вирішує, що з стандарту підтримувати, а що ні, і це не йде на користь нікому. Автори роботи [117] також вважають, що аналітик повинен сам вирішувати, задовольняє BPEL його вимогам чи ні. Наявність даних стандартів

необхідна, але її недостатньо. Можливо, необхідні узгоджені стандарти аналогічно HTML (структура і зміст), CSS (інтерпретація) і DOM-based API (динамічна модифікація). Intalio використовує автоматичну генерацію BPEL з BPMN. Природно, цим самим пропонується свій варіант BPMN execution semantic. Привабливість такого підходу у відносній простоті створення і модифікування виконуваних БП. У простих випадках не потрібно змінювати програмний код.

Фірма IBM використовує обидва описаних вище продукти паралельно для бізнес-моделювання та для виконання (BPEL), при цьому користувачам обмежують використання цих продуктів, щоб полегшити двосторонній обмін між ними [117].

Фірма SAP використовує ARIS для моделювання, а для виконання створила свій продукт, – пряму інтерпретацію BPMN [117].

Окремо необхідно згадати концепцію адаптивного кейс-менеджменту ACM (Adaptive Case Management, Dynamic Case Management, Advanced Case Management) – концепція динамічного управління бізнес-процесами підприємства [113], [114], [117]. Системи ACM призначені для вирішення завдань колективної взаємодії співробітників, видачі завдань і доручень і контролю термінів їх виконання. Система адаптивного кейс-менеджменту дозволяє управляти всіма поточними корпоративними проектами і співробітниками, в них беруть участь, повністю контролюючи виконання проекту на кожному етапі і формуючи реальну бібліотеку «кращих практик» в процесі реальної роботи [118], [119].

Поява ACM пов'язана з тим, що при практичному впровадженні систем BPM виникають цілком реальні проблеми з цілісністю, під якою в даному випадку мається на увазі можливість задоволення всієї повноти вимог замовника по автоматизації бізнес-процесів.

Одним з переваг ACM є те, що ACM надає можливість накопичення корпоративних знань для їх повторного використання. Всі знання, які виникають в «офісних» бізнес-процесах, можуть і повинні відчужуватися від їх носіїв і зберігатися для загальнокорпоративного використання з метою уникнення появи

«вузьких місць» і «унікальних» «незамінних» працівників. Інструментом такого відчуження, що забезпечує своєчасне і стабільне виконання співробітниками своєї роботи, і є Адаптивний Кейс-Менеджмент.

Зробимо проміжні висновки.

Постачальники бачать наявність недоліків у «традиційних» BPM систем. Відповідно, з'являються розширення BPEL для урахування колективної взаємодії, такі як BPEL4People. Однак ці можливості мають спільні недоліки BPM в порівнянні з ACM – вимагають складних налаштувань, в них ускладнені засоби контролю доступу, адресації і фільтрації спеціальних заходів (ad-hoc activities), немає засобів завантаження файлів, фотографій користувачів, засобів для ведення дискусій – все це елементарні засоби, які зобов'язані бути в будь-який ACM. Без таких соціальних функцій BPM не зможе розвиватися, щоб нарешті стати ефективним інструментом. Інтеграція BPM і ACM розширює сферу застосування BPM, робить системи BPM більш привабливими та ефективними. Але ні традиційні BPM, ні ACM не можуть дати вагомих переваг, досі організація не використовує програмних агентів, тобто роботизовану автоматизацію бізнес-процесів.

1.3.3 Роботизована автоматизація бізнес-процесів

Щодо використання програмних агентів для виконання бізнес-процесів, за даними джерела [123] Robotics Process Automation (RPA) дозволяє організаціям автоматизувати виконання завдань так само, як це робила людина в додатках і системах. Роботизована автоматизація взаємодіє з існуючою IT-архітектурою, не вимагаючи складної системної інтеграції. RPA може використовуватися для автоматизації робочого процесу, інфраструктури, бек-офісу, які є трудомісткими. Ці програмні боти можуть взаємодіяти з власним додатком, веб-сайтом, призначеним для користувача порталом і т.д.

RPA – це програмне забезпечення, яке запускається на комп'ютері кінцевого користувача, ноутбуці або мобільному пристрої. Це послідовність команд, які виконуються ботами відповідно до певного набору бізнес-правил.

Основна мета процесу роботизації – замінити повторювані і нудні клерикальні завдання, що виконуються людьми, віртуальної робочою силою.

Загальне використання RPA [124], [125], [126].

1. Бот наслідує людській дії, емулюючи виконання людиною повторюваного процесу з використанням різних додатків і систем. Бот може легко здійснювати передачу даних з однієї системи в іншу. Він виконує такі завдання, як введення даних, копіювання та вставка.

Бот працює з декількома складними завданнями в декількох системах. Це допомагає обробляти транзакції, маніпулювати даними і відправляти звіти.

Ця система автоматизації може передавати дані між розрізненими і успадкованими системами, підключаючи їх на рівні користувача інтерфейсу замість розробки нової інфраструктури даних.

При впровадженні RPA виникають такі переваги [127], [128]:

1. Велику кількість процесів можна легко автоматизувати.

2. Вартість виконання значно знижується, оскільки RPA піклується про повторювані завдання і заощаджує дорогоцінний час і ресурси.

3. Навички програмування не потрібні для налаштування програмного робота. Нетехнічний персонал може налаштувати бота або навіть записати свої кроки для автоматизації процесу.

4. Роботизована підтримка автоматизації процесів забезпечує всі регулярні процеси відповідності, з безпомилковим аудитом.

5. Моніторинг в реальному часі помилок і дефектів в процесах.

6. Проста масштабованість за рахунок генерування нових екземплярів бота.

Але до недоліків існуючих моделей RPA можна віднести те, що практично відсутня стратегія колективної роботи людини та програмного агента при реалізації БП. Також немає джерел, що описують програмні засоби, які забезпечують гнучкість налаштувань сценаріїв виконання бізнес-операцій. Розглянемо ці питання у п.п. 1.3.4.

1.3.4 Проблема забезпечення гнучкості настройки сценарію бізнес-операцій

Як показано в роботі [129] для конкретного бізнес-процесу у нас можуть бути різні варіанти процесу, що відображають коригування, зроблені на основі еталонної моделі процесу, відповідно до деяких конкретними вимогами контексту процесу. Фактично, проектування / моделювання бізнес-процесу охоплює кілька рівнів абстракції, від теоретичних моделей життєвого циклу, через організаційні моделі найкращої практики, до планів реальних екземплярів процесу. Ці розробки зазвичай призводять до створення шаблонної моделі, яку можна визначити як узагальнення інших моделей, що представляють велику кількість варіантів процесу. Ця модель шаблону також повинна настроюватися, щоб отримати конкретний варіант моделі, який найкращим чином відповідає певному контексту.

Однак великі організації часто мають кілька організаційних підрозділів, які управляються по-різному, але також повинні використовувати одні і ті ж моделі процесів для аналогічних міжустановних бізнес-процесів. Наскільки можна судити з публікацій [128], [129], [130], для такого роду організацій характерно мати кілька варіантів певного бізнес-процесу зважаючи на такі фактори, як політика місцевого управління, обмеження ресурсів, технічні обмеження або навіть культура. Отже, управління та оптимізація бізнес-процесів з багатьма варіантами стає важким для цих організацій.

Що стосується використання програмних засобів, які допомагають інженерам-технологам виконувати певні підходи і алгоритми, набір інструментів досить обмежений. В роботі [131] автори прагнуть до візуального підходу для виявлення значних відмінностей між варіантами процесу на основі того, що було записано в журналах подій. Вони використовують кольорові перехідні системи для моделювання поведінки і виділення відмінностей, а також реалізують свій підхід, – плагін Process Comparator добре відомої платформи ProM [131]. Використовується також веб-інструмент BP-Diff, який бере пари моделей процесів в форматі BPMN і виводить поведінкову діагностику відмінностей у

формі текстових тверджень і графічно накладається на моделі процесів [131]. У публікаціях [132], [133], [134], представлено сучасний стан робіт, за методами порівняння моделей бізнес-процесів, і визначено підхід для порівняння двох бізнес-процесів і вимірювання розриву між ними.

Таким чином, є проблема створення інструментарію для швидкої і технічно нескладної перебудови сценарію бізнес-процесу, бажано без побудови нових і нових графічних схем, які застосовуються для автоматизованого синтезу сценаріїв бізнес-операцій в існуючих системах.

1.3.5 Моніторинг бізнес-процесів

Зрозуміло, що без моніторингу виконання бізнес-операцій та процесів неможливо забезпечити надійну роботу програмних агентів в ОТС. В останні роки моніторинг відповідності бізнес-процесів відповідним нормам, обмеженням і правилам під час виконання перетворився в основну проблему в літературі і на практиці. Моніторинг відноситься не тільки до постійного спостереження за можливими порушеннями відповідності, але також включає можливість забезпечити детальний зворотний зв'язок і прогнозувати можливі порушення відповідності в майбутньому. Література по відповідності бізнес-процесів обширна, і підходи, спеціально призначені для моніторингу процесів, важко визначити.

Однією з найбільш важливих нам представляється проблема розпізнавання ситуацій і діагностики помилок при виконанні бізнес-операцій, так як будь-яка критична ситуація знижує якість БП, сповільнюючи його хід і підвищуючи ризики збільшення вартості затримок. В процесі експлуатації BPM-система повинна накопичувати завдання, які очікують обробки, і формувати черги завдань різних типів, призначаючи для кожного завдання виконавця (APM). Крім того, необхідно автоматично проводити періодичне оновлення черг і фіксувати наявність в черзі нових, ще не переглянутих завдань, завдань з високим пріоритетом або завдань з встановленим граничним терміном виконання [135].

Аналізуючи особливості реалізованих бізнес-процесів, можна виявити безліч

потенційних критичних ситуацій: затримки по часу виконання функцій, скасування раніше скоєних дій, перерозподіл виконавців, зайві дії в процесі, неефективних виконавців. В роботі [136] розглядаються питання управління слабкоструктурованими бізнес-процесами, ситуації в яких можуть змінюватися під час виконання. Пропонуються принципи управління, ситуативно-сценарна модель процесу і метод її реалізації на основі представлення процесу у вигляді послідовності ситуацій і пов'язаних з ними сценаріїв, що складаються з процедур і об'єктів даних. Така модель може стати основою для розуміння того, які завдання доводиться вирішувати при розробці автоматизованих ОТС. Перш за все, це завдання забезпечення надійності виконання БО.

В роботах [137], [138], [148] обговорюється наскрізна автоматична перевірка бізнес-процесів, яка може бути складним завданням, але важливим способом перевірки правильності роботи бізнес-правил і виявлення та усунення проблем в найкоротші можливі терміни. Автори описують можливості вилучення бізнес-правил за допомогою BPMN – стандарту моделювання бізнес-процесів, який надає графічну нотацію для визначення бізнес-процесів в діаграмі бізнес-процесів (BPD), засновану на методі послідовного уявлення. На підставі отриманих кейсів можна побудувати тести для конкретного бізнес-процесу. Однак, такий метод перевірки не працює в реальному часі.

В роботах [150], [151] обговорюються методи перевірки бізнес-процесів в реальному часі (RT-BPV) для забезпечення якості з точки зору часу, т. е. затримка часу при виконанні БП повинна в ідеалі дорівнювати нулю. Автори показують, яким чином складаються схеми контролю часу виконання, але не пропонують конкретних математичних моделей, придатних для контролю будь-яких бізнес-операцій.

Метод і модель моніторингу та діагностики критичних ситуацій в безперервних виробничих процесах описані в роботі [149]. Очевидно, що подібний підхід може виявитися корисним і при моніторингу бізнес-процесів в автоматизованих ОТС.

Отже, однією з цілей даної роботи має бути побудова комплексу моделей

діагностування ситуацій та інформаційної підтримки процесів адаптації виконавчих структур ОТС при виникненні критичних ситуацій під час виконання множини бізнес-операцій на множині БП і множині АРМ з урахуванням участі в бізнес-операціях людей (h-агентів) і ботів (b-агентів).

1.4 Багатоагентні та ергатичні системи

1.4.1 Актуальність багатоагентного підходу

Потреба бізнесу в підвищенні ефективності бізнес-процесів обумовлює розвиток новітніх технологій автоматизації та роботизації ОТС. При цьому таки технології повинні забезпечувати одночасну обробку різноманітних даних та можливість динамічного розширення функціональності в залежності від потреб бізнесу [155]. Сучасні ОТС в будь-якій галузі, як правило, мають у своєму складі безліч елементів зі складною схемою взаємозв'язків. У задачах синтезу оптимальних виконавчих структур, здатних до адаптації при мінливих потоках заявок, важливо мати єдиний формальний опис, що охоплює ієрархічну структуру ОТС і множину паралельних зв'язків. Створення такого опису є досить складним завданням [153], [154], [155]. Складнощі структурного синтезу виконавчих систем пов'язані в першу чергу з невизначеністю умов завдань проектування, коли не в повному обсязі конкретизовані моделі і алгоритми функціонування та взаємодії виконавчих структур [40], [41].

На сьогоднішній день в якості основи для подібних інформаційних інфраструктур використовують сервіс-орієнтовану архітектуру (англ. Service-Oriented Architecture, SOA), компонентну архітектуру сервісів (англ. Service Component Architecture, SCA) та мікросервісну архітектури [154]. SOA є однієї з найпоширеніших архітектурних концепцій програмного забезпечення, в основі якої лежить принцип використання розподілених, слабко пов'язаних, замінних компонентів зі стандартизованими інтерфейсами для взаємодії за стандартизованими протоколами. Термін SOA тісно перетинається з поняттям «веб-сервіси». Веб-сервіси у відповідності з принципами SOA базуються на

відкритих стандартах, таких як Extensible Markup Language (XML) та можуть бути застосовані до всіх розподілених інформаційних систем і технологій, які використовуються бізнесом [151]. SCA є архітектурою, що засновано на SOA. SCA додає до SOA можливості ефективного керування складовими компонентами сервісів різного рівня складності та забезпечує інфраструктуру для уніфікованого обміну даними через сервіс об’єктів даних (англ. Service Data Object). З урахуванням розподіленості інфраструктури великих підприємств SOA/SCA мають переваги над традиційними архітектурами додатків, але в той же час, як і монолітні, SOA/SCA незахищені від впливу людського фактору на етапах розробки та використання [150], [151], [152]. З цього боку, мікросервіси, як архітектура, мають більш сприятливі можливості, щодо зменшення залежності від розробників програмного забезпечення. Річ у тому, що інформаційна система на основі мікросервісної архітектури будується як набір невеликих сервісів, які побудовані з урахуванням бізнес-потреб підприємства та розгортаються незалежно, з використанням повністю автоматизованого середовища. Такий підхід дозволяє збільшити зв’язність системи та зменшує її зв’язаність. Це дозволяє додавати та змінювати функціональність системи в будь-який час та зменшує залежність від певного фахівця-розробника сервісу, який з певних причин може припинити розробку або підтримку сервісу [154].

Висновки можна зробити таки: з урахуванням вищенаведеного, мікросервісна архітектура є сприятливим середовищем для розробки спеціалізованих сервісів підтримки процесів виконання бізнес-операцій в організаційно-технічних системах.

З іншого боку доцільно розглядати набір мікросервисів як множину агентів, кожен з яких має компетентність щодо виконання певного класу бізнес-операцій (БО). Таким чином, комплекс мікросервисів можна та й потрібно розглядати як багатоагентну систему.

1.4.2 Ергатичні системи

Важливим фактором ефективного функціонування автоматизованої ОТС є

належне урахування людського фактора, тобто інтересів, цілей і можливостей працюючих в складі таких систем людей. Різним аспектам цієї проблеми присвячено багато праць [73], [157]. Ключовими в загальних питаннях є праці [73], [161], [162]. Саме участь людини в контурі управління дозволяє надати системам такі властивості, як здатність ефективно діяти в непередбачених ситуаціях, достатня надійність роботи в різних режимах, високий рівень адаптації до змін у навколишньому середовищі. Багато складних проблем неможливо описати і дослідити виключно за допомогою одних тільки математичних моделей без використання знань, досвіду і суджень людини. Отже, при розробці автоматизованої ОТС необхідно так організувати взаємодію людини і програмних агентів, щоб максимально ефективним чином використовувати позитивні властивості цих двох компонентів цілісної системи. У цьому плані слід виділити організмічну концепцію, ефективність якої була продемонстрована при розробці засобів управління об'єктами і процесами різної природи в досить складних ситуаціях – при недостатності інформації, в умовах жорсткого дефіциту часу, протидії і т. ін. На базі організмічної концепції розвинулася теорія ергатичних систем, що використовує знання про моделі осмисленої поведінки людини в якості основи побудови інтелектуальних людино-машинних комплексів [73], [161].

На даному етапі розвитку інформаційних технологій управління найбільш перспективним напрямком є створення мікросервісів, призначених для функціонування в порівняно вузьких предметних областях. Іншими словами, найбільш доцільним є прагматичний підхід до розробки систем програмних агентів, спрямований на рішення проблем і задоволення потреб людини, що виникають в процесі його цілеспрямованої діяльності. Такі мікросервіси повинні мати здатність адаптації як до можливих змін у зовнішньому середовищі, так і до можливих змін у структурі та параметрах самої системи управління. Метою подібної адаптації є забезпечення якості та стійкості управління навіть при найбільш несприятливих умовах.

Організмічна концепція побудови цілеспрямованих ергатичних систем вимагає, щоб взаємодія користувача з системою будувалося на тих же принципах,

що і спілкування між людьми [72], [161]. У відповідності з цією концепцією, принципові властивості таких систем визначаються сукупністю основних організмічних принципів, а саме принципів функціонального гомеостазису, активності, стаціонарності, найменшої взаємодії, автономності. Їх реалізація забезпечує гнучку структуру всього набору цілей і засобів їх досягнення за основним критерієм функціональної цілісності. Подібний цілісний розгляд завдань управління може служити основою як для їх початкового структурування, так і для подальшого моделювання та оптимізації структурних і функціональних рішень.

Слід зазначити, що до теперішнього часу не знайдено оптимальне поєднання різних форм комунікативної взаємодії людини з технічними пристроями в загальному випадку. Однак урахування організмічних принципів дає можливість структурувати людино-машинний діалог таким чином, щоб максимально використовувати сильні сторони і знання людини, і комп'ютеризовані технічні засоби.

Для ефективної конфігурації та інтеграції розподілених в часі і просторі елементів знань доцільно використовувати нову системну парадигму, засновану на концепції мережецентричності [157]. Дана парадигма дозволяє не просто об'єднати розподілені в часі і просторі процеси перетворення інформації в єдину систему, а досягти синергії взаємодіючих локальних інформаційних сегментів. Концепція мережецентричності передбачає формування і використання інтегрованого інформаційного простору, що забезпечує своєчасність прийнятих рішень, а також їх обґрунтованість і взаємну координацію. Для практичного застосування мережецентричної парадигми в умовах розподілених ОТС необхідно використовувати мережеві і хмарні комп'ютерні технології.

Окремою проблемою є надійність людини-оператора при виконанні бізнес-операцій. Зрозуміло, що співробітник повинен володіти достатньою компетентністю у відповідній області. Однак, не можна скидати з рахунку і можливість помилок через відволікання уваги, втоми, перевантаженості

декількома одночасно виконуваними роботами.

Для правильного розуміння поняття надійності діяльності доречно буде дати її тлумачення як імовірнісного показника, що характеризує здатність людини безвідмовно, ефективно і з необхідною точністю здійснювати цю діяльність протягом певного часу за певних умов [163]. З кібернетичної точки зору, проблема надійності операторської діяльності розглядається з позицій функціонування ергатичної системи або ергамата [163], [164], [165]. У психофізіологічному розумінні категорія надійності головним чином розглядається в контексті методів її визначення як ймовірність безпомилкової роботи [166]. Це говорить про те, що для технічних додатків раціональним є імовірнісна інтерпретація ступеня надійності людини, що виконує бізнес-операцію [168].

З цієї точки зору доцільно розглянути виконання бізнес-операції парою людина-робот, де в якості робота використовується програмний агент. Залишаючи людині в основному контрольні функції, ми можемо вирішити і проблему надійності і проблему підвищення продуктивності.

1.4.3 Проблеми кооперації людей і програмних агентів

Завдяки появі багатоагентних систем і RPA стало можливим автоматизувати завдання, які раніше виконувала тільки людина, але, крім того, з'являються нові завдання і види діяльності, в яких люди можуть продуктивно працювати в кооперації з програмними агентами [194], [199]. Перспективним напрямком продуктивного використання такої кооперації є застосування багатоагентних систем в ОТС.

Автоматизація виконання бізнес-процесів в ОТС повинна реалізуватися таким чином, щоб бізнес-операції (БО) виконувалися спільно людиною-оператором (h-агентом) і b-агентом (ботом). Це дає можливість контролю діяльності ботів і підвищує надійність виконання БО, а з іншого боку – прискорює і здешевлює бізнес-процеси за рахунок меншої участі людини. Така автоматизація в рамках ОТС породжує ряд проблем, таких, як необхідність

різнобічного моделювання процесів, що відбувається в ОТС, де одночасно виконується множина БП і множина БО. Отже, визначення способів взаємодії агентів в інформаційній технології управління процесам в ОТС є актуальним завданням.

При розробці моделі взаємодії агентів необхідно враховувати наступне [206], [208], [211]:

– кожен агент відіграє одну або кілька попередньо встановлених ролей, межі якої визначені його компетенцією;
– агенти існують і приймають рішення в умовах інформаційної залежності;
– кожен агент має обмежену інформацією, що спричиняє необхідність інформаційного обміну між ними; агенти володіють обмеженою компетентністю і можливостями, що може бути заповнене шляхом залучення знань і функціональних можливостей інших агентів;
– агенти повинні узгоджувати і синхронізувати свої дії при вирішенні спільних завдань.

В роботі [41] сформульовані три базові принципи координації в складних багаторівневих системах. Вони добре відомі. До них відносяться прогнозування взаємодій, реалізація взаємодій і оцінка взаємодій. Ці принципи приймають конкретну алгоритмічну форму в рамках конкретної математичної моделі і конкретного застосунку.

При розробці загального підходу до організації взаємодії агентів необхідно також приділити увагу розподілу функцій централізованого та децентралізованого управління агентами, таких, як розподіл функцій розпізнавання ситуацій, що виникають при відпрацюванні операцій. Для розпізнавання ситуацій в багатоагентних системах зазвичай застосовуються бази знань, засновані на продукційних правилах [210], [211], [212].

Незважаючи на наявні публікації, зокрема [206], [213], з проблем мультиагентних систем, орієнтованих на виконання бізнес-процесів, ми не зумили знайти математичні моделі, що дозволяють зв'язати множину процесів багатофазного обслуговування на множині АРМ з урахуванням необхідності

моніторингу та оптимізації цих процесів.

Таким чином, побудова системи взаємопов'язаних БО на множині БП ускладнюється тим, що кожна БО є частиною одного з БП і усі БО виконуються на обмеженій множині АРМ. Це вимагає розгляду сукупного операційного простору і адекватного модельного відображення і узгодження динаміки процесів, що відбуваються. Аналіз літературних джерел [206], [211] підтверджує актуальність цього питання. Тому одним із завдань даної роботи має бути формування комплексу моделей, що дають можливість відобразити формальний опис бізнес-процесу і бізнес-операції в операційний простір організаційно-технічної системи і створити математичне забезпечення для здійснення моніторингу бізнес-процесів як на рівні окремих АРМ, так і на рівні ОТС.

1.5 Класифікаційний аналіз відомих критеріїв якості та ефективності організаційно-технічних систем

1.5.1 Загальні положення оцінки ефективності організаційних структур

Оцінка ефективності є важливим елементом розробки проектних і планових рішень, що дозволяє визначити рівень діючої структури, розроблювальних проектів чи планових заходів, і проводиться з метою вибору найбільш раціонального варіанта структури або способу її вдосконалення. Ефективність організаційної структури повинна оцінюватися на стадії розробки ОТС, при аналізі способів взаємодії елементів.

Комплексний набір критеріїв ефективності системи управління формується з урахуванням двох напрямів оцінки її функціонування [212], [213], [214]:

– за ступенем відповідності результатів, що досягаються встановленим цілям;
– за ступенем відповідності процесу функціонування системи об’єктивним вимогам до результатів.

Критерієм ефективності при порівнянні різних варіантів організаційної структури служить можливість найбільш повного і стійкого досягнення кінцевих

цілей системи управління при відносно менших витратах на її функціонування.

Принципове значення для оцінки ефективності системи управління має вибір бази для порівняння або визначення рівня ефективності, який приймається за нормативний. Один з підходів диференціювання зводиться до порівняння з показниками, що характеризують ефективність організаційної структури еталонного варіанту систем управління. Еталонний варіант може бути розроблений і спроектований з використанням всіх наявних методів і засобів проектування систем управління. Характеристики такого варіанту приймаються як нормативні. Може застосовуватися також порівняння з показниками ефективності і характеристиками системи управління, обраної як еталон, що визначає допустимий або достатній рівень ефективності організаційної структури.

Часто використовується експертна оцінка організаційно-технічного рівня аналізованої і проектованої системи, а також окремих її підсистем і прийнятих проектних і планових рішень, або комплексна оцінка системи управління, заснована на використанні кількісно-якісного підходу, що дозволяє оцінювати ефективність управління по значній сукупності факторів.

Показники, що використовуються при оцінках ефективності апарату управління та його організаційної структури, можуть бути розбиті на наступні три взаємопов'язані групи [215], [216], [217], [218], [219], [220]:

1. Група показників, що характеризують ефективність системи управління, які виражаються через кінцеві результати діяльності організації, і витрати на управління. При цьому можуть розглядатися об'єм, прибуток, собівартість, обсяг капітальних вкладень, якість продукції, терміни впровадження нової техніки і т. ін.

2. Група показників, що характеризують зміст і організацію процесу управління, в тому числі безпосередні результати і витрати управлінської праці.

3. Група показників, що характеризують раціональність організаційної структури і її технічно-організаційний рівень. До структур відноситься

ланцюговість системи управління, рівень централізації функцій управління, прийняті норми керованості, збалансованість розподілу прав і відповідальності.

Для оцінки ефективності управління важливе значення має визначення відповідності системи управління і її організаційної структури об'єкту управління. Це знаходить вираз в збалансованості складу функцій і цілей управління відповідно чисельності складу працівників, обсягу і складності робіт, повноті забезпечення необхідною інформацією, забезпеченості процесів управління технологічними засобами з урахуванням їх номенклатури.

Важливими вимогами є здатність адекватного відображення динамічності керованих процесів, збалансованість і несуперечність показників.

1.5.2 Інтерпретація терміну «ефективність»

Ефективність організації в загальному вигляді визначають як відношення результату її діяльності до витрат, спрямованих на його досягнення. Ефективність є характеристика процесів і впливів суто управлінського типу, що відображає перш за все ступінь досягнення переслідуваних цілей, тому ефективність має лише цілеспрямована взаємодія [216], [222].

В залежності від поставлених завдань під ефективністю розуміють:

– певний конкретний результат (ефективність дії чого-небудь);
– відповідність результату або процесу максимально можливому, ідеальному або плановому;
– числову характеристику задовільності функціонування;
– ймовірність виконання цільових установок і функцій;
– відношення реального ефекту до необхідного (нормативному) ефекту.

У вітчизняній науці і практиці можна виділити матеріал, присвячений ефективності виробництва трьох видів:

– апробований, що міститься в нормативних актах (методиках, інструкціях і т. ін.);
– такий, що висвітлює дискусійні питання, відображені в спеціальній літературі;

– обґрунтування критеріїв і показників ефективності. Критерії відображають сутність ефективності, показники служать засобом виміру та зіставлення ефективності відповідно до її критеріїв.

Стосовно до проблеми вимірювання ефективності господарювання будь-якої організації її доцільно розглядати за складових [218]:

– критерієм ефективності господарювання;
– ключовий принципом оцінки ефективності;
– за системою показників ефективності;
– за методикою розрахунку ефективності господарювання;

У загальному виді ефективність виражається через співвідношення між результатами, отриманими в процесі діяльності організації, і витратами праці, пов'язаними з досягненні цих результатів.

Витрати (В) і результати (Р) можуть зіставлятися між собою різними способами, при цьому одержувані показники мають різний зміст, акцентуючи ту чи іншу сторону категорії «ефективність»:

– показник виду Р/В характеризує результат, одержаний на одиницю витрат;
– ставлення В/Р означає питому величину витрат, що припадають на одиницю досягається результату;
– різниця Р–В характеризує абсолютну величину перевищення результатів над витратами;
– показник виду (Р-В)/В дає оптимальну величину ефекту;
– показник (Р-В)/□Р відображає питому величину ефекту, що припадає на одиницю отримуваного результату.

1.5.3 Співвідношення економічності та продуктивності при оцінці ефективності

Часто вважається, що економічна операція цінніше за іншу операцію, яка є менш економічною, за умови, що результати операцій однакові. У монографії Тадеуша Котарбінського дається відповідь на це питання [219, стор. 110]. «В якому ж випадку якість роботи приймає характер економічності? Ми відповімо:

тоді, коли уникають зайвих витрат. Витрати – це відомі збитки, з якими буває пов'язана робота. Замість виразу «збитки» (зайві витрати) ми будемо часто вживати рівнозначне поняття «витрачання резервів», а в окремих випадках – «вкладення», інший раз – «втрати». Так що поняття «економічність» приймає форму або продуктивності, або економності. Дія є тим більш продуктивною, ніж більш цінний продукт вона дає при даних витратах; вона є тим більш економною, ніж з меншими витратами обійшлося виготовлення даного продукту. Порівнюючи два процеси з точки зору продуктивності, ми маємо на увазі в обох випадках одну і ту ж величину витрат, але різну вартість продукту; зіставляючи ж два процеси з точки зору економності, ми маємо на увазі в обох випадках одну і ту ж вартість продукту, але різні розміри витрат. Однак і в першому і в другому випадках їх міра залежить від відношення витрат до вартості продукту. Не можна, отже, вбачати вершину «ощадливості», а тим більше вершину економності взагалі в тому, що були просто мінімальні витрати, як і не можна беззастережно визнати найбільш економними діями ті, при яких просто були менші витрати».

Далі автор [219] вказує на необхідність врахування відносності поняття економічності. «Зроблені вище вступні і попередні дефініції економності та її різновидів вимагають уточнень в формі релятивизації, так як даний процес діяльності може спричинити за собою самі різні витрати (наприклад з точки зору витрат часу, місця, матеріалів, апаратури, витрачання власної енергії або енергії з допоміжних джерел, фінансових витрат і т. д.). З іншого боку, продукт може мати різну цінність з різних споживчих точок зору. Як же в такому випадку будуть виглядати наші дефініції після відповідного уточнення їх шляхом релятивізації? Мабуть, так: дія А була більш продуктивною, ніж дія В (беручи до уваги дані продукти цих дій, цінність цих продуктів з даної точки зору і з огляду на даний вид витрат), тільки за тієї умови, що при тих же витратах продукт дії А придбав завдяки їй з цієї точки зору більшу цінність, ніж продукт дії В. В той же час дія А була більш економною, ніж дія В (беручи до уваги дані продукти цих дій, оцінених з даної точки зору, і беручи до уваги даний вид витрат), тільки при тієї

умови, що при тій же самій цінності обох продуктів, отриманих відповідно завдяки діям А і В, дія А спричинила за собою меншу суму витрат, ніж дія В.»

Не оминає автор [219, стор. 111] увагою і роль універсальної вартісної оцінки операції. «Зайвим було б відзначати, що даний продукт даної дії може бути розглянутий щодо вартості з тієї ж точки зору, що і витрати на його отримання, але не обов'язково має бути тільки так. Можна, наприклад, розглядати і продукт, і витрати з точки зору їх вартості, але можна також розглядати, наприклад, витрати з точки зору їх вартості, а продукт – з точки зору поживної цінності, вираженої в калоріях, і т. п. Необхідним є тільки, щоб цінності результатів обох порівнюваних дій були цінностями з тієї ж самої точки зору, і аналогічно, щоб в обох випадках були зіставлені витрати того ж самого виду. Ось і все, що стосується спроби уточнення понять продуктивності та економності шляхом релятивізації. Ця спроба дозволила нам побічно уточнити в тій же мірі і поняття економічності, оскільки економічність зводиться до економності і продуктивності. В результаті можна сказати: з двох дій з однаковими по цінності продуктами більш економічною буде та дія, яка є більш економною; з двох дій, які увібрали в себе однакові за величиною витрати даного виду, більш економічною є та, що була більш продуктивною».

«... Але ще важче зробити раціональний предметний синтез оцінок економічності даного процесу з усіх точок зору з урахуванням різних складових частин вартості отриманого продукту. Зазвичай доводиться зводити воєдино в загальній оцінці, з одного боку, безліч аспектів цінності продукту, а з іншого – безліч різного виду втрат. Особливо часто спостерігаються випадки, коли вступають між собою в конфлікт продуктивність, що розуміється як кількість продуктів, вироблених за цей час, і якість тих же продуктів [219, стор. 112].

«... Особливо вдалим для проведення розрахунків є випадок, коли всі вхідні в розрахунок види цінності продукту можна підпорядкувати мінової вартості, вимірюваної за допомогою грошей, і коли те ж саме можна зробити по відношенню до всіх видів витрат. Витрачено відома кількість часу, відома

кількість матеріалу, відома кількість електричної енергії і т.д. В такому випадку можна отримати загальну величину продуктивності або економності даного виробничого процесу з точки зору всіх вхідних в розрахунок видів витрат і вартості продукту» [219].

Отже автор [219] допускає, що ефективність процесу можна трактувати як економність за умовою, що результати процесів, що порівнюються є однаковими.

1.6 Огляд досліджень щодо керованих систем масового обслуговування

У будь-якій системі масового обслуговування, що складається з декількох обслуговуючих приладів, природним чином виникає задача розподілу навантаження з метою ефективного використання наявних ресурсів. Існує ряд методів вирішення цього завдання, одним з яких є динамічна маршрутизація [224]. Алгоритми динамічної маршрутизації розподіляють запити, що надходять в систему, спираючись на поточні характеристики завантаженості обслуговуючих приладів, відповідно до обраного способу маршрутизації. Вибір способу маршрутизації залежить від специфіки розв'язуваної задачі. Наприклад, в разі, коли необхідно забезпечити мінімальний час знаходження запитів в системі, спосіб маршрутизації може полягати в тому, щоб під час надходження запиту в систему направляти його в обслуговуючий прилад з чергою найменшої довжини.

В іншому випадку, коли необхідно, щоб в системі завжди залишалося кілька досить вільних черг, наприклад, для швидкого обслуговування пріоритетних запитів, може краще підходити спосіб маршрутизації в чергу середньої довжини.

Іншим важливим параметром алгоритмів динамічної маршрутизації є складність їх реалізації. Очевидно, що чим більше масштаб системи, тим складніше при маршрутизації враховувати поточний стан всіх обслуговуючих приладів, тому часто використовують спрощені алгоритми балансування навантаження. Як правило, динамічна маршрутизація в них виробляється на

підставі поточних характеристик деякої невеликої підмножини множини всіх обслуговуючих приладів системи. Підмножина зазвичай вибирається випадково, кожен раз при надходженні нової заявки. Як показують емпіричні дослідження і теоретичний аналіз, такі спрощені алгоритми є ефективними і, в ряді випадків, не набагато поступаються більш складним, з вибором на підставі характеристик всієї системи [224].

Незважаючи на те, що існує досить розвинений аналітичний апарат дослідження систем масового обслуговування з балансуванням навантаження, тенденції розвитку сучасної техніки і архітектури мереж передачі даних, роблять все більш актуальним і необхідним проведення нових досліджень таких систем. Існуючі моделі систем з динамічною маршрутизацією в ряді випадків вже не відображають нові статистичні закономірності, виявлені на практиці, а методи дослідження важко розширити на нові моделі. Тому необхідно розробити як нову модель, так і нові методи дослідження систем, що відображають виявлені закономірності. Для пояснення ситуації, що склалася, наведемо нижче огляд існуючих публікацій по моделям керованих систем масового обслуговування.

Моделі і методи теорії масового обслуговування знаходять широкі застосування в задачах організації виробництва, при побудові систем зв'язку і обчислювальних систем, у військовій справі і т. ін. Природно, що завдання оптимального управління, які постійно виникають в цих областях, привели до формування поняття керованої системи масового обслуговування та постановці задач оптимального управління системами масового обслуговування. Дослідження керованих систем є одним з актуальних і найбільш перспективних напрямків розвитку теорії масового обслуговування.

Поняття керованої системи масового обслуговування було введено О. І. Бронштейном і В. В. Риковим в роботі [224]. Найбільш фундаментальний огляд УСМО міститься в роботі В. Рикова [225]. Як об'єкт математичного дослідження система масового обслуговування (СМО) характеризується наступними елементами:

а) вхідними потоками заявок *A*;

б) механізмом і тривалістю обслуговування *B*;

в) структурою системи *C* (наприклад – *m* – кількість каналів);

г) дисципліною обслуговування *D* (наприклад n – ємність накопичувачів).

Отже склад СМО – *S=(A,B,C,D)* задається цими чотирма елементами. Параметри *A* и *B* можуть приймати значення: *D* – детермінований розподіл; *M* – показниковий; *Er* – розподіл Ерланга; *Hr* – гиперпоказниковий; *G* – розподіл загального виду.

Визначення. Систему, в якій будь-які з параметрів, що визначають той чи інший з її елементів, допускають застосування керуючих впливів, назвемо керованою системою масового обслуговування (КСМО).

При цьому завдання правила використання управляючих впливів у часі (***стратегії***) є необхідною умовою повного опису функціонування СМО. На клас стратегій можуть бути накладені обмеження. У таких випадках виникають завдання визначення стратегій з урахуванням цих обмежень, які є оптимальними в прийнятому сенсі. Рішенням завдань такого роду і займається теорія КСМО.

Критерієм якості управління в залежності від цілей дослідження можуть служити різні характеристики СМО: продуктивність системи, середня кількість вимог в системі або середня довжина черги, середній час перебування вимог у системі або середній час очікування, ймовірності втрат, коефіцієнт завантаження системи або середній час простою приладів і т. ін., а також різні економічні показники, пов'язані з цими характеристиками.

Незважаючи на те, що існує безліч моделей, покликаних описувати системи з динамічною маршрутизацією, для всіх них можна виділити ряд загальних властивостей. В основному, у всіх моделях розглядається пуассонівський потік або суміш пуассонівських потоків вхідних заявок і передбачається, що час обслуговування розподілений експоненціально [226], [232]. Узяте при цьому за основу припущення про однорідність часу обслуговування, не завжди відповідає дійсності, хоча і корисно, так як призводить до простих марковських систем, які

наближено описуються системами диференціально-різницевих рівнянь [233], [234], [235], [236], [237].

В роботі [238] для систем обслуговування з відмовами, довільним розподілом тривалості обслуговування і двома способами розподілу заявок по неоднорідним обслуговуючим приладам (рівноймовірним розподілом заявок по всіх приладах (вільних і зайнятих) і рівноймовірним розподілом заявок за вільними приладами) знайдені стаціонарні розподіли числа заявок і доведена їх інваріантність щодо функцій розподілу тривалості обслуговування.

В роботі [239] запропонований метод визначення характеристик системи обслуговування *M/G/1/m* з функцією випадкового відкидання заявок і розподілом часу обслуговування, що залежать від довжини черги. У реальних ОТС ні випадкове, ні детерміноване відкидання заявок не практикується, бізнес-процеси перериваються лише в особливих випадках. У роботах [240], [241] розглядається процес динамічної маршрутизації заявок, що надходять в систему з N серверів відповідно до розподілу Пуассона з інтенсивністю $N\lambda$ і мають Вейбулівський розподіл часу обслуговування. Маршрутизація проводиться таким чином, що при вступі заявки до системи в момент часу t, випадково вибираються K серверів з N, і заявка стає в чергу з мінімальною довжиною. У реальних ОТС випадковий вибір підмножини вузлів неможливий через обмеження по компетентності виконавців. Крім того, вибір черзі з мінімальною довжиною не завжди оптимальний, так як на стан черги впливає ціна втрат затримки, яка є індивідуальною по кожній заявці.

У роботах [242], [243], [244] розглянуті алгоритми динамічної маршрутизації розподіляють запити, що надходять в систему спираючись на поточні характеристики черг таким чином, що при надходженні запиту в систему він направляється на обслуговуючу станцію з чергою найменшої довжини або в чергу середньої довжини, якщо необхідно, щоб в системі завжди залишалося кілька досить вільних черг, наприклад, для швидкого обслуговування пріоритетних запитів. Очевидно, що такі стратегії є емпіричними і не можуть бути рекомендовані для реальних ОТС з невизначеним розподілом потоку різнорідних заявок і мінливими інтенсивностями процесів обслуговування і

відсутності відмов. Такі системи в кодуванні Д. Кендалла мають позначення G/G/m/n, причому, параметри m, n змінюються в часі.

Таким чином, незважаючи на те, що існує досить розвинений аналітичний апарат дослідження багатоканальних багатофазних систем масового обслуговування, ті обмеження, які дозволяють отримати аналітичні рішення, є не завжди прийнятними, і відповідні математичні схеми стають непридатні для опису реальних процесів з достатньою для практики точністю. Це говорить про актуальність проблеми розробки адаптивної стратегії управління чергами заявок в реальних ОТС.

1.7 Висновки та формулювання завдань дослідження

Підсумовуючі результати аналізу проблемної області, слід обмежити коло проблем, які потрібно опрацювати у даній роботі.

Будемо розглядати ОТС, як складну керовану систему, що включає множину взаємопов'язаних і взаємодіючих у просторі і в часі бізнес-процесів та елементів, які формують її інтегративні властивості та функціонують спільно для досягнення цілей, поставлених перед системою.

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 можливості 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

компетентностей співробітників і їх поточного завантаження. Оскільки схожі компетентності 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.

У завданнях синтезу оптимальних виконавчих структур, здатних до адаптації при мінливих потоках заявок на виконання бізнес-операцій, важливо мати єдиний методологічний підхід. В ідеалі повинна існувати якась «універсальна» метамодель, що відображає вертикальні і горизонтальні зв'язки в системі на будь-якому рівні ієрархії. Однак в процесі синтезу багаторівневих структур зазвичай не вдається врахувати всі системні властивості, представлені на верхніх рівнях ієрархічного модельного опису, що є спільною проблемою. З іншого боку, аналіз останніх публікацій не виявив робіт, пов'язаних з математичним моделюванням виконавчих ієрархічних структур.

Таким чином, буде актуальним і корисним з точки зору завдань синтезу виконавчих структур, що динамічно змінюються, розробити онтологічний і модельний підхід для подання ієрархічної організаційно-технічної системи з урахуванням її функціонального призначення та загальних показників якості.

Отже, виникає перше завдання роботи – формування методологічних засад створення інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованих організаційно-технічних системах з урахуванням поточного завантаження та компетентностей співробітників.

Повертаючись до проблеми інерційності ієрархічної структури, що реалізується людьми, розглянемо альтернативу, яка вже існує – програмні агенти (боти). Боти можуть працювати з декількома завданнями, реалізуючи різни

сценарії. Це дає такі переваги:

1. Велику кількість процесів можна легко автоматизувати.
2. Вартість виконання значно знижується.
3. Навички програмування не потрібні для налаштування програмного робота. Нетехнічний персонал може налаштувати бота або, навіть, задати свої кроки для автоматизації процесу.
4. Моніторинг в реальному часі помилок і дефектів в процесах.
5. Проста масштабованість за рахунок генерування нових екземплярів бота.

До недоліків існуючих технологій створення програмних агентів можна віднести те, що практично відсутня стратегія колективної роботи людини та програмного агента при реалізації бізнес-процесів, а також немає ієрархічних моделей взаємодії програмних агентів, які мають засоби діагностики та контролю під час спільного виконання операцій.

Реалізація бізнес-процесів спільно людьми-виконавцями та програмними агентами має бути підтримана з одного боку механізмами формування компетенцій програмних агентів, а з іншого боку – тотальною системою моніторингу, яка відстежує стани автоматизованих робочих місць, заявок на виконання бізнес-операцій та черг заявок. Це ставить перед дослідником завдання розробки комплексу моделей операційного простору організаційно-технічної системи та комплексу моделей формування компетенції програмного агента, якій виконує бізнес-операції.

Для реалізації динамічного розподілу виконавчих ресурсів, тобто людей-виконавців та програмних агентів, необхідно розробити комплекс критеріїв оцінки якості функціонування ОТС, в якій бізнес-операції і бізнес-процеси реалізуються спільно людиною та ботом. Специфіка ОТС, в якій працюють програмні агенти, обумовлює введення окремих вартісних оцінок часу функціонування людини і бота, а також урахування ймовірності успішного виконання операції за відведений нормативами час. Комплекс таких критеріїв дає можливість динамічного прогнозного оцінювання ефективності обробки заявок на виконання бізнес-операцій і, при необхідності, адаптивної зміни маршруту бізнес-процесу в умовах мінливої операційної обстановки.

Маючи засоби оцінювання ефективності бізнес-операцій та процесів, необхідно розробити адаптивну стратегію управління чергами в автоматизованих організаційно-технічних системах та метод динамічного розподілу виконавчих ресурсів під час виконання бізнес-операцій.

Отже, метою дослідження є вирішення актуальної науково-прикладної проблеми створення теоретичних і прикладних основ інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів для забезпечення підвищення ефективності діяльності автоматизованих організаційно-технічних систем.

Основні завдання дисертаційної роботи, які визначені поставленою метою:

1. Формування методологічних засад створення інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованих організаційно-технічних системах.
2. Розробка комплексу моделей операційного простору організаційно-технічної системи та комплексу моделей формування компетенції програмного агента, якій виконує бізнес-операції.
3. Розробка комплексу формальних критеріїв оцінки ефективності бізнес-операцій і бізнес-процесів, що реалізуються спільно людиною і програмним агентом в організаційно-технічній системі.
4. Розробка адаптивної стратегії управління чергами в автоматизованих організаційно-технічних системах та методу динамічного розподілу виконавчих ресурсів під час виконання бізнес-операцій.
5. Розробка комплексу моделей взаємодії програмних агентів, моделей розпізнавання ситуацій і правил прийняття рішень для усунення критичних ситуацій в організаційно-технічній системі.
6. Побудова методологічно обґрунтованої інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в організаційно-технічній системі.
7. Імітаційне моделювання та дослідження властивостей системи маршрутизації бізнес-процесів.
8. Практична реалізація системи моніторингу і диспетчеризації та аналіз результатів впровадження отриманих теоретичних і технологічних засобів.

Перелічені завдання виконуються у наступних розділах роботи.

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЧНИХ ОСНОВ ТЕХНОЛОГІЇ ДИНАМІЧНОГО РОЗПОДІЛУ ВИКОНАВЧИХ РЕСУРСІВ

Будемо виходити з того, що об'єктом методології системного синтезу є розумова діяльність, тобто, сукупність мислення і діяльності [75]. Конструюючи методологію як програму розумової і практичної роботи, необхідно розглянути завдання та етапи методології, врахувати такі основи методології, як принципи і концепції, яким підкоряються компоненти системи в ієрархічній структурі.

Одним з основних питань методології синтезу керованих систем є питання оцінки їх ефективності. Відповідно, на концептуальному рівні необхідно розглянути і визначити можливі шляхи синтезу критеріїв якості та ефективності виконавчих систем різних класів.

Крім того, на концептуальному рівні необхідно вирішити методологічні питання структурної адаптації – динамічного формуванні оптимальних технологічних ланцюжків робочих місць організаційно-технічної системи при мінливій операційній обстановці.

Отже, при вирішенні завдань системно-методологічного характеру виникає специфічна проблема формування узагальнених положень, критеріїв і структур для забезпечення можливості створення повної системи взаємопов'язаних рішень на основі ієрархічного об'єднання кінцевої множини моделей, методів і технологій. Провідну роль в цьому відіграють, на наш погляд, теоретико-множинні уявлення. Тому, розглядаючи кожну задачу розробки моделі одного з компонентів виконавчої структури будемо дотримуватися ієрархії опису, на верхньому рівні якої формується теоретико-множинна модель. Такий природний підхід послідовно формалізовано у розділі 2, що дозволяє структурувати рішення загальної задачі і зробити його логічно прозорим.

2.1 Етапи і принципи методології розподілу виконавчих ресурсів

Спрямованість на синтез, яка характерна для багатьох областей пізнання, методологічно задовольняється конструюванням певної послідовності предметів аналізу і синтезу [74, 75]. Сформулюємо етапи методології, в процесі виконання яких необхідно вирішувати певні завдання.

2.1.1 Етапи методології

Етап 1. Формування набору основних принципів методології.

Етап 2. Формування метамоделі онтології предметної області (ПрО). Наповнення онтології ПрО моделями і знаннями.

Етап 3. Формування метамоделі онтології системи управління ОТС. Наповнення онтології управління моделями та знаннями.

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

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

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 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.

Етапи 2 і 3 практично виконуються одночасно і рознесені тут з методичних міркувань.

2.1.2 Формування набору основних принципів методології

1. Принцип динамічної цілісності. Зазвичай, цілісність системи [wholeness of a system] визначають як принципову незвідність властивостей системи до суми властивостей складових її елементів і невиводимість з останніх властивостей цілого, а також – залежність кожного елемента, його властивостей і відносин в системі від його місця, функцій і т. ін. всередині цілого [40].

Для синтезу динамічної системи більш важливою є цілісність в динаміці, яка означає, що вплив на один елемент системи або деяке їх число обов'язково викликає реакцію інших елементів. Наприклад, оскільки плани підприємства являють собою систему, то зміна завдання зі збуту тягне за собою коригування завдань з постачання, виробництва, собівартості і інших показників.

При синтезі системи принцип динамічної цілісності забезпечує рух думки розробника в напрямку інтеграції спочатку розрізнених елементів в єдине ціле, в систему, що має необхідні структурні і функціональні властивості. Цей рух забезпечується і конкретизується за рахунок принципу конвергенції онтологій.

2. Принцип ієрархічності. Кожний вищий ієрархічний рівень направлено впливає на нижчий рівень, підпорядкований йому, і цей вплив виявляється в тому, що підпорядковані члени ієрархії набувають нових властивостей, відсутніх у них в ізольованому стані, і в результаті появи яких формується нова цілісність, створюється інший «образ цілого». Таким чином, нове ціле, що виникло, набуває здатності виконувати нові функції, в чому і полягає мета утворення ієрархій. Фактично, тут мова йде про закономірність цілісності (емерджентності) та її прояв на кожному рівні ієрархії.

Якщо навіть між елементами одного рівня ієрархії немає явних зв'язків між собою (горизонтальних зв'язків), то вони все одно взаємозалежні через рівень, що розташований вище.

Найважливіша особливість ієрархічності як закономірності полягає в тому, що і цілісність, і якісні зміни властивостей компонентів вищого рівня ієрархії

виявляються на кожному рівні ієрархії. При цьому об'єднання компонентів у кожному наступному вищому вузлі ієрархії призводить не тільки до появи нових властивостей у вузлі і втрати компонентами деяких властивостей, що були в них до об'єднання, але і до того, що кожний підпорядкований член ієрархії набуває нових властивостей, відсутніх у нього в ізольованому стані. Завдяки цій особливості за допомогою ієрархічних уявлень можна досліджувати системи і проблеми з невизначеністю [77]. Таке трактування ієрархічності цілком відповідає наступним принципам, а саме – принципу конвергенції онтологій і принципу рефлексивних переходів.

3. Принцип конвергенції онтологій. Потреба у динамічному розподілі виконавчих ресурсів в рамках ОТС виникає з протиріччя між вимогою гарантованого виконання множини бізнес-операцій у встановлені терміни і обмеженнями на технологічні і організаційні можливості ОТС. Іншими словами, користувачі бачать проблему в низькій ефективності ОТС. Для усунення проблеми необхідно формувати гнучку структуру, що адаптується в процесі надходження нових БП.

Очевидно, що проблема повинна вирішуватися при взаємопроникненні (конвергенції) двох онтологій – онтології ОТС, яка розкриває предметну область як сукупність сутностей і їх взаємозв'язків при виконанні бізнес-процесів, і онтології управління, як сукупності активних сутностей, їх взаємозв'язків і взаємодій, що здійснюються для забезпечення оптимального 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

$$O_q = \bigcup_{z=1}^{Zq} A_{qz}, \; q = \overline{1..Q}, \; z = \overline{1..Z_q} \;, \qquad (2.1)$$

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

Аналізуючи аспект $A_{q\text{-}1}$ 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 и C_2 – семантичні обмеження аспектів.

Зауважимо, що 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 застосування принципу рефлексивних переходів між рівнями онтології.

4. Принцип рефлексивних переходів. Методологія, як програма розумової і практичної роботи, спирається на рефлексивну обробку образів, що виникають у свідомості розробника в міру вивчення онтологічних особливостей об'єкта розробки. Модифікуючи формалізм, запропонований в роботі [76], рефлексивний процес синтезу системи можна відобразити як послідовність станів $\Omega\gamma$, $\gamma = \overline{1..\Gamma}$, в кожному з яких відбувається рефлексивний перехід на черговий рівень O_q онтології проблемної області:

$$\Omega_\gamma = \ddot{I} \times \bigcup_{q=1}^{\gamma} \omega_q\left(O_{q-1}\right), \qquad (2.2)$$

де Π – реальний плацдарм проблемної області; ω_q – оператор модельної інтерпретації онтології рівня q:

$$\omega_q : D_q(O_{q-1} \times M_{q-1}) \rightarrow M_q, \qquad (2.3)$$

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

У свою чергу, аспекти і моделі піддаються мисленій 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.

5. Принцип необхідної різноманітності. З інформаційної точки зору управління полягає в обмеженні різноманітності станів керованого об'єкта. Це означає, що ентропія об'єкта управління в ідеалі повинна дорівнювати нулю. Іншими словами, невизначеність щодо станів об'єкта управління в керуючій системі має бути повністю відсутня, а об'єкт управління повинен знаходитися в строго визначеному стані з ймовірністю, яка дорівнює одиниці. Якщо керований об'єкт може знаходитися в *n* станах, то повідомлення про те, в якому з станів знаходиться об'єкт в системі з повною інформацією, буде містити кількість інформації, що дорівнює його ентропії $H(Y)$ [42].

Відомо, що у виконавчій системі, де повністю спостережуваний об'єкт управління (ОУ) знаходиться в стані Y, а система управління (СУ) в стані X, кількість взаємної інформації визначається як $I(X,Y)=H(X)–H(X/Y)$, де $H(X)$ – ентропія СУ, а $H(X/Y)$ – ентропія СУ після керуючого впливу на об'єкт управління, що знаходиться в стані Y [41].

В силу симетричності інформації і при наявності ідеальних каналів зв'язку можна записати: $I(X,Y)=I(Y, X)=H(Y)–H (Y/ X)$. Тобто $H(X)–H(X/Y)=H (Y) –H (Y/X)$. Звідси $H(Y/X)=H(Y)–H(X)+H(X/Y)$. Ентропія ОУ при отриманні ним керуючого впливу X з боку СУ повинна прагнути до нуля $H(Y/X)\rightarrow 0$ і ентропія СУ теж повинна прагнути до нуля $H(X/Y)\rightarrow 0$. Звідси випливає, що ентропії СУ і ОУ повинні в ідеальному випадку збігатися.

Таким чином, різноманітність ОУ і його СУ повинні знаходитися в певному співвідношенні. Цей зв'язок було виявлено кібернетиком У. Россом Ешбі і формулюється так: «Різноманітність керуючої системи має бути не менше різноманітності керованого об'єкта». Тобто, «потрібно прагнути до того, щоб на кожен можливий стан керованого об'єкта був свій керуючий вплив». Оскільки в реальній системі ентропія не може бути нульовою, необхідно підтримувати закон максимізації убування ентропії [42], який свідчить, що серед можливих форм

реалізації процесу реалізується та форма, при якій ентропія системи зростає найбільш повільно. Це можна реалізувати, зокрема, за допомогою створення саморегульованих підрозділів ОТС.

В рамках розв'язуваної задачі по синтезу виконавчих структур, коли стан виконавчої системи критично залежить від різноманітності вирішуваних завдань, необхідне різноманіття системи управління досягається поповненням відкритої множини компетенцій виконавців.

6. Принцип синергізму. В керованій виконавчій системі необхідна кооперація агентів всіх виконавських рівнів. Необхідність виконання цього принципу поряд з принципом цілісності і принципом необхідної різноманітності досить очевидна. При автоматичному динамічному розподілі виконавських ресурсів в ОТС при виконанні множини бізнес-процесів сумарна системна ефективність повинна перевищувати арифметичну суму ефективностей окремих виконавців за рахунок зменшення втрат часу на вирішення організаційних питань.

7. Принцип множинності уявлень. Один і той же об'єкт може описуватися моделями різного рівня формалізації і строгості в залежності від точки зору та рівня ієрархії опису. Залежно від того, який тип зв'язків береться за основу, можливі різні логічні проекції системи, тобто аспекти її функціонування.

8. Принцип підтримки гомеостазу. Гомеостаз розглядається як властивість будь-якої керованій системи [73]. Гомеостаз є дотриманням певної динамічної рівноваги в системі, він гарантує підтримку життєво важливих параметрів в певному діапазоні. Цей принцип випливає з необхідності мінімізації ентропії в системі. Стосовно до ОТС для виконання принципу гомеостазу необхідна відповідна адаптивна стратегія управління чергами заявок на виконання бізнес-операцій.

Отже, побудовано комплекс принципів, на яких базується методологія побудови адаптивних виконавчих структур. Оскільки одним з основних принципів покладено принцип конвергенції онтологій на декількох рівнях, необхідно побудувати методику стратифікації предметної області.

2.1.3 Методика стратифікації онтології предметної області

Для стратифікації онтології предметної області необхідно виділяти аспекти відповідних рівнів. Нульовий рівень онтології A_0, уявімо кортежем, кожен елемент якого є аспектом предметної області:

$$S_{\text{ОТС}} = \langle S_{\text{Q}}, S_{\text{В}}, S_{\text{ОР}}, S_{\text{IT}}, S_{\text{А}} \rangle \quad , \qquad (2.4)$$

де, відповідно, *SQ* – структура вимог до керованої системі, включаючи критерії ефективності вирішення завдань в ході виконання БП (аспект A_{01}); $S_{\text{В}}$ – виконавча структура, яка відображає склад і взаємозв'язок функціональних робочих місць в замкнутому циклі виконання БП (аспект A_{02}); $S_{\text{ОР}}$ – організаційна структура, що встановлює зв'язок між різними функціями управління і виконання в рамках бізнес-логіки ОТС (аспект A_{03}); S_{IT} – інформаційно-технічна структура, яка відображає склад і взаємозв'язки АРМ в ОТС (аспект A_{04}); $S_{\text{А}}$ – алгоритмічна структура, яка відображає математичний опис завдань і шляхи їх вирішення (аспект A_{05}). Структура вимог до керованої системі досить складна і вимагає окремого опису на рівні метамоделі.

Виконавча структура $S_{\text{В}}$ відображає послідовність виконання операцій на кожному етапі кожного БП. Один з варіантів $S_{\text{В}}$ має вигляд

$$S_{\text{В}} = \langle S_{\text{КС}}, S_{\text{КБ}} \rangle , \qquad (2.5)$$

де $S_{\text{КС}}$, $S_{\text{КБ}}$ – відповідно поточна структура компетентностей співробітників (аспект A_{021}) і структура компетенцій агентів-ботів (аспект A_{022}).

Організаційна структура $S_{\text{ОР}}$ відображає склад і підпорядкованість між агентами, що функціонують в ОТС в процесі прийняття рішень. Закріплюючи ті чи інші функції за агентами управління, *SOP* представимо співвідношенням

$$S_{ОР} < S_{П}\ S_{Д}, S_{М} > , \qquad (2.6)$$

де $S_{П}$, $S_{Д}$, $S_{М}$ – відповідно структури планування (аспект A_{031}), диспетчеризації (аспект A_{032}) і моніторингу (аспект A_{033}).

Інформаційно-технічна структура $S_{ІТ}$, призначена для своєчасного, повного і якісного забезпечення інформацією агентів управління та виконання і представлена співвідношенням

$$S_{ИТ} = <S_{ІБ}, S_{СПД}, S_{ТЗ}> . \qquad (2.7)$$

Тут $S_{ІБ}$ – структура інформаційної бази (аспект A_{041}); $S_{СПД}$ – структура системи збору, передачі і переробки даних в ОТС (аспект A_{042}); $S_{ТЗ}$ – структура технічних засобів управління, включаючи інформаційну мережу (аспект A_{043}).

Алгоритмічну структуру $S_{А}$, що відображає математичний опис задач і шляхи їх вирішення, уявімо співвідношенням

$$S_{А} = < S_{ММ}, S_{АО}, S_{ПЗ}> \quad , \qquad (2.8)$$

де $S_{ММ}$, $S_{АО}$, $S_{ПО}$ – структура, що зв'язує математичні моделі і методи (аспект A_{051}), структура алгоритмічного (аспект A_{052}) і програмного забезпечення (аспект A_{053}).

Таким чином, отримано декілька рівнів стратифікації, на кожному з яких виділені відповідні аспекти. Конвергенція онтологій відбувається на зазначених рівнях з урахуванням специфіки предметної області. Спираючись на цю методику, а також на метамоделі онтології предметної області та онтології системи управління потрібно побудувати схему реалізації методології синтезу виконавчих структур.

Таким чином, запропоновано методику стратифікації предметної області, яка передбачає декілька аспектних рівнів. На першому рівні визначається структура вимог до керованої системі, включаючи критерії ефективності

вирішення бізнес-завдань. На другому аспектному рівні визначається виконавча структура, яка відображає склад і взаємозв'язок функціональних робочих місць в замкнутому циклі виконання бізнес-процесів. На третьому аспектному рівні визначається організаційна структура, що встановлює зв'язок між різними функціями управління і виконання в рамках бізнес-логіки ОТС. На четвертому та п’ятому рівнях описуються інформаційно-технічна структура, яка відображає склад і взаємозв'язки АРМ в ОТС, а також алгоритмічна структура, яка відображає математичний опис задач і кроки їх вирішення.

У підрозділах 2.1.4...2.1.6 побудовані метамоделі онтології предметної області, онтології управління в ОТС і намічені точки конвергенції першого рівня.

2.1.4 Метамодель онтології діяльності організаційно-технічної системи

Оскільки в даному підрозділі йтиметься про методологію побудови структури та принципів функціонування керованої виконавчої системи, необхідно на першому етапі визначити основні поняття, якими в подальшому доведеться оперувати. Ці поняття є сутностями онтології предметної області. Визначення ж понять нерозривно пов'язане з аналізом системи і зачіпає в першу чергу питання глибини опису і рівня деталізації, тобто визначення того, які компоненти системи будуть розглядатися в якості елементарних (елементів). Зауважимо, що такий опис є ієрархічним. Ієрархія опису дається на стількох рівнях, скільки їх потрібно для створення уявлення про основні властивості системи що синтезується.

Розкриємо зміст сутностей онтології. Введемо поняття операції, як акту зміни природного ходу подій шляхом спрямованого перетворення продуктів: операція – це обмежений у часі керований (спрямований) процес перетворення вхідних продуктів даної операції у вихідні продукти, що мають нові споживчі властивості.

Відповідно, кібернетична модель операції може бути визначена з

використанням вхідних і вихідних продуктів. Вхідні продукти кібернетичної моделі операції можуть бути представлені двома класами: це продукти, на які спрямовано вплив (продукти спрямованого впливу) і продукти, які забезпечують спрямований вплив. Вихідними продуктами кібернетичної моделі операції, в загальному випадку, є: основний продукт, супутній продукт, побічний продукт і супутній інформаційний продукт, в якому укладені дані про операційні процеси, призначені для контролю і аналізу. Зауважимо, що в разі, коли продуктом спрямованого впливу і вихідним продуктом є інформація, то інформаційний продукт, що супроводжує, залишається необхідним елементом множини продуктів.

Бізнес-операція (БО) – це операція, експертна оцінка вихідних продуктів якої вище експертної оцінки вхідних продуктів. Іншими словами, бізнес-операція - це процес перетворення менш цінних вхідних продуктів в більш цінні вихідні продукти. Оскільки реалізує БО якийсь механізм, введемо таке узагальнене кібернетичне поняття, як механізм.

Визначення: Механізм – це кібернетичний об'єкт, який забезпечує рішення задачі перетворення, переміщення, зберігання або буферизації продуктів спрямованого впливу.

Розділимо механізми на наступні типи [1], [10]:

– комплексні;
– каналоутворюючи;
– сервісні;
– буферизації;
– зберігання.

Комплексний механізм – це кібернетичний об'єкт, який забезпечує можливість визначеного (спрямованого) перетворення вхідних продуктів в певні вихідні продукти з використанням енергетичних і інформаційних продуктів.

Каналоутворюючий механізм обмежує можливість переміщення об'єкта в довільному напрямку, тобто створює канал переміщення.

Сервісний механізм – це комплексний механізм, який забезпечує можливість переміщення продукту по каналоутворюючому механізму.

Механізм буферизації – це каналоутворюючий механізм, який призначений для кількісного узгодження асинхронних потоків подачі і видачі продуктів, що підлягають буферизації.

Механізм зберігання – це каналоутворюючий механізм, який призначений для реалізації функції затримки подачі продукту на вхід подальшого системного механізму з метою синхронізації операційних процесів.

Кожен із зазначених вище механізмів може бути основою відповідної системи (підсистеми). Відповідно, для простих систем, що виконують тільки одну базову технологічну функцію, застосовні ті ж позначення, що і для механізмів: система переміщення, система перетворення, система буферизації і т. ін.

Введемо поняття ступеня свободи системи. Ступінь свободи системи – це незалежний сигнал управління, зміна якого в рамках накладених обмежень сприяє досягненню заданої кількості і якості основного технологічного продукту.

Максимальну кількість ступенів свободи система може отримати тільки тоді, коли в рамках інтерактивної взаємодії з іншими системами можна незалежно змінювати параметри всіх вхідних продуктів – інформаційних, енергетичних і матеріальних.

Функціональність керованих систем. В процесі функціонування будь-яка система, яка містить механізми, виконує множину технологічних функцій: реєстрація, контроль, перетворення, переміщення, буферизація або видача. При цьому кожна проста система виконує тільки одну базову технологічну функцію. Базова технологічна функція відбивається в назві системи: система переміщення, система перетворення, система буферизації і т. ін.

Визначимо керовану виконавчу систему, як цілісний об'єкт, що забезпечує

формування якісних і кількісних параметрів основного продукту в процесі взаємодії з навколишнім середовищем і інтерактивної взаємодії з системним оточенням.

Основна ознака керованої системи проявляється у вигляді категорії, яку можна визначити, як адаптивна доцільність. Якщо об'єкт є керованою системою, то в процесі реалізації свого призначення він повинен забезпечувати такий режим функціонування, при якому ефективність використання ресурсів буде максимально можливою в даних умовах.

При побудові простої керованої системи слід дотримуватися тільки однієї базової технологічної функції. Для цього ресурсномістка система, що забезпечує виконання перетворювальної функції, завжди повинна взаємодіяти з системою, що реалізує функцію буферизації. Визначимо такі керовані системи, як «дуальні системи». Особливістю дуальних систем є наявність в їх структурі двох взаємодіючих, але незалежних підсистем управління.

Перша підсистема управління контролює момент отримання вхідного продукту і передає його на зберігання. Тобто, керована система буферизації – це система, що забезпечує незалежну реалізацію функції поповнення і функції видачі запасів продукту. Друга підсистема управління забезпечує видачу результуючого продукту споживачеві. У таких дуальних системах є можливість контролювати рівень заповнення буфера або черги.

Для забезпечення необхідної ефективності функціонування системи необхідно ввести в онтологію поняття критерію управління – це показник, екстремальне значення якого є покажчиком для вибору певного режиму роботи кожного системного механізму. Показник ефективності (формула ефективності) – вираз, що відображає механізм взаємозв'язку функції входу і функції виходу моделі операції, результатом якого є числове значення. У загальному випадку, чим вище значення числового параметра, тим вище ефективність операції. Для забезпечення якості вихідного продукту потрібен критерій якості, екстремальне значення якого є покажчиком споживчої цінності вихідного продукту. Такий критерій становить головну суть моделі вимог з точки зору користувача. а саме

метамодель онтології діяльності ОТС.

Метамодель онтології ПрО, тобто діяльності ОТС, має відобразити максимальну кількість ступенів свободи об'єкту керування, тобто всі необхідні параметри, незалежна зміна яких можлива настільки, наскільки це не суперечить принципу цілісності. З урахуванням введених понять метамодель онтології предметної області діяльності ОТС, що здійснює множину бізнес-процесів, представимо у вигляді [5]:

$$O_1 = < BP(A),\ T,\ X(D^X),\ S(SI),\ Y,\ Z,\ Q\ > , \qquad (2.9)$$

де BP – образ бізнес-процесу (БП), що має на увазі 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; $X=\{x_j(t)|\ x_j(t)\in D^{Xj},\ j=\overline{1,J}\},\ t\in T$ – множина вхідних продуктів; $D^X=\{D^{Xj},\ j=\overline{1,J}\}$ – області допустимих значень показників якості вхідних продуктів; $S = \{S_t\colon S_t = f(S_{t-1},\ U,\ X),\ U\in D^U,\ X\in D^X,\ t\in T\}$ – множина станів БП; $SI = \{SI_t\colon SI_t = \varphi(S_t),\ t\in T\}$ – 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, які 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.

2.1.5 Метамодель онтології системи управління

Виходячи з міркувань максимізації кількості ступенів свободи, метамодель онтології системи управління запишемо у вигляді [5]:

$$O_2 = < BP(A),\ T,\ CS,\ BOQM,\ U(D^U),\ Z,\ C(D^C),\ Q,\ \eta,\ \psi,\ \varphi > , \qquad (2.10)$$

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; $U=\{u_i(t)|\ u_i(t)\in D^{Ui},\ i=\overline{1,I}\},\ t\in T$ – множина управляючих впливів на БО, яку може бути розділено на підмножини управлінь по буферизації, основній обробці, корегуванні значень режимних параметрів процесу обробки; $D^U=\{D^{Ui},\ i=\overline{1,I}\}$, області допустимих значень, управляючих впливів; $Z=\{z_n(t),\ n=\overline{1,N}\},\ t\in T$ – множина параметрів, що визначають номінальний режим перебігу БП; $C=\{c_k(t)|\ c_k(t)\in D^{Ck},\ k=\overline{1,K}\},\ t\in T$ – множина коригувальних впливів на систему управління *CS* з метою поліпшення якості БП, яка, в свою чергу, визначає якість вихідного продукту; $D^C=\{D^{Ck}, k=\overline{1,K}\}$, область допустимих значень коригувальних впливів;

$Q=\{q_g, k=\overline{1,G}\}$ – множина показників якості та ефективності ОТС;

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

μ: $X\times U\times T\to S$ – відображення множини входів *X*, множини керуючих впливів *U*, на всьому інтервалі часу *T*, в якому здійснюється управління, в множину станів *S*; ψ: $Z\times SI\times C\to U$ – відображення множини параметрів, що задаються *Z*, множини параметрів станів БП *SI* і множини коригувальних впливів *C* у множину керуючих впливів *U*;

φ: $Q\times SI\to C$ – 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 *BOQM*.

2.1.6 Перший рівень конвергенції онтологій

Аналізуючи вирази 2.9 і 2.10, можна помітити загальні елементи онтологій, які і будуть точками конвергенції першого рівня. Це образ БП, дискретний час *T*, множина параметрів, що задаються *Z*, множина показників якості *Q*. Іншими словами, на верхній страті онтології проблемної області в якості засобу зв'язування різних уявлень про об'єкт системно-структурного

конструювання виступає уявлення про діяльність ОТС. Тоді онтологію проблемної області можна представити виразом [2]:

$$O = O_1 \leftrightarrow O_2 \ , \qquad (2.11)$$

де символом $\leftrightarrow$ позначимо процес конвергенції онтологий.

Узагальнену структуру керованої виконавчої системи відповідно до виразу (2.8) пояснює рис. 2.1. Відповідно до прийнятої концепції будь-яка керована система, що виконує функції буферизації, зберігання, перетворення, переміщення, повинна мати загальну структуру, показану на рис. 2.1. Така система потенційно має можливість максимізації кількості ступенів свободи, 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.

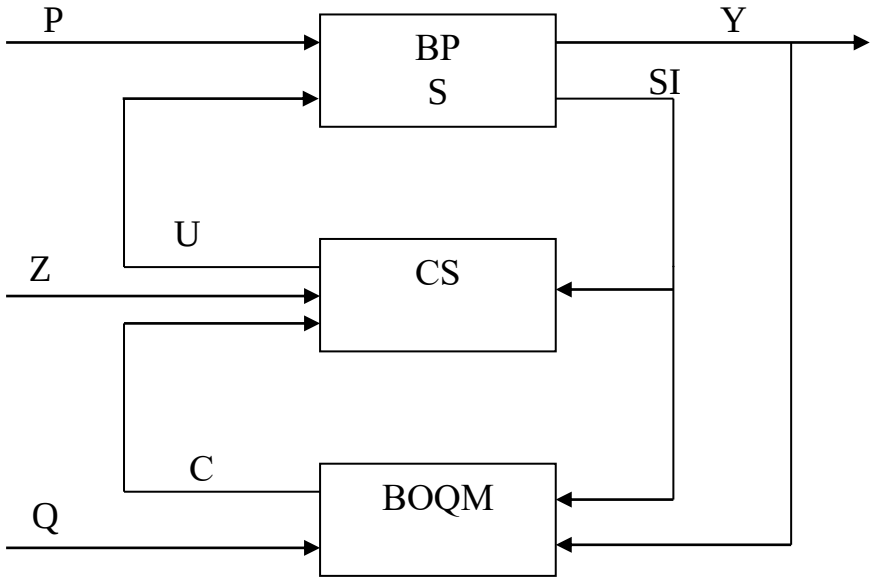

Рисунок 2.1 – Узагальнена структура керованої системи

На підставі вищевикладеного можна зробити висновок, що вперше запропонована концептуальна онтологічна модель проблемної області синтезу структури керованої виконавчої системи, яка відрізняється тим, що в складі і

взаємозв'язках моделі передбачені можливості забезпечення операцій зберігання, буферизації, перетворення, переміщення і оптимізації якості функціонування за рахунок максимізації кількості ступенів свободи змін параметрів матеріальних і інформаційних вхідних продуктів і самої системи, що дає теоретичні передумови вирішення завдання формування оптимальних виконавчих груп в рамках організаційно-технічних систем та забезпечує вкладеність і багаторівневість при синтезі безперервних і дискретних керованих систем.

2.1.7 Метамодель вимог до адаптивної виконавчої системи

Метамодель вимог до виконавчої системи, яка займає своє місце в методології що розглядається, уявімо на абстрактному рівні у вигляді сукупності системних вимог до компонентів виконавчої системи з урахуванням функціональних завдань кожного компонента і його зв'язків в системі. Вимоги до архітектури системи і технічних засобів на абстрактному рівні розглядати не будемо. Компонентами в даній системі є: менеджер ОТС, програмний агент-диспетчер, h-агент (людина-виконавець), програмний агент-монітор АРМ, програмний b-агент (бот, що виконує БО).

Створюючи модель вимог, потрібно врахувати, що процес розробки вимог – це процес перетворення вимог, що виходять з більш високого рівня, в похідні вимоги, які, в свою чергу, є вхідними для наступного рівня, утворюючи деревоподібну структуру [247]. Також слід приділити увагу таким складовим комплексу вимог, як критерії оптимізації, межі та обмеження, що накладаються на робочі змінні, що характеризують виконавчу систему. З урахуванням сказаного уявімо метамодель вимог в наступному вигляді [2]:

$$RM = < QSR(SAR(FAR, ACR, FLR, ILR), IFR, SSR, LTR, PR, TR, R^1, R^2, R^3, R^4 > , \quad (2.12)$$

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; *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 системи на комплекс локальних критеріїв якості ОТС.

Метамодель вимог, будучи невід'ємною частиною методології, створює передумови для конструювання оптимальної архітектури системи. У процесі аналізу вимог модель дозволяє виявити помилки що виникають, конфлікти між вимогами, тавтологію і перекриття вимог, які виникають в ході деталізації або узагальнення функціональних вимог.

2.1.8 Схема реалізації методології

Спираючись на принципи, викладені вище, побудуємо схему реалізації методології створення інформаційної технології розподілу виконавчих ресурсів як схему миследіяльності. Вважаючи метамодель вимог глобальним аспектом A_1 на першому рівні онтології *O*, і застосовуючи принцип рефлексивного переходу, здійснюємо перехід в стан 2, на якому виділяється завдання структурної адаптації виконавчої системи (глобальний аспект A_2 на рис. 2.2). Здійснюючи модельну інтерпретацію ω_2, виділяємо для синтезу аспект A_{21} – інформаційна модель бізнес-процесу, аспект A_{22} – модель структури системи управління, і глобальний аспект третього рівня онтології – A_3 – завдання управління чергами заявок на виконання БО.

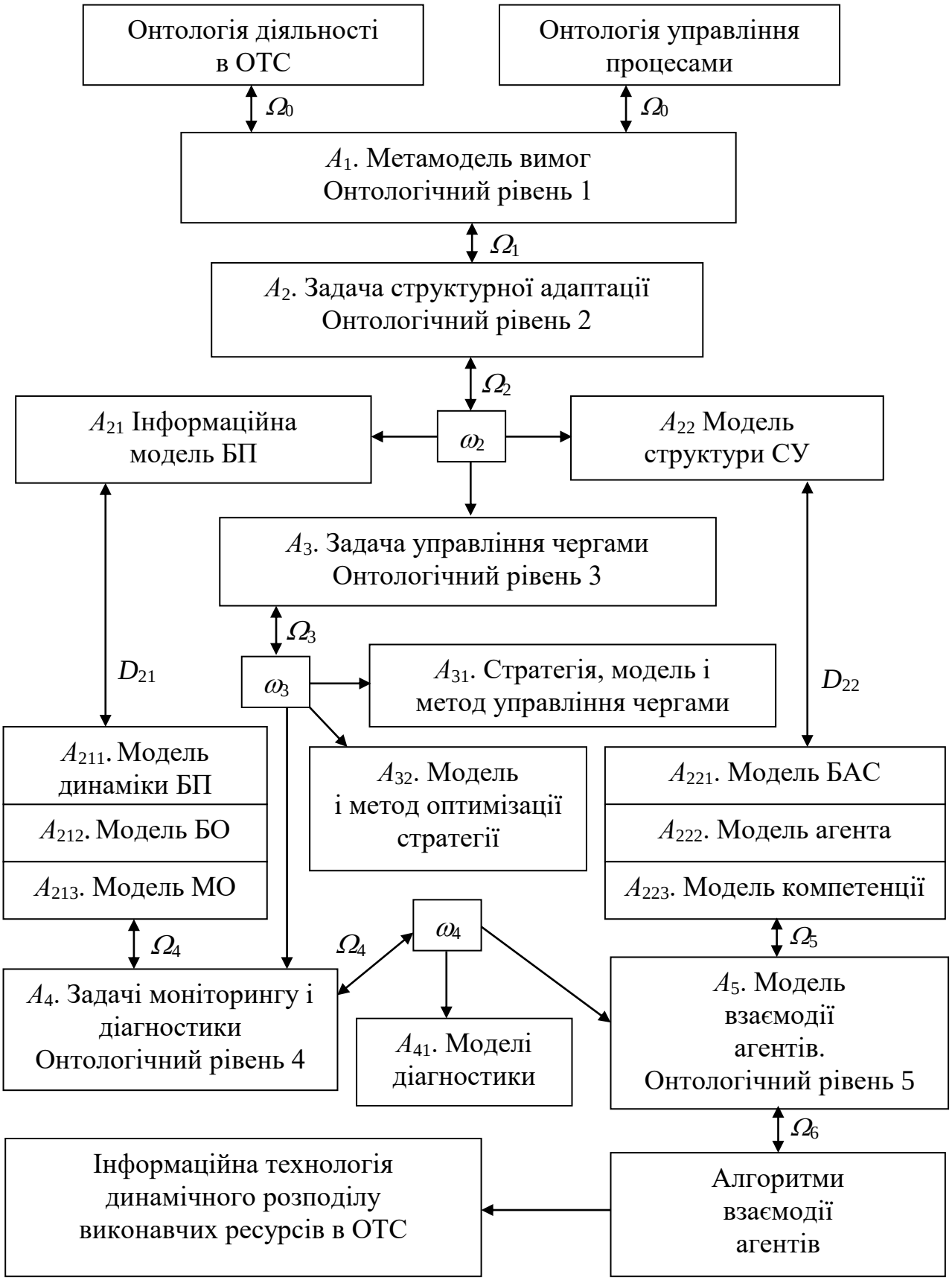

Рисунок 2.2 – Схема реалізації методології створення технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів

Застосовуючи оператори декомпозиції D_{21} і D_{22}, знаходимо аспекти A_{221}, A_{222}, A_{223} – моделі МАС, моделі агента і моделі компетенції агента, а також аспекти A_{211}, A_{212}, A_{213} – моделі динаміки БП, моделі БО і моделі мікрооперації (МО). На рефлексивному переході в стан Ω_3, розгортаючи аспект A_3 за допомогою оператора ω_3, отримуємо аспекти A_{31} – стратегія, метод і модель управління чергами, і аспект A_{32} – модель і метод оптимізації зазначеної стратегії. Тут же визначається глобальний аспект четвертого рівня онтології A_4 – завдання моніторингу та діагностики, де формується аспект A_{41} – моделі діагностики. Застосовуючи оператор модельної інтерпретації ω_4, переходимо до аспекту A_5 – модель взаємодії агентів, яка рефлексивно пов'язана з аспектами A_{221}, A_{222}, A_{223} і, відповідно, до алгоритмів взаємодії агентів. Після розробки алгоритмів взаємодії відкривається можливість побудови інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС [2].

Отже, удосконалено підходи до побудови методології створення інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в організаційно-технічних системах, які відрізняються тим, що 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 і встановлення точок конвергенції онтологій на кожному рівні, що дозволяє схематизувати та прискорити процес синтезу комплексу логічних, математичних, функціональних моделей і методів, що становлять у своїй сукупності і взаємозв'язку відповідну інформаційну технологію.

2.2 Концепція узагальненої структури системи управління

Відповідно до принципу конвергенції онтологій і принципу рефлексивного переходу здійснимо перехід з першого рівня рефлексії до другого рівня Ω_2 (аспект A_2) , на якому повинні бути побудовані моделі, що відображають подальшу конвергенцію онтологій O_1 і O_2.

Виходячи з розробленої в п.п. 2.1 концептуальної онтологічної моделі, для формального опису структури системи управління ОТС розроблена багатозв'язна вкладена матрична модель, здатна відбивати всю множину взаємозв'язків, властивих даній системі [5]. Цей підхід дозволяє при необхідності уточнювати модельний опис системи без якісної зміни її структури, застосовувати різні математичні моделі для опису різних процесів, використовувати різні рівні деталізації для аналізу і синтезу з гарантованим збереженням загальної цілісності.

Приймемо концепцію багатоагентного підходу до аналізу і синтезу системи управління. Функціональними завданнями в будь-якій системі, що реалізує керований бізнес-процес, є завдання планування, контролю (моніторингу), обліку, регулювання, управління якістю. Віднесемо завдання планування до завдань динамічного синтезу виконавчої структури, і перенесемо завдання обліку в задачу моніторингу. Тоді виділимо підсистеми виконання, моніторингу та диспетчеризації.

Агенти підсистеми моніторингу повинні не тільки безперервно відстежувати зміни поточної ситуації, а й розпізнавати ситуації, а також приймати рішення щодо штатних та нештатних ситуацій.

Агенти підсистеми диспетчеризації повинні на підставі даних від агентів моніторингу здійснювати управління рухом бізнес-процесів через множину виконавчих вузлів, здійснювати динамічну маршрутизацію заявок, підтримання значень параметрів процесів в заданих межах. Останнє пояснюється тим, що під час протікання бізнес-процесу змінюється вплив не тільки самих параметрів процесу, а й їх співвідношень на його перебіг. При цьому зазначені співвідношення можуть приймати небажані значення в заздалегідь невідомі моменти часу. Саме тому важливо здійснювати адаптацію виконавчих структур шляхом їх динамічного формування.

Всі перераховані групи агентів, як правило, мають між собою перехресні зв'язки (інформаційні залежності), що змушує застосувати матричний опис

узагальненої структури, як найбільш гнучкий і логічно прозорий.

Множину входів системи розділимо на три підмножини [5]:

– первинні входи $X1$ – інформаційні об'єкти, які ініціюють запуск основного бізнес-процесу;

– $X2$ – інформаційні і матеріальні об'єкти, що забезпечують нормальний перебіг бізнес-процесу – проміжні результати виконання БО, стандарти, регламенти, алгоритми виконання дій, технічне та енергетичне забезпечення;

– $X3$ – входи зворотного зв'язку, що забезпечують систему управління даними про якість процесів і результатів. На концептуальній схемі рис. 2.1 підмножину $X3$ представлено каналами Y і SI.

Кожна підмножина входів обслуговується відповідною підмножиною агентів: $a_1 \in A_1$ и $a_2 \in A_2$, $a_3 \in A_3$, кожен з яких вирішує певне коло завдань по переробці інформації. Агенти підмножини $A1$ (виконавці) обробляють інформацію про кількість та якість вхідних даних і матеріалів, визначають ступінь готовності бізнес-процесу до запуску, забезпечують проведення бізнес-операцій. Агенти підмножини A_2 (диспетчери) обробляють інформацію регламенту, наявності ресурсів, оптимізують їх розподіл в просторі і часі, забезпечують управління рухом процесів. Підмножина агентів A_3 (монітори) забезпечує контроль якості виконання операцій і передає дані агентам підмножини A_2. Кожен агент здатний виконувати кілька операцій (композиційних функцій U), забезпечуючи спільно з іншими агентами виконання конкретної БО. Структурна матриця верхнього рівня багатоагентної системи показана в табл. 2.1 [5].

Таблиця 2.1 – Структурна матриця верхнього рівня системи

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}
Xm	Am	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:

$$A_i : X_i \rightarrow U_{ij} . \qquad (2.13)$$

Кожен агент A_i може бути представлений матрицею, що показана в табл. 2.2. 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. 2.2 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 2.2 – 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}

Таким чином, формальну модель запропонованої функціональної структури системи управління, як точку конвергенції онтологій O_1 і O_2, можна представити у вигляді [5]:

$$SS = < A(A1, A2, A3), X, Y, U, I, M, R1, R2, R3 >, \qquad (2.14)$$

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.

В якості агентів і механізмів можна розглядати як персонал, так і програмні модулі відповідного призначення.

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

Таким чином, вдосконалено концепцію узагальненої структури системи управління виробничого класу, за рахунок використання вкладеного

матричного опису зв'язків і агентного підходу, в якому множину агентів розділено на підмножини по функціях виконання, моніторингу та диспетчеризації бізнес-процесу і контролю його якості, що дає методичну основу для побудови множини автоматичних і ергатичних систем з динамічним формуванням виконавчих структур в різних предметних областях.

2.3 Дослідження і вибір формальних ознак показників ефективності операцій в організаційно-технічних системах

2.3.1 Концептуальні основи визначення ефективності операції

Вибір критерію якості для будь-якої керованої системи є найвідповідальнішим моментом аналізу і синтезу моделі системи. Але процес вибору такого критерію, який в даний час пропонується в різних публікаціях, є в значній мірі суб'єктивним, і вимагає в кожному окремому випадку індивідуального підходу.

Відомо, що якість функціонування керованої системи має кілька аспектів. Розглянемо ці аспекти і способи визначення їх взаємозв'язку при розробці моделі керованої системи.

У роботі [14] вказувалося, що узагальнений скалярний показник якості функціонування системи, складений з локальних показників результативності, ресурсоємності та оперативності не має фізичного сенсу. Однак, при певному підході, можна зв'язати вартісну складову, яка називається зазвичай «ефективність», зі споживанням ресурсів і часом виконання цільової операції і, таким чином, не використовуючи скалярної згортки, отримати досить об'єктивний критерій якості функціонування керованої системи.

Будемо виходити з того, що для розглянутого класу систем термін «результативність» і термін «ефективність» еквівалентні і означають величину

доданої вартості, що з'явилася в продукті після виконання цільової операції.

Зауважимо також, що в літературі термін «ефективність» пов'язується і з системою, і з операцією, і з рішенням. Утворені при цьому поняття вважають еквівалентними, а математичний вираз критерію ефективності називають цільовою функцією, оскільки знаходження її екстремального значення є відображенням мети операції [12].

Використання критерію ефективності, теоретично, повинно забезпечити реалізацію максимуму можливостей для власника результатів операційного процесу. Звідси випливає, що для формування критерію ефективності потрібно визначити поставлену мету, характеристики системи, що реалізує операцію, і показники результату операції. Використання показника ефективності для вибору найкращого управління переводить даний показник в статус критерію оптимізації.

Розглянемо так звану продуктову модель кібернетичної операції [12]. Дослідження найрізноманітніших операцій активних систем показує, що в рамках бізнес-процесу завжди можна виділити вхідний продукт (продукти), на який спрямована дія системного обробного механізму. Визначимо основний вхідний продукт як «продукт спрямованого впливу» (ПСВ). Ті операції, в рамках яких використовується один ПСВ, визначимо поняттям «однопродуктової операції».

Також будь-яка операція активних систем пов'язана зі споживанням (витратою) енергетичного продукту або декількох енергетичних продуктів. Таким енергетичним продуктом може бути електроенергія.

Далі, зрозуміло, що для реалізації алгоритму управління необхідні інформаційні ресурси, які використовуються на вході операції, і в процесі реалізації операції аж до її закінчення. Продукти керуючих механізмів на вході операції визначимо поняттям «вхідний технічний продукт», а на виході операції – «вихідний технічний продукт».

Графічну модель такої операції можна представити у вигляді рис. 2.3. Таке уявлення моделі операції показує, що кількість класів вхідних і вихідних продуктів, взагалі кажучи, строго обмежена.

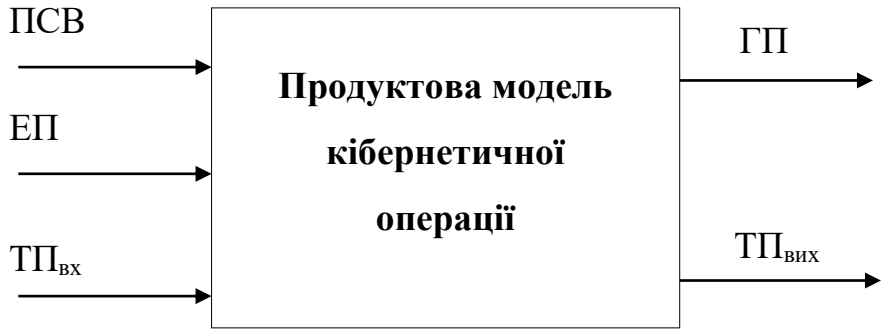

Рисунок 2.3 – Модель однопродуктової операції:

ПСВ – продукт спрямованого впливу; ЕП – енергетичні продукти;

ГП – готовий продукт; ТП$_{ВХ}$ – вхідний технічний продукт;

ТП$_{ВИХ}$ – вихідний технічний продукт

Визначимо таку модель як продуктову модель операції. Обчислювальні експерименти на продуктовій моделі проводилися з операцією нагріву рідини. Виділимо в процесі нагрівання операції x_1 і x_2 (рис. 2.4). Висловити судження про те, яка з цих операцій вигідніше або краще, неможливо, доки не проведено кількісну порівняльну оцінку вхідних та вихідних продуктів. Тобто, дослідження фізичних параметрів продуктової моделі показує, що аналіз її даних не дозволяє висловлювати судження про ефективність операційного процесу [15].

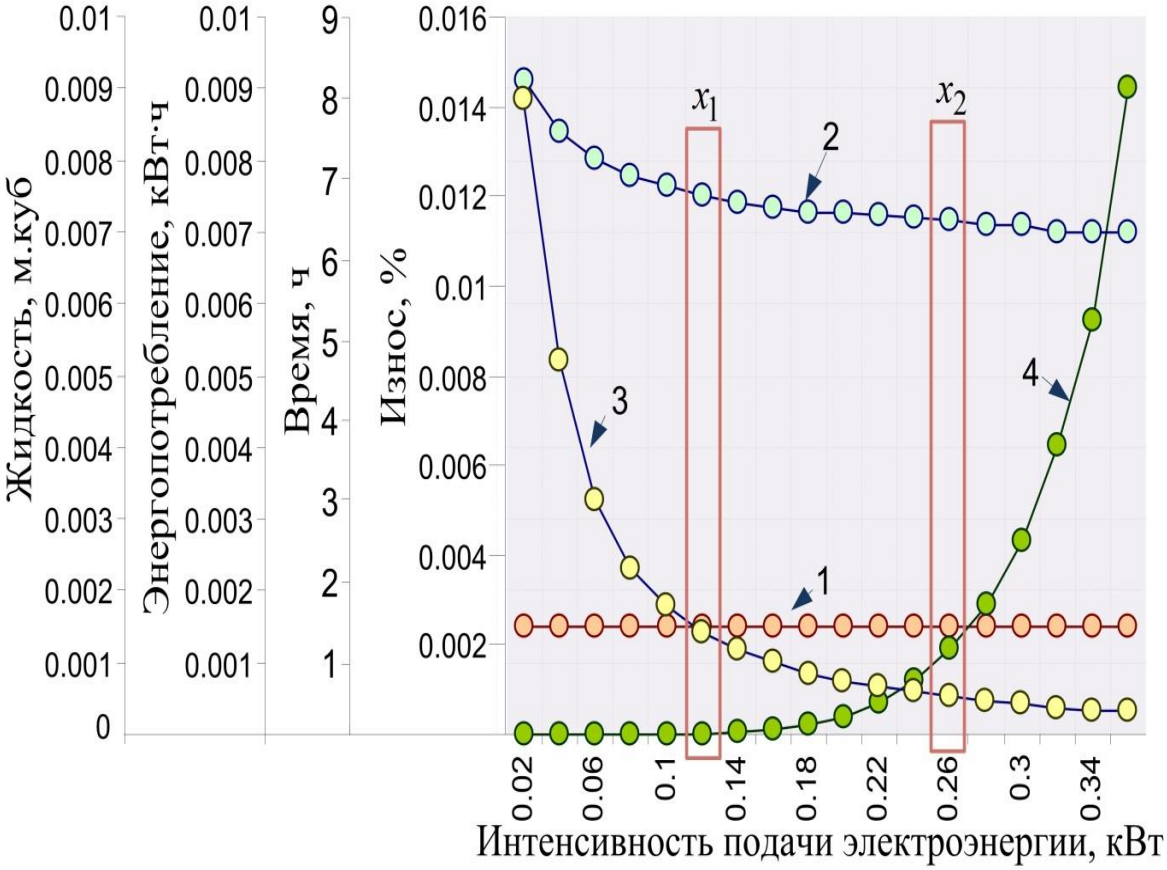

Рисунок 2.4 – Зміна базових показників для операцій нагріву при зміні параметра управління (енергетичного продукту): 1 – обсяг рідини; 2 – обсяг енергоспоживання; 3 – час операції; 4 – знос електрообігрівача.

Таким чином, для розробки механізму прийняття рішення необхідно переходити до визначення кібернетичної моделі іншого рівня.

Для висловлювання судження про ефективність операційного процесу необхідно ввести в розгляд так звану глобальну модель операції, в якій необхідні для оцінки дані можуть бути отримані в результаті визначення та реєстрації вартісних параметрів вхідних і вихідних продуктів.

Визначимо множину I вхідних продуктів r_i і множину J вихідних продуктів p_j. З урахуванням такого підходу до визначення вхідних і вихідних продуктів, модель продуктової операції матиме вигляд (рис. 2.5).

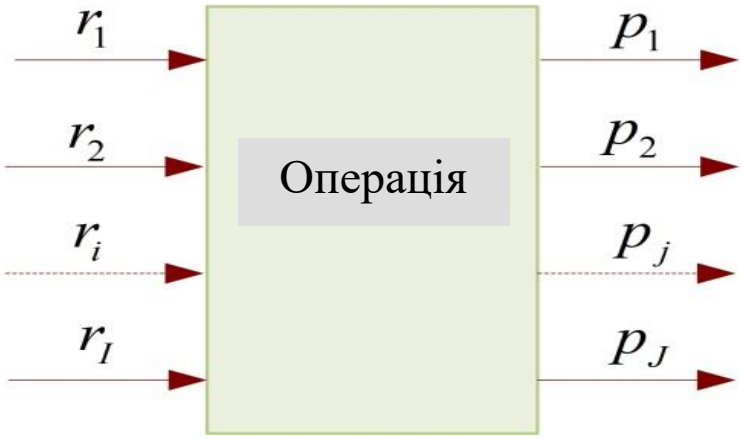

Рисунок 2.5 – Концептуальна модель операції

Наведемо рух продуктів операції за допомогою кількісних параметрів, які можна представити у вигляді сигналів такого вигляду:

$r_q(t)$ – сигнал реєстрації руху вхідного продукту операції;

$p_q(t)$ – сигнал реєстрації руху вихідного продукту операції.

Для того, щоб кількісні параметри всіх продуктів операції було можна порівняти між собою, їх необхідно масштабувати, шляхом приведення до порівняних величин. Природним коефіцієнтом масштабування в економічних системах є вартість одиниці продукту. Якщо вартість i-го вхідного продукту позначити символами RS_i, а вартість j-го вихідного продукту PS_j, то рух товарів по входу і виходу може бути відображено з використанням так званих глобальних функцій входу $re_i(t)$ і виходу $pe_j(t)$[13]:

$$re_i(t) = RS_i \int_{t_0}^{t} rq_i(t)dt, \qquad (2.15)$$

$$pe_j(t) = PS_j \int_{t_0}^{t} pq_j(t)dt. \qquad (2.16)$$

Оскільки масштабовані потоки вхідних і вихідних продуктів в часі можна підсумувати між собою, з'являється можливість представити модель будь-якої операції у вигляді функцій: наведеної функції входу *re(t)* і наведеної функції виходу *pe(t)*[13]:

$$re(t) = \sum_{i=1}^{\mathrm{I}} RS_i \int_{t_0}^{t} rq_i(t)dt, \qquad (2.17)$$

$$pe(t) = \sum_{j=1}^{\mathrm{J}} PS_j \int_{t_0}^{t} pq_j(t)dt. \qquad (2.18)$$

Модель операції у вигляді двійки (*re(t), pe(t)*) визначимо поняттям «глобальна модель операції» (ГМО).

Будь-яка зміна управління призводить до зміни параметрів цих функцій. Отже, глобальна модель операції містіть у собі всю необхідну інформацію для порівняльної оцінки таких операцій щодо ефективності (раціональності) використання ресурсів.

Інтегрування функцій *re(t)* і *pe(t)* на інтервалі проведення операції дозволяє отримати інтегральні порівнянні оцінки операції по входу і виходу [13]:

$$RE = \int_{t_S}^{t_F} re(t)dt \qquad (2.19)$$

$$PE = \int_{t_S}^{t_F} pe(t)dt \qquad (2.20)$$

де *RE* – вартісна оцінка вхідних продуктів простої ГМО за час (t_s – t_f); *PE* – вартісна оцінка вихідних продуктів простої ГМО за час (t_s – t_f); t_s – час початку операції, а t_f – час її завершення.

Визначивши час операції (ТО), як різницю між моментом початку і завершення операції, будь-яку операцію можна представити у вигляді простої глобальної моделі операції виду (RE, TO, PE).

Використовуючи параметри трійки, просту ГМО можна представити у вигляді графічної моделі (рис. 2.6) .

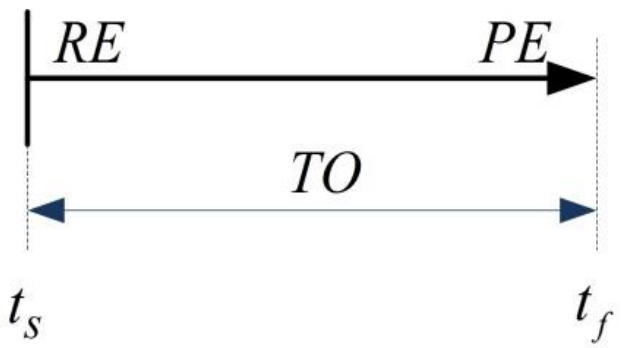

Рисунок 2.6 – Графічна модель простої глобальної операції

Технологія перетворення вхідних і вихідних продуктів операції до виду глобальної моделі зображена на рис. 2.7 [10]. З застосуванням параметрів простої ГМО, їх зміна від управління буде мати вид, що показаний на рис. 2.8.

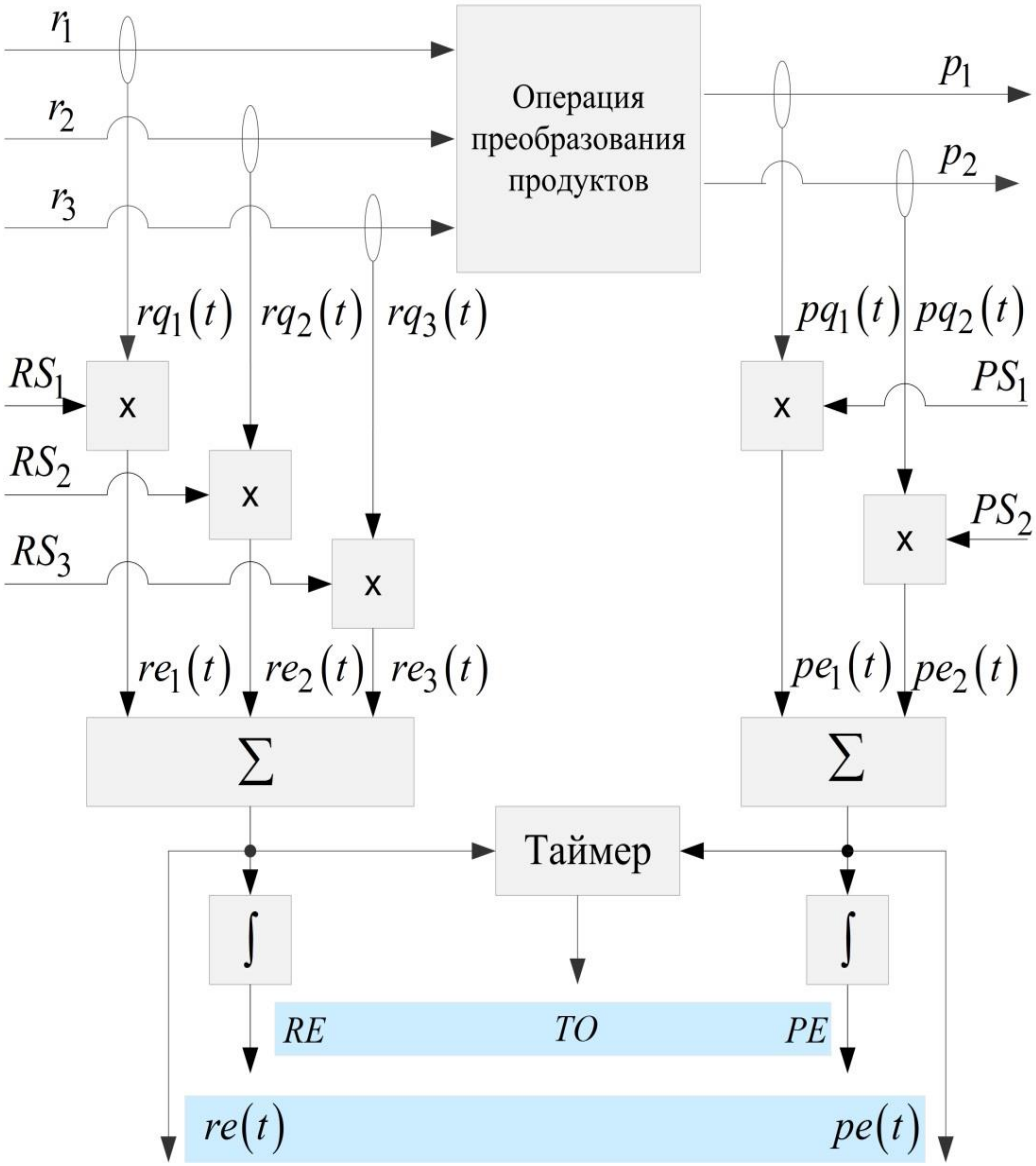

Рисунок 2.7 – Принцип формування глобальної моделі операції:

rqi(t) – кількісні параметри вхідних продукції операції,

pqj(t) – кількісні параметри вихідної продукції операції,

RSi – порівнянні величини експертних (вартісних) оцінок по входу,

PSj – порівнянні величини експертних (вартісних) оцінок щодо виходу,

re(t) – глобальна функція входу,

pe(t) – глобальна функція виходу

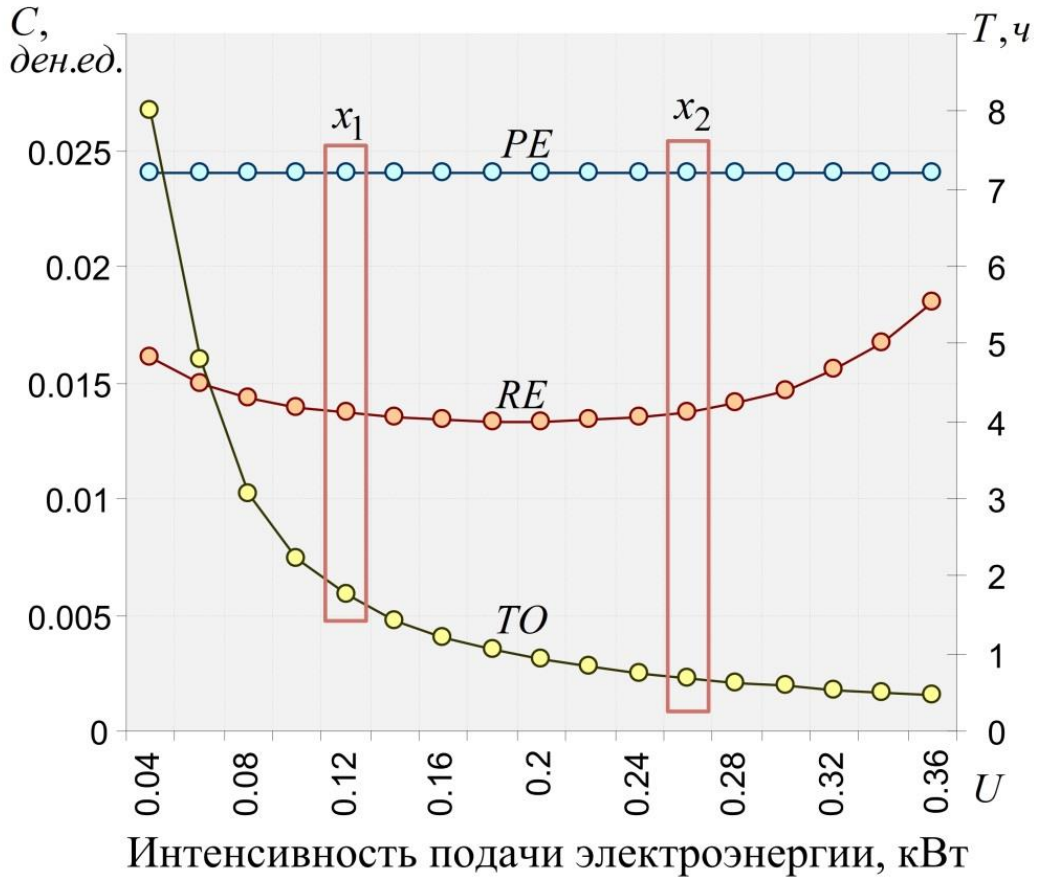

Рисунок 2.8 – Зміна параметрів простої глобальної моделі операції при зміні параметра управління

Будь-яка операція здійснюється з метою підвищення цінності множини вихідних продуктів по відношенню до цінності множини вхідних продуктів операції. Оскільки вихідна продукція із заданою якістю може бути отримана при різних кількісних співвідношеннях вхідний продукції, виникає питання вибору кращої операції серед множини можливих, тобто оптимізації операції.

Відмінною особливістю множини простих ГМО є можливість висловлювати судження про ефективність деяких пар операцій.

Наприклад, якщо $RE_1 = RE_2$ і $PE_1 = PE_2$, то в випадку, якщо $TO_1 > TO_2$, ефективність операції x_2 вище ефективності операції x_1. Або якщо $RE_1 = RE_2$ і $TO_1 = TO_2$, то оскільки $PE_1 > PE_2$, ефективність операції x_1 вище за ефективність операції x_2.

При цьому можна створити класи еталонних операцій, кожен з яких має свою функціональну спрямованість, для яких можна визначити оцінку ефективності з використанням локального критерію [10].

Визначення глобальної моделі операції та спостереження за зміною її параметрів в процесі управління дозволяє зробити такі висновки:

– глобальна модель може бути визначена по відношенню до будь-якої операції, тобто будь-яка операція може бути представлена у вигляді глобальної моделі виду *[re(t), pe(t)]* або будь-яка операція може бути представлена у вигляді простої глобальної моделі виду [RE, TO, PE];

– глобальна модель містить в собі всю необхідну інформацію, для того щоб забезпечити прийняття рішення щодо ефективності операційного процесу.

Таким чином, встановлено, що використання вартісної інтерпретації вхідних і вихідних продуктів операції дозволяє створити показник ефективності, який є ідентифікатором якості цільових операцій. Операція з більш високим значенням ефективності є кращою для власника результатів операційного процесу, оскільки забезпечує йому великі можливості і є локально оптимальною.

Загальний характер ГМО дозволяє висловити гіпотезу з приводу того, що якщо формула ефективності існує, і вона відображає деякий універсальний кібернетичний закон, то складовими такого виразу повинні бути об'єкти ГМО: двійка <*re(t), pe(t)*> або трійка <RE, TO, PE>.

2.3.2 Визначення базових показників ефективності

Показники RE, PE, TO, були прийняті в якості основи локального критерію ефективності на підставі відомих аксіоматичних принципів [13].

Аксіома 2.1. З двох глобальних моделей операцій, які мають однакову тривалість в часі і рівні величини експертних (вартісних) оцінок вихідних продуктів, ефективніше є та операція, у якій експертна (вартісна) оцінка вхідних продуктів нижче.

Аксіома 2.2. З двох глобальних моделей операцій, які мають однакову

тривалість в часі і рівні величини експертних (вартісних) оцінок вхідних продуктів, ефективніше є та операція, у якій вище експертна (вартісна) оцінка вихідних продуктів.

Аксіома 2.3. З двох глобальних моделей операцій, які мають рівні величини експертних (вартісних) оцінок вхідних і вихідних продуктів, ефективніше менш тривала операція.

Визначимо поняття «рентабельна операція».

Визначення 2.1. Операція є рентабельною, якщо експертна вартісна оцінка вихідних продуктів ГМО більше експертної оцінки її вхідних продуктів $\left(PE > RE\right)$.

Для рентабельної операції існує поняття «додана цінність» (додана вартість) операції (AOC), а саме

$$AOC = PE – RE \quad . \tag{2.21}$$

Визначення 2.2. Додана цінність (вартість) операції визначається як різниця між експертною (вартісної) оцінкою вихідних продуктів операції та експертної (вартісної) оцінкою вхідних продуктів операції.

Також введемо поняття коефіцієнт доданої цінності (вартості), позначивши її символом k. Визначимо додану цінність (вартість) як відношення експертної оцінки вихідних продуктів до експертної оцінки вхідних продуктів успішної операції

$$k = \frac{PE}{RE}. \tag{2.22}$$

Визначення 2.3. Ставлення експертної вартісної оцінки вихідних продуктів операції до експертної вартісній оцінці вхідних продуктів операції визначається поняттям «коефіцієнт доданої цінності (вартості) операції».

Показник *АОС* є абсолютним показником, а показник *k* – відносним. Ці показники визначені по відношенню до окремої операції.

Використовуючи для кожної елементарної операції узагальнені показники ефективності (2.21) і (2.22) і поняття коефіцієнта доданої вартості можна побудувати локальні критерії оптимальності функціонування кожного механізму функціональної системи [15]. Оскільки такі критерії мають загальну природу, їх згортка може дати інтегральний критерій оптимальності системи в цілому.

Таким чином, встановлено, що використання вартісної інтерпретації вхідних і вихідних продуктів операції дозволяє створити показник ефективності, який є локальним ідентифікатором якості цільових операцій. Операція з більш високим значенням ефективності є кращою для власника результатів операційного процесу, оскільки забезпечує йому більш великі можливості і є локально оптимальною. Використовуючи критерії оптимальності для кожного механізму функціональної системи і еталонні операції з нормованими показниками, можна удосконалити організаційні процесіи в ОТС шляхом динмічного розподілу ресурсів.

2.3.3 Визначення формальних ознак показників для оцінки ефективності операцій

Рішення задач вибору оптимальних значень параметрів операційного процесу (ОП) пов'язане з використанням деякого критерію оптимізації в якості орієнтира для вибору таких параметрів ОП, які максимально відповідають поданням власника ОТС (суперсистеми) про найкращий варіант розвитку подій.

Загальновизнано, що індикатором, який забезпечує найкращу ступінь узгодженості мети суперсистеми і параметрів процесуальної діяльності виконавчої системи, є показник ефективності.

Результат визначення ефективності використовується для оцінки будь-яких процесів незалежно від виду операційної діяльності. У зв'язку з цим розроблялося

і продовжує розроблятися велика кількість показників, які використовуються або пропонуються для використання з метою визначення ефективності операційних процесів.

Таким чином, виникає проблема пошуку або розробки показника, який дійсно дає адекватну оцінку ефективності операційних процесів.

Завдання ускладнюється тим фактом, що перевірка адекватності показника, «що претендує на роль» показника ефективності, не може бути здійснена з використанням прямих методів. Аксіоматично сам показник ефективності є еталоном для оцінки в рамках дослідження операцій. Тому, для того щоб здійснити верифікацію розробленого показника на предмет можливості його використання в якості показника ефективності, необхідна розробка непрямих методів дослідження.

Один з таких методів був розроблений для верифікації показників оцінки ефективності так званих простих операцій [13]. Суть цього методу полягає у створенні великої кількості класів еталонних операцій. В рамках класу, з використанням розробленого абсолютного прогностичного показника, визначається рейтингова оцінка кожної операції щодо ефективності іншої операції. Тестування розробленого показника на класах еталонних операцій дозволяє відібрати критерії, з використанням яких отримано несуперечливі результати.

Однак, позитивні результати тестування не гарантують того, що показник, який пройшов ці тести, дійсно є критерієм ефективності. Інакше кажучи, успішність проходження тестів з використанням класів еталонних операцій є необхідною, але недостатньою умовою для прийняття остаточного рішення. Крім того, кількість класів еталонних операцій необхідно розширювати, інакше виникає ризик неправильного порівняння операцій.

З іншого боку, кількість вже розроблених показників, призначених для оцінки ефективності, настільки велика, що виникає необхідність у визначенні формальних ознак таких показників з метою попереднього виключення з самого

початку не відповідних варіантів.

У той же час, існує велика кількість операційних процесів, що мають значну тривалість, для оцінки яких необхідно враховувати розподілений в часі характер зв'язування і вивільнення, відповідно, вхідних і вихідних продуктів операції. У таких випадках спрощення моделі операції буде приводити до виникнення суттєвої похибки в оцінці ефективності.

Таким чином, завдання тестування показників, призначених для оцінки ефективності, потрібно вирішувати поетапно.

На першому етапі необхідно визначити формальні ознаки, яким повинен відповідати оціночний показник, з тим, щоб максимально формалізувати процес попереднього відбору та подальшої верифікації.

На другому етапі альтернативні показники повинні пройти етап математичного моделювання або експериментальних досліджень.

Очевидно, що для попереднього відбору показників немає необхідності у використанні складних методів верифікації. Достатньо розробити узагальнену математичну модель перетворюючого процесу і визначити формальні ознаки, використання яких дозволить істотно знизити трудомісткість пошукового завдання.

Таким чином, метою першого етапу роботи є визначення системи формальних ознак, що дозволяють розбити безліч оціночних показників на два класи: на клас показників, які не підходять для використання в якості критерію ефективності операцій, і показників, які ймовірно можна використовувати в цих цілях. Для досягнення мети необхідно вирішити такі завдання:

– виявити кількісні характеристики, властиві будь-якому операційному процесу, які не залежать від його внутрішньої структури і визначають його ефективність;

– з огляду на розподілений у часі характер продуктових потоків операції, встановити ознаку, що має чутливість до зміни характеру цих потоків у часі.

Будь-який процес перетворення вхідних продуктів у вихідні продукти з використанням механізму їх перетворення може бути представлений у вигляді такої продуктової моделі (рис. 2.9).

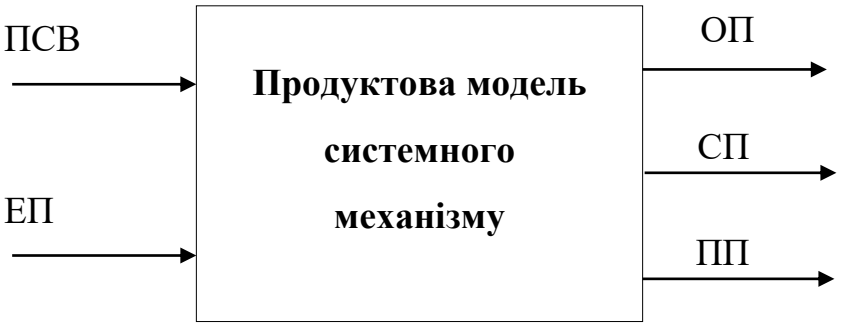

Рисунок 2.9 – Продуктова модель системного механізму:
ПСВ – продукт спрямованого впливу; ЕП – енергетичний продукт;
ОП – основний продукт; СП – супутній продукт;
ПП – побічний продукт

Однак, оскільки механізм впливає на продукти що перетворюються, то і продукти перетворення впливають на механізм, викликаючи його знос. Тому з кібернетичної точки зору системний механізм, по відношенню до операції перетворення, сам також є продуктом перетворення. На цій підставі продуктова модель операції матиме вигляд (рис. 2.10).

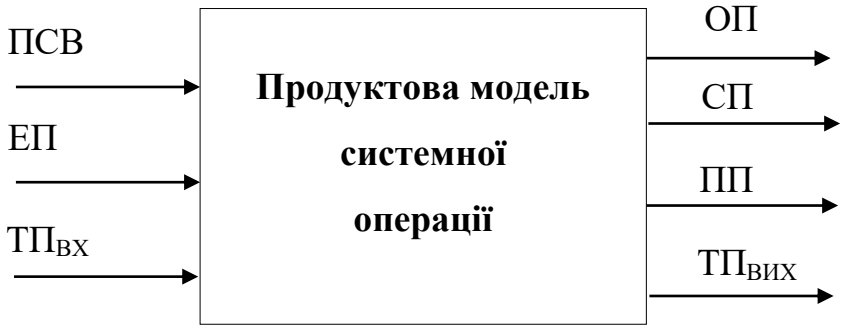

Рисунок 2.10 – Продуктова модель системної операції:
ТП$_{ВХ}$ – вхідний технічний продукт;
ТП$_{ВИХ}$ – вихідний технічний продукт.

Визначення 2.4. Обмежений у часі процес взаємодії продуктових потоків, зумовлений щодо їх множини, якісних і кількісних параметрів, а також правил їх

взаємодії, визначимо поняттям «операція» і запишемо формальний вираз:

$$O = (\forall \tilde{x} \in M)(\exists r_1, r_2, ..., r_n \in \tilde{R})[T(\tilde{x}) \cap B(\tilde{x}) \cap C(\tilde{x}) \cap P(\tilde{x}, r_1) \cap ... \\ ... \cap P(\tilde{x}, r_n) \cap K(r_1) \cap Q(r_1) \cap ... K(r_n) \cap Q(r_n) \rightarrow A(\tilde{x})], \quad (2.23)$$

де: M – множина системних процесів; $\tilde{R}$ – множина вхідних продуктових потоків; $\tilde{x}$ – системний процес; r – вхідний продуктовий потік; p – вихідний продуктовий потік; $A(\tilde{x})$ – процес $\tilde{x}$ є операцією; $T(\tilde{x})$ – процес, що обмежений у часі; $B(\tilde{x})$ – впорядкований інтерактивній процес; $C(\tilde{x})$ – завершений процес; $K(r)$ – продукція r що якісно зумовлена; $R(\tilde{x}, r)$ – продукція r є вхідною продукцією процесу $\tilde{x}$ $Q(r)$ – продукція r є кількісне зумовленою.

За винятком особливих випадків, бізнес-операція здійснюється з метою підвищення цінності множини вихідних продуктів по відношенню до цінності множини вхідних продуктів операції. Оскільки вихідна продукція із заданою якістю може бути отримана при різних кількісних співвідношеннях вхідний продукції, виникає питання вибору кращої операції серед множини можливих.

Якщо кожному потоку виміряної кількості значущої вхідний продукції $rq_i(t)$ і вихідний продукції $pq_j(t)$ поставити у відповідність його експертну (вартісну) оцінку r_{si} і p_{sj}, то множину порівнянних функцій входу і виходу можна представити у вигляді функцій входу $re(t)$ і виходу $pe(t)$ (рис. 2.11). При цьому, $re_i(t)=rs_i \cdot rq_i(t)$ *и* $pe_j(t)=ps_j \cdot pq_j(t)$.

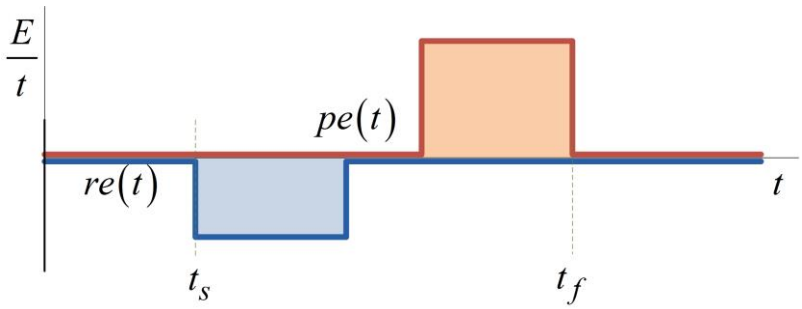

Рисунок 2.11 – Приклад моделі операції зі змінними в часі параметрами

Оскільки зміна якісного та/або кількісного параметра будь-якого вхідного продукту призводить до зміни як функції входу так і функції виходу, параметри цих функції є основою для розробки узагальнених оціночних показників, зокрема, показника ефективності [19]. Отже, дослідження, пов'язані з адекватністю оцінки ефективності, повинні бути спрямовані на клас показників, структура яких спирається на функції *re(t)* і *pe(t)*.

Визначення 2.5. Модель операції – це форма представлення даних операції, що відображає результати процесуальної взаємодії системних продуктів і системних механізмів, час якого починається з моменту початку реєстрації першого потоку вхідних технологічних продуктів, а час завершення – реєстрацією моменту завершення видачі останнього потоку вихідних технологічних продуктів. Приклад моделі операції зі змінними в часі параметрами зображений на рис. 2.12. Показників, які неявно спираються на функції *re(t)* і *pe(t)*, досить багато. Наприклад, загальновідомий економічний показник «рентабельність» може бути визначений в рамках операційного підходу як коефіцієнт доданої цінності [19]:

$$RNT=(PE - RE)/RE \quad , \qquad (2.24)$$

де $RE = \int_{t_S}^{t_F} re(t)dt$, $PE = \int_{t_S}^{t_F} pe(t)dt$ t_s – момент початку подачі вхідних продукції; t_F – момент закінчення видачі вихідної продукції. Дослідження показали, що чутливість по відношенню до часу зв'язування або вивільнення продуктів операції має друга інтегральна функція від функції величини пов'язаних/вивільнених продуктів.

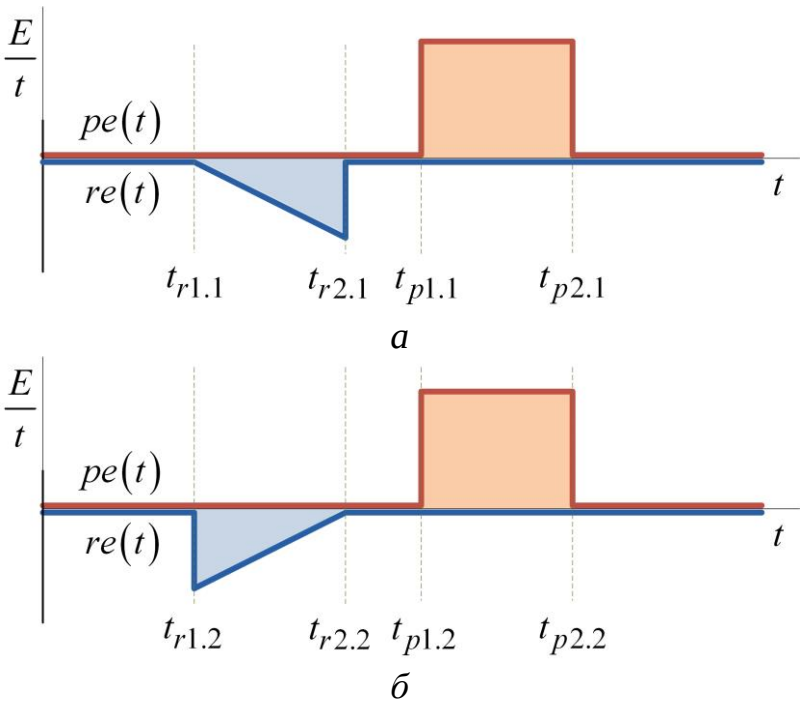

Рисунок 2.12 – Моделі операцій з різними функціями подачі вхідних продуктів:

а – рівномірно наростаюча подача вхідний продукції;

б – рівномірно спадаюча подача вхідний продукції

Однак, наприклад, такий показник не забезпечує можливість оцінювання операцій зі змінними в часі параметрами, оскільки не володіє чутливістю до зміни часу зв'язуванні або вивільнення продуктів операції.

Розглянемо моделі цільових операцій, для яких час початку і закінчення подачі вхідних продукції і час початку та закінчення видачі вихідної продукції збігаються (рис. 2.12). Моделі операцій, у яких

$$t_{r1.1} = t_{r1.2} = t_{r1.i} \ldots = t_{r1.I}; \quad t_{r2.1} = t_{r2.2} = t_{r2.i} \ldots = t_{r2.I};$$

$$t_{p1.1} = t_{p1.2} = t_{p1.j} \ldots = t_{p1.J}; \quad t_{p2.1} = t_{p2.2} = t_{p2.j} \ldots = t_{p2.J} \quad , \qquad (2.25)$$

визначимо як синхронізовані операції. Так, наприклад, операція а) і операція б) (рис. 2.12), є синхронізованими. При цьому операція а) може вважатися ефективніше операції б) незважаючи на те, що $RE_a = RE_b$, $PE_a = PE_b$ і

$ipe(t)_a = ipe(t)_b$. . Тобто, вони мають однакові функції виходу, але друга операція вимагає зв'язування більшого обсягу цінностей на початковому етапі операції, в той час як непов'язаний обсяг цінностей першої операції теоретично може використовуватися в паралельній операції.

Визначимо функцію поточного рівня пов'язаних ресурсів (*ire(t)*) виразом:

$$ire(t) = \int_0^t re(t)dt \quad , \qquad (2.26)$$

де час змінюється від початку операції (t=0) до поточного моменту t.

Тоді поточний рівень запасів (*ze(t)*) в еквівалентному вираженні може бути визначений з виразу:

$$ze(t) = ZE - \int_0^t re(t)dt = ZE - ire(t) \quad , \qquad (2.27)$$

де ZE – рівень запасів в порівнянних одиницях на початковий момент часу.

Для визначення різниці поточних рівнів запасів доступних цінностей (*dif(t)*), досліджуваних операцій споживання вхідних продуктів, у вигляді функцій входу першої ($re_1(t)$) і другої операції ($re_2(t)$), можна записати:

$$dif(t) = (ZE - \int_0^t re_1(t)dt) - (ZE - \int_0^t re_2(t)dt) = ire_2(t) - ire_1(t) \ . \qquad (2.28)$$

Для прикладу в табл. 2.3 і на рис. 2.13 представлені результати розрахунку поточного рівня різниці доступних запасів для операцій, представлених функціями входу $re_1(t)$ = (10, 9, 8, ... 1), $re_2(t)$ = (1, 2, 3, ... 10) і початковим рівнем доступних запасів ZE = 55 од.

Таблиця 2.3 – Результати розрахунку поточного рівня різниці доступних запасів для порівнюваних моделей операцій [$re_1(t)$, $pe_1(t)$] і [$re_2(t)$, $pe_2(t)$]

dif(t)	ze_1(t)	ze_2(t)	re_1(t)	re_2(t)	ire_1(t)	ire_2(t)	vre_1(t)	vre_2(t)
9	45	54	10	1	10	1	10	1
16	36	52	9	2	19	3	29	4
21	28	49	8	3	27	6	56	10
24	21	45	7	4	34	10	90	20
25	15	40	6	5	40	15	130	35
24	10	34	5	6	45	21	175	56
21	6	27	4	7	49	28	224	84
16	3	19	3	8	52	36	276	120
9	1	10	2	9	54	45	330	165
0	0	0	1	10	55	55	385	220

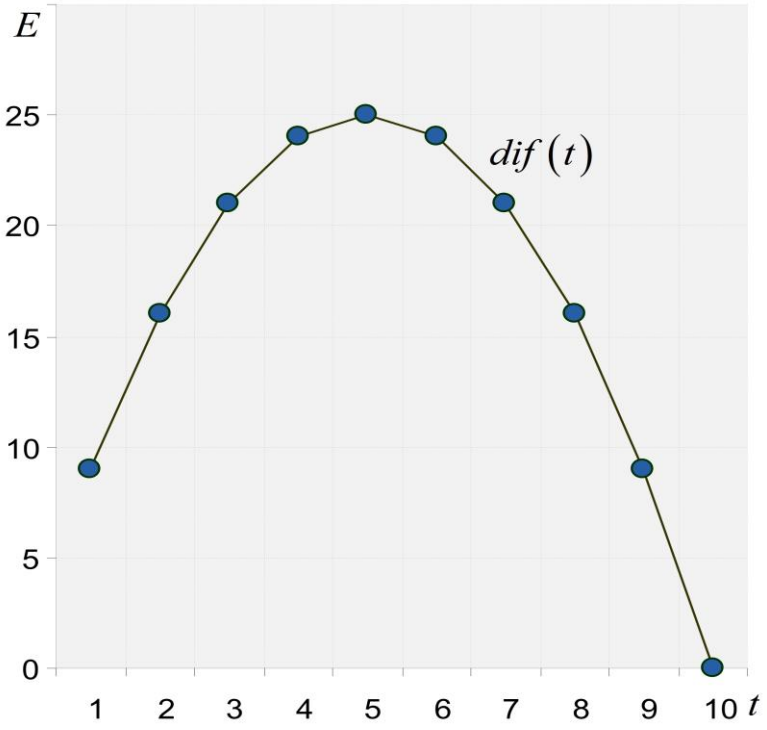

Рисунок 2.13 – Зміна різниці зв'язування запасів між операціями, заданими у вигляді функцій (табл. 2.3)

Видно, що в процесі проведення другої операції в розпорядженні суперсистеми тимчасово є додаткові (по відношенню до першої операції) запаси цінностей, які за певних умов можуть використовуватися для проведення

додаткових операцій з метою отримання додаткової доданої цінності на інтервалі часу проведення операції [18].

Більшу чутливість до часу захоплення певного обсягу цінностей буде мати друга інтегральна функція *vre(t)* від функції входу *re(t)* (рис. 2.14):

$$vre(t) = \int_{t_S}^{t_f} \left(\int_{t_S}^{\tau} re(t)dt \right) d\tau \quad , \qquad (2.29)$$

де поточний момент t_1 співпадає з поточним моментом *t*.

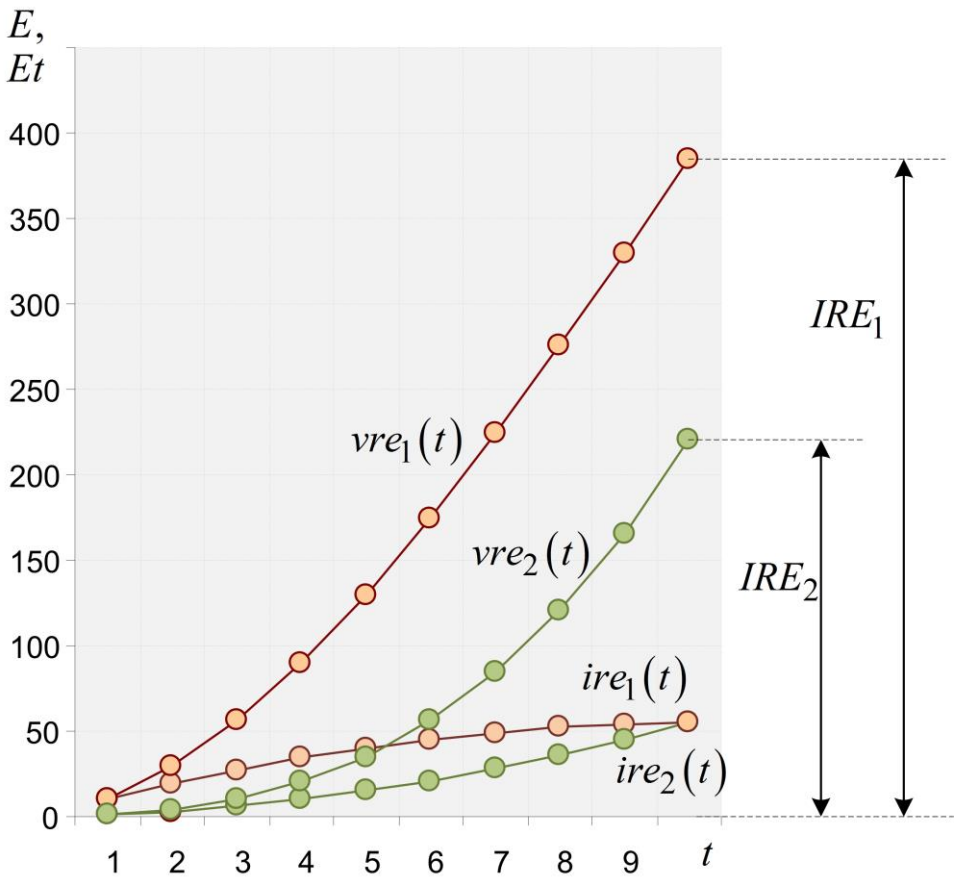

Рисунок 2.14 – Зміна перших і других інтегральних характеристик від функцій входу заданих в табл. 2.3

Тобто, для двох моделей синхронізованих операцій у вигляді функцій входу і виходу ($re_1(t)$, $pe_1(t)$) і ($re_2(t)$, $pe_2(t)$), у яких $RE1=RE2$, $pe_1(t)=pe_2(t)$, існує параметр *IRE*, який є покажчиком на більш ефективну операцію. Чисельне

значення інтегрального виразу визначається від інтегральної функції входу *ire(t)*:

$$IRE = \int_{t_S}^{t_f} \left(\int_{t_S}^{\tau} re(t)dt \right) d\tau = \int_{t_S}^{t_f} ire(\tau)d\tau \quad . \qquad (2.30)$$

Аналогічним чином можна показати, що чисельне значення інтегрального виразу (*IPE*), від інтегральної функції виходу *ipe(t)*, для моделей операцій, у яких *PE1=PE2*, $re_1(t)=re_2(t)$, є покажчиком на більш ефективну операцію:

$$IPE = \int_{t_S}^{tf} \left(\int_{t_S}^{t_f} pe(t)dt \right) d\tau \quad . \qquad (2.31)$$

Отже, чутливість до зміни динаміки функції входу і функції виходу будуть мати тільки ті оціночні показники, які пов'язують вхідні і вихідні параметри досліджуваної 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. Таким зовнішнім ознакам відповідають, наприклад, показники *RL* і *EL* [248], [255], які характеризують послідовність використання розподілених ресурсів:

$$RL = \int_{t_0}^{t_a} \left[\int_{t_S}^{t_f} \left(\int_{t_S}^{\tau} |re(t)|dt \right) d\tau - \int_{t_S}^{t_f} \left(\int_{t_S}^{\tau} pe(t)dt \right) d\tau \right], \qquad (2.32)$$

де t_0 – момент початку використання ресурсів, t_a – момент завершення використання ресурсів;

$$EL = \frac{\int_{t_a}^{t_d}\left(\int_{t_s}^{t_f}\left[\int_{t_s}^{\tau} pe(t)dt - \int_{t_s}^{\tau}|re(t)|dt\right]d\tau\right)dt}{\int_{t_0}^{t_a}\left[\int_{t_s}^{t_f}\left(\int_{t_s}^{\tau}|re(t)|dt\right)d\tau - \int_{t_s}^{t_f}\left(\int_{t_s}^{\tau} pe(t)dt\right)d\tau\right]}, \quad t \in [0, t_a], \qquad (2.33)$$

де t_d – час визначення потенційного ефекту операції.

В [255] встановлено, що показник ефективності повинен бути відносним. Дійсно, для двох еквівалентних, щодо ефективності, операцій (рис. 2.15), формула (3.31) дає значення RL1= 4, RL2 = 8. Формула (3.32), відповідно, EL1 = 0.125, EL2 = 0.125.

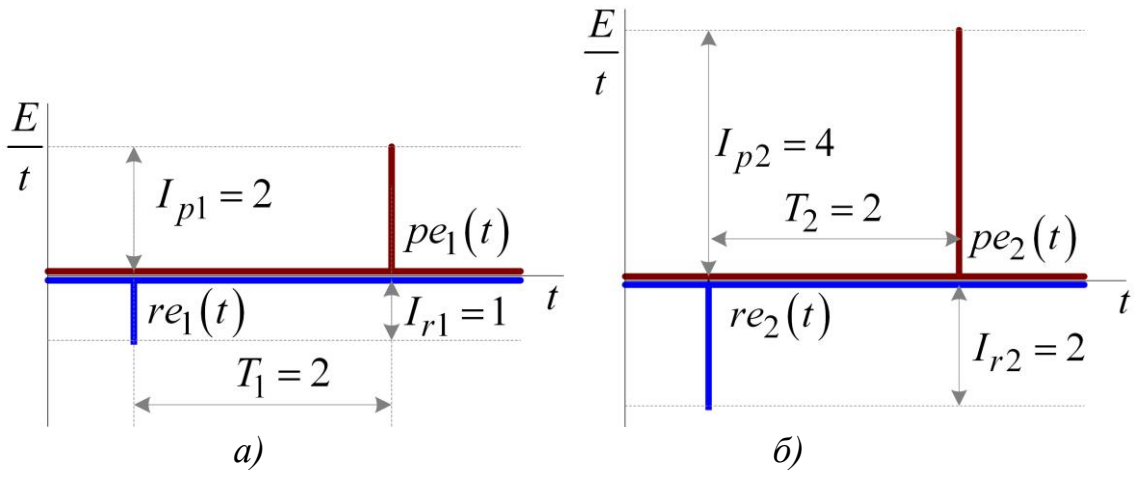

Рисунок 2.15 – Моделі синхронізованих рівноефективних операцій:

а – I_{r1}=1, I_{p1}=2; *б* – I_{r2}=2, I_{p2}=4

Таким чином, математичне відношення двох величин можна розглядати в якості додаткової формальної ознаки показника для визначення ефективності операцій.

Розроблений в даному підрозділі підхід до визначення формальних ознак показників, призначених для оцінки ефективності результатів системних операцій, є розвитком методу верифікації, запропонованого в роботі [19], і дозволяє істотно знизити ресурсомісткість процесу відбору таких показників, серед безлічі пропонованих розробниками.

Крім того, обґрунтування ознаки такого показника, заснованого на визначенні другої інтегральної функції від функції входу і функції виходу, по суті, пропонує розробникам загальний підхід для досліджень в цьому напрямку.

Якщо розглянути симетричну по відношенню до операції диференціювання – операцію інтегрування, то перша інтегральна функція відображає, природно, кількісну характеристику даного об'єкту. При цьому друга інтегральна функція характеризує процес «згортання» в часі кількісної характеристики об'єкта.

Визначення продуктової моделі операції дає можливість побудови узагальненої моделі операції на основі функцій входу і виходу *(re(t), pe(t))*. Оскільки будь-яка зміна подачі вхідних продуктів операції призводить до зміни параметрів операцій, то наявність функції часу входу і виходу є першою формальною ознакою показників, призначених для оцінки ефективності операцій зі змінними в часі параметрами.

Встановлено, що чутливість до зміни характеру функцій входу і виходу, в часі, має їх друга інтегральна характеристика.

Таким чином, наявність другої інтегральної характеристики від функцій входу і виходу є другою формальною ознакою оціночного показника.

На прикладі оцінки моделей простих однаково ефективних операцій показано, що адекватну оцінку забезпечує безрозмірний відносний показник, що дає підставу вважати наявність в досліджуваному вираженні функціонального зв'язку у вигляді математичного відношення додатковою формальною ознакою.

Отримані результати можна використовувати для відбору показників, призначених для оцінки ефективності операцій за формальними ознаками.

2.3.4 Про вибір базового показника для оцінювання ефективності операційних процесів

Подання операції у вигляді сигналів реєстрації руху цінностей на її вході і виході використовується в задачах дослідження операцій. В

результаті рішення задач цього класу операції ідентифікуються щодо критерію ефективності використання ресурсів [13], [19]. Використання результатів такої ідентифікації дозволяє здійснювати прийняття найкращого рішення. Здійснювати ідентифікацію операцій можна безпосередньо, оцінюючи її параметри з використанням формули ефективності. Але для цього формулу ефективності необхідно перевірити на адекватність [13], [19].

Рух продуктів на вході і виході операції, в загальному випадку, має вигляд розподілених у часі потоків ресурсоспоживання і ресурсовіддачі. Приведення цих потоків до порівнянним вартісним величинам дозволяє представити ці потоки у вигляді об'єднаних потоків цінностей на вході *(re(t))* і виході операції *(pe(t))* [13]. Така модель операції вище визначена як глобальна узагальнена вартісна модель операції. У тих випадках, коли розподіленим в часі характером руху продуктів можна знехтувати, глобальна модель операції замінюється моделлю простої операції. У такій моделі функція *re(t)* замінюється параметром RE, а функція *pe(t)* – параметром *PE*.

Як було зазначено, параметри *RE* і *PE* визначаються наступним чином:

$$RE = \int_{t_S}^{t_f} re(t)dt, \qquad (2.34)$$

$$PE = \int_{t_S}^{t_f} pe(t)dt \quad , \qquad (2.35)$$

де t_S – момент початку процесу простої операції, t_f – момент завершення процесу простої операції.

Перехід від функцій *re(t)* і *pe(t)* до параметрів *RE* і *PE* вимагає явного визначення часу моделі простої операції – *TO*. Тобто, $TO= t_f–t_s$. Відповідно можна говорити про трійку параметрів (*RE, TO, PE*).

Для моделі простої операції завжди можна визначити коефіцієнт операційного перетворення вартості *k*. Так, $PE=k\cdot RE$. Для рентабельної операції $k>1$. Проблема полягає в наявності величезної кількості показників, структура

яких дозволяє обробляти параметри *RE, TO* і *PE* порівнюваних операцій. Наприклад, порівняти операції можна з використанням двох альтернативних показників:

$$V_A = \frac{PE - RE}{PE \cdot TO} \quad , \tag{2.36}$$

$$V_B = \frac{(PE - RE)^2}{RE \cdot PE \cdot TO^2} \quad . \tag{2.37}$$

Але ці показники мають нелінійний характер (рис. 2.16).

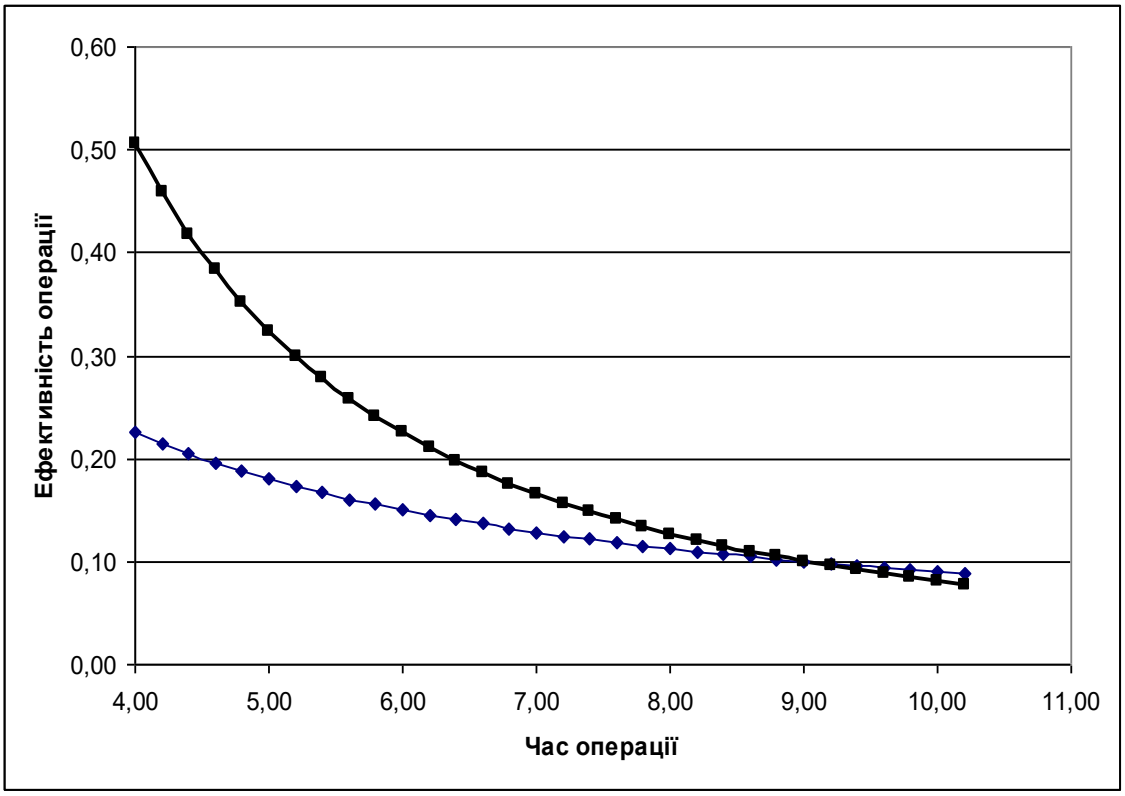

Рисунок 2.16 – Графіки показників (2.36) і (2.37)

Такі показники знаходять обмежене застосування і вимагають для верифікації складних логічних побудов і виділення класів операцій, для яких дані показники дають адекватні оцінки ефективності [19].

Очевидно, що розглянуті вище показники, будучи, безумовно, основними при вирішенні проблеми оцінювання ефективності виконавчих систем, в той же час мають недолік – вони є нелінійними функціями вартості і

часу. Ця властивість не дає можливості проводити розрахунок показника інтегральної вартісної ефективності паралельно-послідовного потоку операцій шляхом простого арифметичного складання значень ефективності окремих операцій. Потокова обробка, яка передбачає паралельне та послідовне виконання операцій, вимагає модифікації критерію (2.37), оскільки усі операції повинні бути узгоджені з суміжними.

Також необхідно враховувати і те, що на тривалому проміжку часу можуть змінюватися вимоги, продуктивність, кількісні та якісні характеристики і вартість вихідного продукту незалежно від його характеру – матеріального чи інформаційного.

Якщо вважати, що при порівнянні двох операцій буде отримано один і той же дохід, то ефективність буде залежати від часу виконання та сумарних витрат. Вартість сумарних витрат *RE* обчислюється за формулою [20].

$$\begin{cases} RE = RE_{in} + RE_{e1} + RE_{e2} + RE_{res1} + RE_{res2} + RE_{add} \\ RE_{in} = C_{in} \cdot F \cdot TO \\ RE_{e1} = C_{e1} \cdot \sum_{i=1}^{n} (P_{e1\,i} \cdot TO_i) \\ RE_{e2} = C_{e2} \cdot P_{e2} \cdot TO \\ RE_{res1} = C_{res1} \cdot \sum_{i=1}^{n} (f_{v1}(P_{e1\,i}) \cdot TO_i) \\ RE_{res2} = C_{res2} \cdot f_{v2}(P_{e2}) \cdot TO \\ RE_{add} = C_{add} \cdot TO \end{cases}, \qquad (2.38)$$

де $RE_{in}, RE_{e1}, RE_{e2}, RE_{res1}, RE_{res2}, RE_{add}$ – вартість відповідно вхідного продукту (сировини чи напівфабрикату), енергії обробляючої частини, енергії транспортуючої частини, зносу ресурсу обробляючої частини, зносу ресурсу транспортуючої частини, додаткових витрат (включає вартість робочого часу персоналу, податкові, орендні платежі тощо); $C_{in}, C_{e1}, C_{e2}, C_{res1}, C_{res2}, C_{add}$ – ціна

відповідно вхідної сировини, енергії обробляючої частини, енергії транспортуючої частини, зносу ресурсу обробляючої частини, зносу ресурсу транспортуючої частини, додаткових витрат; i – номер стадії процесу; n – кількість стадій процесу; $P_{e1\,i}, TO_i$ – відповідно споживана потужність і час роботи i-ї секції; P_{e2} – потужність транспортуючої частини; $f_{v1}(P_{e1}), f_{v2}(P_{e2})$ – функції, що визначають швидкість зносу ресурсу обробляючої і транспортуючої частин в залежності від споживаної потужності.

Тобто при урахуванні того, що при виконанні потокових операцій необхідно узгоджувати між собою результати суміжних операцій та підсумовувати їхню ефективність, доцільно використовувати саме витрати, в які включати за мірою необхідності ті складові, що перелічені у формулі (2.38). Детальний розгляд цього питання і конструювання відповідного показника, що враховує спільне функціонування людини і робота, а також ймовірність успішного завершення бізнес-операції за відведений за нормою час приведено в Розділі 4.

Отже, отримав подальший розвиток набір формальних ознак показників, призначених для оцінки ефективності операцій зі змінними в часі параметрами за рахунок додачі таких ознак як наявність формально зафіксованих функцій часу входу і виходу, наявність другої інтегральної характеристики від функцій входу і виходу та наявність в досліджуваному вираженні показника функціонального зв'язку у вигляді математичного відношення, що дає можливість формувати обґрунтовані критерії ефективності бізнес-операцій та бізнес-процесів. Саме це є важливим для удосконалення організаційних процесів в ОТС та динамічного розподілу виконавчих ресурсів.

2.4 Концепція вирішення задачі структурної адаптації організаційно-технічної системи

Вернемось до аспекту A_2 – задачі структурної адаптації ОТС. Відповідно до принципу цілісності доцільно функціонуюча система володіє в просторі і часу

фундаментальними властивостями поведінки: активністю і функціональним гомеостазисом [73]. При цьому зазвичай необхідна структурна і параметрична адаптація системи, яка в загальному випадку може бути ефективна лише в деякій обмеженій області. Іншими словами, адаптація функціональної системи повинна підтримувати функціональну поведінку, яка повинна бути оптимальною в сенсі зазначених вище критеріїв якості. Будемо вважати, що на виконавчому рівні (рівні механізмів) реалізуються оптимальні дії, що засновані на локальних критеріях ефективності (див. п.п. 2.5).

Для реалізації адаптації необхідно вирішувати завдання наступного плану:

1. Завдання підготовки до структурної адаптації – розробка необхідного складу і зв'язків механізмів, підсистем управління і їх функцій (функціональних агентів) таким чином, щоб охопити множину завдань, для вирішення яких проектується система, а також варіанти цих завдань. Структура системи може змінюватися в разі зміни розподілу типів бізнес-операцій, складу ресурсів, технології, додавання або виключення робочих центрів або робочих місць, можуть знадобитися нові алгоритми управління, може змінитися попит на кінцевий продукт і/або пропозицію окремих ресурсів.

2. Синтез моделі структурної адаптації з урахуванням пункту 1.

3. Синтез алгоритмів для реалізації коригувальних впливів з метою структурної адаптації.

4. Синтез оптимальних коригувальних впливів з метою адаптації на параметричному рівні.

При цьому функції адаптації повинні бути розподілені за рівнями ієрархії системи.

При вирішенні цих питань будемо розглядати лише дискретні моменти часу $T=0,1,...,N$ коли вимірюються критерії і змінюються/адаптуються параметри керованого об'єкта.

2.4.1 Розробка концептуальної моделі багатоагентної системи що адаптується

Вираз (2.14) дає модельне відображення структури системи управління бізнес-процесом самого загального виду. У розвиток концепції адаптації системи до змін ситуацій побудуємо модель багатоагентної системи як чергову точку конвергенції рівня 2 моделі онтології предметної області (2.9) до моделі онтології (2.10) системи управління ОТС. Базовими об'єктами системної онтології на рівні 2 є активні та підлеглі сутності. Ті та інші є агентами, яким притаманні певні ролі. Активні сутності (агенти) використовуються для координації та керування послідовності дій згідно зі сценарієм інтегральної цільової операції. Підлеглі сутності-агенти грають ролі виконавчих механізмів, тобто безпосередньо є учасниками у процесах, що притаманні моделі онтології (2.9).

Між сутностями проблемної області існують певні відношення, які потрібно відобразити в моделі. Отже уявімо концептуальну модель багатоагентної системи (аспект A_{221}), з урахуванням сказаного вище, у вигляді [5]:

$$MAS = <PE(AP), AE(AA, RA, AS), SO, AR, R^4, R^5, R^6, AL, KL, PTA>, \quad (2.39)$$

де PE – множина підлеглих сутностей – механізмів буферизації, перетворення, переміщення; AP – множина атрибутів підлеглих сутностей; AE – множина активних сутностей (агентів); AA – множина атрибутів активних сутностей; RA – функціональні ролі активних сутностей, кожна з котрих ототожнюється з назвою агента; AS – множина аспектів функціонування активних сутностей у рамках визначених ролей (компетенції агентів); SO – множина класів простих бізнес-операцій у бізнес-процесі, що реалізується системою; $R^4 \subseteq SO \times AE \times AS$ – проекція множини простих операцій на множину компетенцій агентів та на аспекти їх функціонування; $R^5 \subseteq PE \times AE$

– відношення підлеглих та активних сутностей, тобто які з агентів формують сигнали керування для окремих механізмів; $R^6 \subseteq AS \times AS$ – відношення між аспектами функціонування активних сутностей (відношення R^5 і R^6 спочатку вербально визначаються у вимогах до системи); AL – бібліотека алгоритмів реалізації процесів керування у системі; KL – бібліотека баз знань щодо керування процесами керування та структурної адаптації; PTA – комплекс процедур структурної адаптації системи. Отже, відношення R^4 та R^6 є черговими точками конвергенції онтологій $O1$ и $O2$ на рівні 3.

Задача структурної адаптації системи визначається виразом:

$$TA = < BPM, SS, OS, Q_{SA}, RS, F > , \qquad (2.40)$$

де BPM – модель бізнес-процесу, для котрого 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.

На основі моделі онтології розробимо перелік завдань, які потрібно вирішити для реалізації інформаційних процесів структурної адаптації.

2.4.2 Розробка переліку завдань структурної адаптації функціональної системи

Об’єктом керування у процесі адаптації є кінцева, але відкрита множина агентів, кожен з яких представляє певний клас і може виконувати певну множину локальних операторів, композиція яких дає одну з функцій U_k. При цьому реалізуються проекції $R^2 \subseteq I \times A$ (проекція множини локальних операторів на множину агентів) та $R^3 \subseteq A \times U$ (проекція множини агентів на множину функцій

управління) (див. вираз (2.12).

Для реалізації процесу структурної адаптації ОТС необхідно виконати таки завдання:

1. Скласти алфавіт класів простих бізнес-операцій, які виконуються під час кожного з бізнес-процесів, що реалізує система, спираючись на онтологію ПрО.
2. Обрати набір потрібних функцій управління U_k для кожної бізнес-операції і для кожної функції U_k визначити набір локальних операторів I_{ik}.
3. Визначити відношення $R^1 \subseteq X \times A$, (вираз 2.12) яке розподіляє входи з множини X по агентах з множини A.
4. Визначити набір ситуацій, в яких потрібно змінювати структуру системи, тобто ситуації, в яких система може стати функціонально недостатньою.
5. Визначити набір ознак для розпізнавання ситуацій.
6. Розробити базу знань для розпізнавання ситуацій та прийняття рішень щодо змін у структурі системи.
7. Визначити набір критеріїв, за якими здійснюється структурна адаптація системи.
8. Розробити метод та стратегію зміни виконавчих структур з урахуванням критеріїв ефективності як окремих операцій та множини БП.
9. Визначити для кожної ситуації, що саме потрібно змінювати у структурі системи – тобто визначити простір SS конфігурацій системи.
10. Визначити відношення $R^6 \subseteq AS \times AS$ – перетин аспектів функціонування окремих агентів згідно з архітектурою системи керування ОТС. Це дасть змогу визначити на наступних етапах створення моделі зміст комунікацій між агентами.

Ці завдання розв’язуються у наступних розділах роботи.

Таким чином, розроблено концептуальну модель задачі структурної адаптації функціональної системи та перелік завдань, які потрібно вирішити для реалізації інформаційних процесів структурної адаптації.

Висновки до розділу 2

Запропонована концептуальна онтологічна модель проблемної області синтезу структури керованої виконавчої системи, що відрізняється тим, що у складі і взаємозв'язках моделі передбачені можливості забезпечення операцій зберігання, буферизації, перетворення, переміщення і оптимізації якості функціонування за рахунок максимізації кількості ступенів свободи змін параметрів матеріальних і інформаційних вхідних продуктів і самої системи, що дає теоретичні передумови вирішення завдання формування оптимальних виконавчих груп в рамках організаційно-технічних систем та забезпечує вкладеність і багаторівневість при синтезі безперервних і дискретних керованих систем.

Удосконалено підходи до побудови методології створення інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в організаційно-технічних системах, що відрізняються тим, що 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 і встановлення точок конвергенції онтологій на кожному рівні, що дозволяє схематизувати та прискорити процес синтезу комплексу логічних, математичних, функціональних моделей і методів, що становлять у своїй сукупності і взаємозв'язку інформаційну технологію.

Удосконалено узагальнену структуру системи управління виробничого класу за рахунок використання вкладеного матричного опису зв'язків і агентного підходу, в якому множину агентів розділено на підмножини по функціях виконання, моніторингу та диспетчеризації бізнес-процесу і контролю його якості, що дає методологічну основу для побудови множини автоматичних і ергатичних систем з динамічним формуванням виконавчих структур в різних предметних областях.

Отримав подальший розвиток набір формальних ознак показників, призначених для оцінки ефективності операцій зі змінними в часі параметрами за

рахунок додачі таких ознак як наявність формально зафіксованих функцій часу входу і виходу, наявність другої інтегральної характеристики від функцій входу і виходу та наявність в досліджуваному вираженні показника функціонального зв'язку у вигляді математичного відношення, що дає можливість формувати обґрунтовані критерії ефективності бізнес-операцій та бізнес-процесів.

Для багатоагентної системи що адаптується запропоновано концептуальну модель, яка включає:

– множини активних та підлеглих сутностей з атрибутами та ролями за аспектами функціонування;
– множину класів бізнес-операцій, проекцію множини простих операцій на множину компетенцій агентів та на аспекти їх функціонування;
– формальне відношення підлеглих та активних сутностей;
– відношення між аспектами функціонування активних сутностей;
– бібліотеку алгоритмів реалізації процесів керування у системі;
– бібліотеку локальних баз знань щодо керування процесами структурної адаптації;
– комплекс процедур структурної адаптації системи.

Зокрема до концептуальної моделі входить формалізована на теоретико-множинному рівні задача структурної адаптації системи, яка включає:

– модель бізнес-процесу, для якого необхідно адаптувати структуру керованої системи;
– множину допустимих виконавчих структур системи;
– операційний простір системи, який включає підпростір операційного часу, підпростір бізнес-операцій, підпростір ресурсів;
– множину критеріїв якості для динамічного розподілу виконавчих ресурсів;
– множину вподобань та структурних обмежень та кінцеву множину правил перетворення виконавчих структур.

Основні наукові результати розділу 2 опубліковано в роботах [1], [2], [5], [10], [11], [16], [18], [19].

РОЗДІЛ 3
РОЗРОБКА МОДЕЛЕЙ ТА АЛГОРИТМІВ ВІДОБРАЖЕННЯ ОПЕРАЦІЙНОГО ПРОСТОРУ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНІЧНОЇ СИСТЕМИ

В даному 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). Зокрема, сформовано теоретико-множинні моделі бізнес-процесу і бізнес-операції, на підставі яких розроблено інформаційну модель багатофазного обслуговування заявок, що конкретизує статичні зв'язки між об'єктами операційного простору ОТС.

Процеси функціонування ОТС відображені в математичних моделях динаміки багатофазного обслуговування заявок на виконання бізнес-операцій і у загальному алгоритмі імітаційного моделювання функціонування ОТС.

Для визначення первинних показників ефективності розроблено алгоритм визначення часових показників функціонування ОТС.

Оскільки автоматизована ОТС являє собою багатоагентну систему, увагу приділено розробці багаторівневої моделі агента (аспект A_{222}) – починаючи з теоретико-множинного уявлення складу та структури агента, розробки моделей і метода формування компетенцій агентів, що виконують бізнес-операції (аспект A_{223}), і, завершуючи розробкою моделей взаємодії програмних агентів та співробітників ОТС на трьох рівнях – виконання, моніторингу та диспетчеризації (аспект A_5).

3.1 Розробка комплексу моделей для відображення бізнес-процесу в операційному просторі автоматизованої організаційно-технічної системи

Побудова системи взаємопов'язаних БО на множині БП ускладнюється тим, що кожна БО є частиною одного з БП. Це вимагає розгляду сукупного операційного простору і адекватного модельного відображення і узгодження динаміки процесів, що відбуваються. Для структурування операційного простору множини БП розроблено формальний теоретико-множинний опис БП і БО.

3.1.1 Теоретико-множинна модель бізнес-процесу і бізнес-операції

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-послідовна 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 [3]:

$$BP = < C^{BP}_{BO}, G_{BP}, SO_{BP}, QM_{BP}, cd_{BP} >. \quad (3.1)$$

В свою чергу модель БО представлена виразом:

$$BO = <C_{BO}, CodeBO, R_{BO}, MO_{BO}, S_{MO}, CA_{BO}, KB_{BO}, TO_{BO}, V_{BO}, Q_{BO}, cd_{BO}>, \quad (3.2)$$

де $C_{BO} \in CO_{BO}$ – клас БО з множини класів CO_{BO} БО; $CodeBO$ – 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 МО; 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 образом, множину бізнес-операцій розбито на c незалежних підмножин-класів:

$$C_{BO1}, CO_{BO2}, \ldots CO_{BOv}., CO_{BOc}, \text{ де } C_{BOv} \in CO_{BO},\ Ov \cap Ow = 0,$$
$$v, w = 1, 2, \ldots, c,\ v \neq w. \qquad (3.3)$$

У кожному класі згруповані функціонально однорідні БО, такі, як «управління запасом», «контроль руху» і т.п.

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

$$MO = < N, C_{MO}, X, P, E, CX, CE, D, C >, \qquad (3.4)$$

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.

Далі опишемо простір ознак БО вектором $F_{BO}=\{f_{BOl}\},\ l=\overline{1,L}$. Алфавіт ознак БО, в якому можна визначити клас БО, включає в собі:

– приналежність до певного класу БП;
– коротку назву БО;
– характер бізнес-операції – виробнича, обслуговування, контрольна, управлінська (узгодження документу, перевірка умови і прийняття рішення), і т.д.;
– потреба в контролі даних або інших ресурсів на вході;
– потреба в контролі на виході;
– потреба в контролі ресурсів в процесі виконання;
– потреба в контролі показників якості процесу.

Кожен клас БО містіть підкласи. Наприклад, клас «контроль» містіть підкласи:

– контроль черг заявок;
– контроль факту поставки ресурсу або продукту (на вході/на виході);
– контроль руху (час начала, час закінчення, задана швидкість);
– контроль виконання МО;
– контроль параметра в трубці обмежень (включаючи рівень запасу)

Приклад переліку класів БО наведено у Розділі 6.

3.1.2 Інформаційна модель багатофазного обслуговування заявок

Дана модель повинна відображати статичні зв'язки (відношення) між об'єктами операційного простору ОТС.

Інформаційну модель БП опишемо виразом [3]:

$$BPMM = \langle SMBP, AM, E(t), B(t), TM, CD, CM \rangle, \qquad (3.5)$$

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. Індексація матриці відповідає індексації 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 компетентностей – 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.

Таким чином, вдосконалено інформаційну модель багатофазного обслуговування бізнес-процесів та бізнес-операцій, яка подана у вигляді формального теоретико-множинного опису з відображенням зв'язків БП і БО різних класів в спільному операційному просторі у вигляді набору матриць, що дає можливість побудови адекватного відображення і узгодження динаміки зміни станів множини БП і множини БО.

3.2 Розробка комплексу математичних моделей динаміки процесу багатофазного обслуговування

Моделювання роботи ОТС проводиться з двома цілями. По-перше, сам процес динамічного розподілу виконавчих ресурсів передбачає відображення процесу функціонування ОТС за допомогою імітаційної моделі реального часу. При цьому під імітаційної моделлю розуміється модель, яка відтворює з необхідним ступенем адекватності логічну структуру системних явищ і процесів, а також характер і структуру інформації про стан і зміни системи і складових її елементів і їх відношень.

По-друге, імітаційна модель необхідна для дослідження ефективності різних варіантів стратегій оперативного управління режимами роботи ОТС. Розробка моделей і алгоритмів планування та оперативного управління ОТС пов'язана з численними експериментами, які практично неможливо здійснити в природних умовах. Необхідною частиною системи управління ОТС, як на стадії розробки і налагодження, так і на стадії впровадження та експлуатації, є імітаційна модель, що дозволяє в прискореному масштабі часу відтворити різні режими роботи ОТС, порівняти варіанти, обрати найкращий та оцінити якість планування і управління.

Планування та оперативне формування виконавчих структур, а також моніторинг процесів виконання БО на всіх АРМ ОТС здійснюють агенти, які виконують дві ролі:

– агент-монітор, який здійснює контроль усіх БО у рамках окремої групи АРМ;
– агент-диспетчер, який здійснює контроль стану усіх АРМ та усіх актуальних БП у рамках ОТС.

До основних функцій агента-монітора входить:

– контроль стану всіх бізнес-операцій на даному АРМ;
– контроль виконання у часі кожній БО;

– розрахунок втрат часу по кожної БО;
– формування з заданим інтервалом часу звітів для агента-диспетчера.

До основних функцій агента-диспетчера входить:

– контроль стану усіх АРМ;
– контроль стану усіх актуальних БП;
– контроль черг заявок на виконання БО по кожному АРМ;
– розрахунок витрат і втрат часу по кожному АРМ та по кожному БП;
– динамічний розподіл заявок по АРМ, тобто динамічне формування виконавчих структур для кожного БП. Цю останню функцію будемо розглядати окремо у п.п. 4.2.

Повністю функції ролей агентів наведено у п.п. 3.4.3.

Отже, комплекс математичних моделей процесу багатофазного обслуговування є математичним забезпеченням як імітаційного моделювання процесів багатофазного обслуговування, так і функціонування зазначених вище агентів. Для цілей моніторингу, по-перше, необхідно розробити модель динаміки функціонування комплексу АРМ з урахуванням усіх станів кожної заявки, що виконується.

3.2.1 Розробка моделі динаміки функціонування елементів організаційно-технічної системи

Математичну модель динаміки ОТС представимо у вигляді гібридного автомата, параметрами якого є і дискретні та умовно-неперервні величини [3]:

$$M_{\hat{o}} = \langle X, S, T, Y, \varphi, \eta \rangle, \qquad (3.6)$$

де X – множина вхідних величин; S – множина станів; T – множина моментів часу; Y – множина вихідних величин; $\varphi : S \times T \to S$ – функція переходів; $\eta : S \times T \to Y$ – вихідне відображення.

Вхідні величини є вихідними даними процесів функціонування окремих

АРМ, а саме:

$$X^A = \{V^A, S^A, Y^A, P^A\}, \tag{3.7}$$

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

$$X^D = \{V^D, S^D, P^D\}, \tag{3.8}$$

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):

$$V^A = \{v_{\text{í}\,kjn}^A, v_{\text{çîkjn}}^A, , v_{\text{çn}}^A\}; \tag{3.9}$$

– для відстеження стану заявки на виконання БО:

$$V^D = \{v_{\div kjn}^D, v_{\text{î}\,kjn}^D, v_{\text{îá}\,kjn}^D\}, \tag{3.10}$$

де $v_{\text{í}\,kjn}^A$ – надходження заявки на виконання *k*-ї БО *j*-го БП на обробку на *n*-му

вузлі; $v^{A}_{çokjn}$ – закінчення виконання *k*-ї БО *j*-го БП на *n*-му вузлі; $v^{A}_{çn}$ – зупинка *n*-го вузла; $v^{D}_{÷kjn}$ – заявка у черзі на обробку; $v^{D}_{îkjn}$ – заявка на обробці; $v^{D}_{îá\,kjn}$ – заявку оброблено.

Всі зазначені події (за винятком зупинки) відбуваються по черзі, тому у кожен момент часу може бути істинним тільки один з вхідних сигналів.

Множину станів функціональних вузлів та станів заявок представлено у вигляді наборів [3]:

$$S^{A} = \left\{ s^{A}_{n}, d^{n}_{kj}, q^{n}_{÷}, t^{n}_{kjï}, t^{n}_{kjç}, t^{n}_{ôâë} \right\}, \tag{3.11}$$

$$S^{D} = \left\{ s^{D}_{k}, q^{D}_{÷î}, t^{D}_{\mathrm{kj}} \right\} \quad , \tag{3.12}$$

де s^{A}_{n} – стан *n*-го вузла, з наступними допустимими значеннями: “З” – зупинка, “О” – обробка заявки, “Н” – вузол несправний; d^{n}_{kj} – *k*-а заявка щодо БО *j*-го БП, що обробляється на *n*-му вузлі; $q^{n}_{÷}$ – кількість заявок у черзі до *n*-го вузла; $t^{n}_{kjï}, t^{n}_{kjç}, t^{n}_{ôâë}$ – час початку, час закінчення обробки заявки на *n*-му вузлі та час фіксації виходу з ладу; $q^{D}_{÷î}$ – місце у черзі до *n*-го вузла, t^{D}_{kj} – час очікування *k*-ї заявки *j*-го БП; s^{D}_{k} – приймає таки значення: “ЧО” – чекає обробки – це значення слугує прапором знаходження у черзі; “ОБ” – обробляється; “ЗО” – обробку заявки закінчено, це значення стану слугує прапором закінчення виконання БО.

Вихідні сигнали моделі функціонального вузла запишемо:

$$Y^{A} = \left\{ q^{n}_{îáð}, t^{n}_{ïð} \right\}, \tag{3.13}$$

де $q^{n}_{îáð}$ – кількість заявок, що оброблено на *n*-му вузлі; $t^{n}_{ïð}$ – 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:

$$P_n(t) = (\text{"}S_n^A\text{"}, d_{kj}^n(t), q_{\div}^n(t-1), t_{kj\text{ï}}^n, t_{kj\text{ç}}^n, t_{\hat{o}\hat{a}\text{ë}}^n). \qquad (3.14)$$

Символом # будемо позначати ті змінні, які в окремому стані не мають значення.

Для нижче визначених станів функція переходів буде мати такій вид:

– при надходженні нової заявки ($v_{\hat{\imath}\,kjn}^A$=1) вузол має переходити до обробки заявки (“О”) і стан *n*-го екземпляру моделі вузла зміниться наступним чином:

$$P_n(t) = (\text{"}\hat{I}\text{"}, d_{kj}^n(t), q_{\hat{\imath}\div}^n(t-1), t_{kj\text{ï}}^n, \#, \#) \qquad (3.15)$$

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

$$P_n(t) = (\text{"}\text{ÏÐ}\text{"}, d_{kj}^n(t-1), q_{\div}^n(t), 0, (t-1)_{kj\text{ç}}^n, \#) \qquad (3.16)$$

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

$$P_n(t) = (\text{"}\acute{I}\text{"}, d_{kj}^n(t-1), q_{\div}^n(t-1), \#, \#, t_{\hat{o}\hat{a}\text{ë}}^n) \qquad (3.17)$$

Таким чином, сукупність виразів (3.14)...(3.17) визначає функцію переходів автоматної моделі функціонального вузла.

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

Загальну структуру цієї функції показано виразом (3.18):

$$P_D(t)=(n,S_k^D,q_{\div\hat{\imath}}^D(t),t_{\mathrm{kj}}^D) \qquad (3.18)$$

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

$$P_D(t)=(n,"\text{ÇÎ}",q_{\div\hat{\imath}}^D(t),t_{\mathrm{kj}}^D) \qquad (3.19)$$

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

$$P_D(t)=(n,"\text{ÎÁ}",q_{\div\hat{\imath}}^D(t-1),t_{\mathrm{kj}}^D(t-1)) \qquad (3.20)$$

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

$$P_D(t)=(n,"\times\text{Î}",q_{\div\hat{\imath}}^D(t),t_{\mathrm{kj}}^D) \qquad (3.21)$$

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

Таким чином, вирази (3.6)...(3.21) 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 можна відстежувати у реальному часі стан множини бізнес-операцій і, відповідно, отримувати результати, які потрібні для аналізу якості функціонування окремих АРМ, виконавчих груп і ОТС в цілому.

Для отримання оперативних даних моніторингу роботи АРМ за

допомогою моделі необхідно створити таблицю, де кожен запис відповідає одному АРМ. У процесі функціонування ОТС у кожній стрічці таблиці змінюються дані про стан даного екземпляру моделі, що дає змогу накопичувати первинну інформацію про ефективність функціонування кожного АРМ та у подальшому обчислювати статистичні дані, а також інтерпретувати чисельні оцінки у вербальну форму. Аналогічну таблицю необхідно мати і для відстеження стану заявок на виконання БО кожного БП.

Для моніторингу функціонування ОТС у цілому і оперативного управління маршрутами множини БП необхідно також здійснювати моніторинг довжини черг на вході кожного АРМ. Для цього також потрібна відповідна модель, яка розглядається у наступному підрозділі.

3.2.2 Математична модель процесу багатофазного обслуговування заявок

Нехай в ОТС є N h-агентів, закріплених за функціональними вузлами (АРМ), і кожен з цих агентів володіє певним набором h-компетентностей. Виконанню підлягають J БП різних видів. БП кожного виду повинен пройти деякий маршрут обробки через АРМ h-агентів. Маршрут БП задається динамічно, в процесі виконання чергових БО, у вигляді послідовності номерів АРМ, упорядкованих в порядку обробки на них даного БП. Нуль в цій послідовності означає закінчення виконання БП. Наприклад, послідовність 4, 5, 10, 1, 0 показує, що повний цикл виконання БП включив в себе послідовну обробку на четвертому, п'ятому, десятому, першому АРМ.

Будемо вважати, що час обробки кожної класифікованої БО унормовано за результатами статистичних випробувань і з урахуванням експертних оцінок.

В окремі випадкові моменти часу в ОТС надходять на виконання БП. На кожному етапі виконання БП чергова заявка на виконання БО надходить до АРМ обраного h-агента. Вибір АРМ здійснюється агентом-диспетчером відповідно до типу БП, типу БО і відомими компетентностями h-агентів. Якщо АРМ вже

завантажено, заявка надходить в чергу на обробку.

Побудуємо математичну модель процесу виконання множини БП [3].

Як було визначено в п.п. 3.2, матриця виконання $E(t)$ є моделлю відстеження завантаження АРМ бізнес-операціями. Для спрощення розуміння функціонування моделі нагадаємо, що в матриці $E(t)=(e_{rn})$, $r=1..R_m$, $n=1,2, ..., NM$; де m – число актуальних БП, NM – довжина найдовшого (по числу БО) бізнес-процесу. Маємо також вектор $T=(t_k)$, $k=1, ...,K$, 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 $b_n(t)$, $n=1,...,N_M$, вектора $B(t)$ визначаються як

$$b_n(t)=\begin{cases} T_{ok}, \exists e_{rn}=1 \\ 0, otherwise \end{cases}, \qquad (3.22)$$

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

Інакше кажучи, 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.

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 і БО.

3.2.3 Загальний алгоритм імітаційного моделювання функціонування організаційно-технічної системи

З опису в п.п 3.2.2 ясно, що поточний стан ОТС в момент часу $t=t_0$ повністю визначається множиною $\{(E(t_0),B(t_0)\}$. Припустимо, що цю множину для моменту часу $t=t_0$ вже побудовано. Зазначимо алгоритм переходу від нього до множини $\{E(t_1),B(t_1)\}$, що описує стан ОТС в наступний момент часу $t_1=t_0+h$.

Всі стовпчики матриці $E(t_0)$ проглядаються послідовно, елементи кожного стовпця перетворюються за такими правилами [3].

1. Присвоїти r=1 (початок перегляду стовпця n).

2. Якщо значення елемента $b_{rn}(t_0)\neq t_0$, то перейти до п.8 (АРМ n до моменту часу t_0 ще не звільнилося), інакше перейти до п.3.

3. Запам'ятати індекс r_0 елемента $e_{rn}(t_0)$, рівного 1 (обробка заявки на АРМ n закінчена до моменту часу t_0 і заявка в подальшому повинна надійти на обробку до наступного АРМ свого маршруту або покинути ОТС). Зауважимо, що виконуючи крок 3, для всіх $n=1...N$, визначаємо множину заявок, обробка яких завершена на всіх АРМ в момент часу t_0.

4. Встановити $e_{r0n}(t_0+h)=0$, $b_n(t_0+h)=0$ (заявку вже оброблено на n-му АРМ і вона уходить далі.)

5. Знайти в n-му стовпчику елемент $e_{rn}(t_0)=2$; якщо такого елемента в стовпці немає, то перейти до пункту 8 (в черзі до n-го АРМ шукається заявка, яка в момент часу t_0+h повинна надійти на обробку).

6. Встановити $b_n(t_0+h)=T_{ок}$, де $T_{ок}$ – нормований час закінчення обробки заявки.

7. Для усіх $e_{rn}(t_0)>0$ встановити $e_{rn}(t_0+h)=e_{rn}(t_0)-1$ (після того як одна заявка покинула АРМ, черга зсувається на одиницю).

8. Якщо $n\leq NM$, встановити n рівним n+1 і перейти до пункту 2 (якщо не всі АРМ переглянуті, переходимо до наступної колонки матриці E).

9. Визначити, чи повинен черговий БП до моменту часу t_0+h надійти в ОТС на обробку; якщо так, то привласнити йому порядковий номер і формувати вміст

його матриць *SMBR, AM, TM, EC, CD, CM*.

10. Після обробки всіх стовпців матриці виконання *E(t)* сформовано множину заявок (див. крок 3 алгоритму), обробка яких завершена на АРМ в момент часу t_0. Ці заявки, включаючи нові, що надійшли в ОТС, повинні пройти обробку на наступному АРМ свого маршруту або покинути ОТС, завершуючи БП.

Механізм вибору АРМ для виконання кожної заявки описано у Розділі 4.

Сукупність поточних значень елементів матриці $E(t_0)$ і вектора $B(t_0)$ становить «фотографію» ОТС в момент часу t_0. Користуючись наведеним алгоритмом перетворення змінних і алгоритмом динамічної маршрутизації заявок, отримуємо «фотографію» ОТС в наступний момент часу t_0+h і т. д. Таким чином, почавши з початкового стану, який цілком складається з нулів, і, задаючи вихідні дані і структуру вхідного потоку, можемо моделювати роботу ОТС на будь-якому відрізку часу, що потрібно як для диспетчеризації роботи ОТС так і для накопичення статистичних даних.

Отже, вдосконалено комплекс моделей багатофазного обслуговування заявок на виконання бізнес-операцій, який відрізняється тим, що 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.

3.2.4 Розробка алгоритму визначення часових показників ОТС

Для визначення первинних показників ОТС у всіх потрібних аспектах необхідна такий набір інформаційних елементів:

$$IE = < M1, M2, M3, M4\ M5, M6, M7 > \qquad (3.23)$$

де *M1* – таблиця поточного розподілу бізнес-операцій по АРМ; *M2* таблиця

поточного розподілу заявок по АРМ; *M3* – таблиця розподілу бізнес-операцій по бізнес-процесах; *M4* – таблиця, що зберігає значення часових втрат по кожний заявці на кожному АРМ; *M5* – таблиця, що зберігає значення часових втрат на кожному АРМ в кожному бізнес-процесі; *M6* – масив поточних втрат часу на даний момент в кожному БП; *M7* – масив сумарних витрат часу на обробку заявок по кожному бізнес-процесу.

В алгоритмі визначення часових показників реалізуються наступні процедури:

1. Витрати часу при обробці кожної заявки підсумуються на підставі значень часу початку $t^{n}_{kj\text{ï}}$ і часу закінчення $t^{n}_{ik\text{ç}}$ обробки *k*-ї заявки *j*-го процесу на *n*-му робочому місці і зберігаються у масиві *M7*.

2. В масиві *M7* визначається максимальний час обробки заявки.

3. Максимальна втрата часу у черзі з індексом n визначається пошуком максимального значення у таблиці M_4.

4. Для обчислення сумарних втрат часу в *j*-му бізнес-процесі необхідно обчислити суми по стовпцях в таблиці *M5*:

$$LT^{j} = \sum_{n=1}^{N} M5(n, j). \qquad (3.24)$$

7. Витрати часу по кожному процесу обчислюються за даними масиву M_7 і зводяться в таблицю бази даних.

8. Корисні витрати робочого часу за кожним процесом визначається виразом:

$$UT^{j}_{i_{\hat{o}\grave{a}\hat{e}\grave{o}}} = \frac{PT^{j} \cdot (AT^{j} - LT^{j})}{AT^{j}}, \qquad (3.25)$$

де PT^j – плановий показник витрат за даним процесом, AT^j – фактичні витрати за даним процесом.

3.3 Багаторівнева модель агента

Модель агента є багаторівневою, оскільки функціонування агентів кожної ролі пов'язано з виконанням багатьох завдань різного рівня узагальнення. У той же час агент кожної ролі, згідно з концепціями, що розглянути у роботах [257], [266], по суті є окремим мікросервісом у рамках ОТС.

3.3.1 Теоретико-множинне уявлення складу та структури агента

На першому рівні моделювання побудуємо модель програмного агента, яка включає множину компетенцій, множину ролей агентів, та інші складові та їх відношення (аспект A_{222}). Запишемо теоретико-множинне уявлення агента у вигляді [7]:

$$M = < A, FA(SO), K, RA, CC, AM(S, RF) >, \qquad (3.26)$$

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 описується кортежем виду [7]:

$$K^{БО} = < S_{MO}, NB, DB >, \qquad (3.27)$$

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 містіть 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 безлічі екземплярів, і це спрощує процес створення агентів. Розглянемо далі окремі модельні аспекти формування компетенції агента.

3.3.2 Розробка моделей і метода формування компетенції агента

Для реалізації компетенції необхідно мати засоби комунікації агентів різних ролей (аспект A_{223}) . Важливою складовою процесів комунікації є проблемно-орієнтовані мови [267], [268], [269], [270], за допомогою яких, з одного боку, аналітик формує структуру та зміст компетенції щодо виконання певної БО, а, з другого боку, здійснюється діалог між h-агентом та ботом (b-агентом). При цьому слід вимагати, щоб анкетна мова могла бути використана в будь-якому національному природномовному середовищі і, в той же час, бути досить гнучкою для задоволення комунікаційних потреб агентів. Для виконання цих суперечливих вимог необхідно, перш за все, розробити комплекс моделей, за допомогою яких вирішується задача побудови найбільш адекватної структури системи словесних образів, що відображає зміст БО. Першою такою моделлю і є модель анкетної мови. Модель мови – «властива даній мові парадигматична схема елементів (складових) її структури; компактне символічне зображення цієї схеми (або будь-яких її частин чи елементів), що є основою моделювання мови як одного із методів її вивчення (наприклад, породжуюча модель)» [269]. Виходячи з цього, для побудови моделі анкетної мови маємо використовувати онтологію БО. Саме онтологія БО є природною основою для побудови цієї моделі. В структуру онтології БО входить дерево мікрооперацій (МО), з яких складається кожна БО, та список ключових словосполучень (КСС) і аспектів виконання

кожної БО. З урахуванням цього представимо модель анкетної мови для формування компетенції у вигляді [7]:

$$QL^{BO} = <E(AT), ER, EA, F, AS, MO^{BO}, AR, AO> , \qquad (3.28)$$

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. Відношення AO визначає багатоаспектний змістовний простір БО, який умовно розділений на пересічні підпростори, кожен з яких відповідає одному аспекту. Відповідно, за кожним аспектом закріплено певний набір МО.

3.3.2.1 Концептуальна модель інтерпретації словосполучень

Інтерпретація словосполучень природної мови – необхідна складова в процесах комунікації h-агента і b-агента. Діалог між людиною і ботом відбувається в процесі навчання бота, і в процесі функціонування, коли бот виконує певні БО, а людина контролює результати дії бота. Механізм інтерпретації не повинен бути складним з одного боку, і повинен забезпечувати мінімум помилок при виконанні ботом команд h-агента.

Нехай T – вхідний потік тексту, в якому представлені словосполучення $X = \{x_1, \dots , x_m\}$ що мають між собою приховані відношення $R=\{r_1, r_2, \dots, r_v\}$. Задачу інтерпретації може бути вирішено при використанні певної функції інтерпретації $\varphi: X \rightarrow I$, де I – суперпозиція відношень R, виражена в стислій формі на природній мові.

Побудуємо структурну матрицю, яка б пов’язала словосполучення X, функції інтерпретації та відгуки бота у вигляді виконавчих команд чи словесних

коментарів в множині аспектів БО (табл. 3.1).

Зафіксовані словосполучення (СС) – X_i , $i = \overline{1,m}$ характеризують змістовний сенс процедур, які виконують h-агент і b-агент.

Функція інтерпретації (ФІ) повинна обробляти вхідні СС, фіксувати їх асоціативні зв'язки і видавати, як результат інтерпретації, команди або повідомлення в бік b-агента.

Оскільки асоціативні зв'язки мають різний характер, необхідно мати універсальну функцію інтерпретації, що працює з різних аспектів. З іншого боку, зміст, прихований в поточному СС X_i, залежить від передісторії спілкування, так само, як значення числового часового ряду, що має приховану закономірність, залежать від попередніх значень ряду. Оскільки одна і та ж функція інтерпретації використовується багаторазово, накопичуючи потрібну інформацію в міру просування діалогу, введемо поняття оператора інтерпретації (ОІ) – F, який виконує операції вилучення та фіксації змістовно-смислових аспектів з окремих СС, що передують СС X_i. У табл. 3.1 показано взаємодію операторів інтерпретації F, що обробляють СС, які розташовані в порядку їх появи в діалогу.

Таблиця 3.1 – Структурна матриця взаємозв'язків вхідних СС, операторів інтерпретації та її результатів.

Входи	ОІ	Виходи по аспектам БО					
		I_1	I_2	..	I_j	..	I_n
X_i	F_1	R_{i1}	R_{i2}	..	R_{ij}	..	R_{in}
X_{i-1}	F_2	R_{11}	R_{12}	..	R_{1j}	..	R_{1n}
X_{i-2}	F_3	R_{21}	R_{22}	..	R_{2j}	..	R_{2n}
..	..	..	..	..	..	..	..
X_{i-k}	F_k	R_{i-k}	R_{i-k}	..	R_{i-k}	..	R_{i-k}
..	..	..	..	..	..	..	..
X_{i-m}	F_m	R_{i-m1}	R_{i-m2}	..	R_{i-mj}	..	R_{i-mn}

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 R_{ij}, що зв'язують СС X_i з попереднім

контекстом $X_{i-1}....X_{i-m}$ 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:

$$F_i : X_i \rightarrow R_{ij} \rightarrow I_j \ . \qquad (3.29)$$

На даному етапі застосовані СС можуть бути зафіксовані як КСС.

Таким чином розроблено концептуальну модель інтерпретації потоку текстових даних, що дозволяє перейти до розробки формальної моделі інтерпретації СС, які зустрічаються у діалозі між h-агентом і b-агентом. Ця модель повинна відображати послідовність обробки СС.

3.3.2.2 Формальна модель інтерпретації словосполучень

На теоретико-множинному рівні склад моделі інтерпретації виглядає наступним чином [7]:

$$IM = < X, Y1, Y2, CF1, CF2, A^{BO}, G, U1, U2 > \qquad (3.30)$$

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, що належать однієї БО; A^{BO} – множина аспектів БО; $G=X \times A^{BO}$ – проекція множини КСС на множину аспектів БО, що дає змогу визначити у процесі діалогу який 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 у вигляді таблиць рішень.

Розкриємо проекцію $G=X\times A^{BO}$ – перетворення множини вхідних сигналів в множину аспектів БО. Представимо цю проекцію у вигляді матриці, в якої кожен стовпчик відповідає одному аспекту, а кожна стрічка відповідає одному КСС. Накопичуючи у процесі навчання бота відносні частоти застосування КСС у різних аспектах БО, отримаємо інформацію, за допомогою якої можна розпізнавати аспект, якій є актуальним на даний час. Знаючи актуальний аспект, b-агент буде обмежений у виборі КСС для формулювання запитів та відповідей для h-агента, який контролює виконання БО.

Далі сформуємо операційну модель інтерпретації словосполучень. Для цього визначимо набір операторів обробки сукупності 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 [7]:

$$OM = PP \times DP \times IE \times SR \times IA \times MJ \quad . \qquad (3.31)$$

Отримані вирази (3.30) та (3.31) 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.

3.3.2.3 Розробка моделі бази знань

Окремою складовою технології формування компетенцій є база знань (БЗ) щодо послідовностей КСС, які мають важливу роль при виконанні кожної МО та БО та формуванні діалогу між h-агентом та b-агентом.

З виразу (3.28) видно, що для кожної МО, з яких складається дана БО, є список аспектів і КСС. Елементами діалогу у процесі виконання МО слугують КСС та назви аспектів. У БЗ, що є частиною компетенції b-агента щодо даної БО, потрібно зафіксувати послідовності КСС. Частина цих послідовностей є штатними, а друга частина має відображати критичні та нештатні ситуації, що можуть виникнути при виконанні певної МО. Кожна зафіксована у БЗ послідовність КСС відповідає елементу діалогу. Оскільки виконання усіх МО контролюється також з боку бота-монітора даного АРМ, то у лог-файлі БО будуть зафіксовані ті чи інші послідовності КСС. Серед аспектів БО є назви МО, а також назви критичних ситуацій.

Побудуємо структуру бази знань та модель визначення актуального аспекту у процесі виконання МО.

Нехай $X(t)=\{x_1,...,x_m\}$ – послідовність КСС у часі. Визначивши ширину вікна спостереження n, отримаємо можливість формування патернів, які мають бути розташовані у лівій частині кожного правила БЗ. У кожному патерні *P(g)* зберігається сукупність КСС, впорядкована у часі за деяким законом g, яка несе

певну інформацію про події під час виконання МО:

$$P(g) = g(x_1,...,x_n)\ . \qquad (3.32)$$

Функція розпізнавання послідовності що визначає клас патерну:

$$y \ = Y[\,g(x_1,...,x_n)] \rightarrow P(g)\ , \qquad (3.33)$$

Функція реакції на послідовність, яка відповідає патерну *P(g)*:

$$Not = f(P(g(x_1,...,x_n)),\ i = 1..n, \qquad (3.34)$$

де *n* – кількість елементів послідовності КСС; *Y* – набір функцій розпізнавання послідовностей для застосування в базі знань; *f* – функціональна залежність, що реалізована у правилах БЗ. Функція *f* має визначати актуальне вікно спостереження n, з урахуванням вже сформованої послідовності попередніх подій за допомогою зафіксованих закономірностей *g*. Отже, сукупність виразів (3.33) і (3.34) складає ліву та праву частину продукційного правила щодо генерації дії або повідомлення як реакції на певну послідовність КСС у лог-файлі моніторингу виконання БО.

В процесі аналізу послідовностей КСС виникають відхилення між вихідною послідовністю і патерном. Оскільки послідовність є символьною стрічкою, ступінь відхилення доцільно розраховувати за метрикою Хеммінга, а саме:

$$L(X_i, Đ_j) = \sum_{k=1}^{n} \left| x_{ik} - ð_{jk} \right|\ , \qquad (3.35)$$

де *k* – індекс символу у послідовності; *j* – індекс патерна; *i* – індекс послідовності

КСС. З множини наявних патернів обирається патерн, якій має мінімальну відстань від вихідної послідовності.

Сукупність усіх правил, що відповідають виразам (3.32), (3.35) становить продукційну частину бази знань компетенції агента щодо виконання певної БО.

У складі компетенції також є процедурна частина, яка спрямована на реалізацію проекції $G=X\times A^{BO}$ з виразу (3.30) – визначення найбільше значимих аспектів у поточній ситуації при виконанні БО. Модельну інтерпретацію та застосування цієї проекції для діагностики ситуацій наведено у Розділі 4.

Отже, запропоновано елементи інформаційної технології формування компетенцій агентів в автоматизованій ОТС, а саме:

– модель спеціалізованого сервісу організаційно-технічної системи, яка на відміну від існуючих заснована на використанні програмного агента, і включає модель агента, модель компетенції агента, комплекс моделей інтерпретації природномовних словосполучень і базу знань, що дозволяє будувати контрольовану багатоагентну систему для виконання бізнес-процесів, яка швидко адаптується до нових бізнес-операцій.

– комплекс моделей формування компетенції програмного агента, який на відміну від існуючих містіть модель анкетної мови, концептуальну та формальну модель інтерпретації словосполучень, модель визначення найбільш значимих аспектів бізнес-операції та базу знань, що дозволяє швидко формувати різні компетенції агентів у діалозі між аналітиком-користувачем та системою з мінімальним використанням мов програмування.

3.4 Розробка моделі взаємодії агентів в організаційно-технічній системі

3.4.1 Загальні положення про взаємодію агентів

При розробці моделі взаємодії агентів необхідно враховувати наступне [272], [278]:

– кожен агент відіграє одну або кілька попередньо встановлених ролей, межі

яких визначено його компетенцією;

– агенти існують і приймають рішення в умовах інформаційної залежності, кожен агент має обмежену інформацією, що спричиняє необхідність інформаційного обміну між ними;

– агенти володіють обмеженою компетенцією і можливостями, що може бути скориговане шляхом залучення знань і функціональних можливостей інших агентів;

– агенти повинні узгоджувати і синхронізувати свої дії при вирішенні спільних завдань.

Як вказувалося у Розділі 1, в роботі [41] сформульовані три базові принципи координації в складних багаторівневих системах. Це прогнозування взаємодій, реалізація взаємодій і оцінка взаємодій. Ці принципи приймають конкретну алгоритмічну форму в рамках конкретної математичної моделі і конкретного застосунку. Найбільш відомі алгоритми координації базуються, наприклад, на призначенні та погодженні локальних показників якості, оптимізація яких веде до оптимізації глобального показника, на розподілі загального ресурсу, узгодженні значень загальних змінних і ін. В рамках складної системи ці принципи можуть додатково комбінуватися. Всі ці особливості і викликають необхідність координації дій агентів.

При розробці загального підходу до організації взаємодії агентів необхідно також приділити увагу розподілу функцій централізованого та децентралізованого управління агентами, таких, як розподіл функцій розпізнавання ситуацій, що виникають при відпрацюванні операцій.

Для розпізнавання ситуацій в багатоагентних системах добре зарекомендували себе продукційні правила виду «Якщо умова, то дія», які дають можливість окреслити в природній формі досить складну поведінку агента в мінливому зовнішньому середовищі. Вони дають можливість агенту оцінювати стан зовнішнього середовища і робити відповідні дії. Застосування

продукційних правил забезпечує гнучкість агентних моделей, яка проявляється в зручності модифікації (старі правила можна змінювати або замінювати на нові відносно незалежно від інших правил) і можливості донавчання агентів (додавання нових правил відбувається відносно незалежно від інших).

У той же час критичні ситуації можуть відбуватися поза полю зору окремих агентів, тому слід віддати перевагу централізованому принципу взаємодії і покласти на агента-диспетчера функції розпізнавання зовнішніх по відношенню до агентів ситуацій, а також прийняття рішення щодо ситуацій, про які повідомляють агенти. Останнє виправдано і тим, що в розпорядженні диспетчера є набагато більше інформації, ніж в розпорядженні будь-якого агента з обмеженою компетенцією.

Оскільки ОТС в роботі представлена як множина АРМ, зручно вважати, що кожне АРМ забезпечено агентом-монітором, які реалізують спільний алгоритм контролю черговості і успішності виконання локальних бізнес-операцій на даному АРМ, а також діагностику помилок при виконанні БО і періодичне формування зведеного звіту про стан всіх БО для агента-диспетчера ОТС.

На рівні ОТС програмний агент-диспетчер (контролер ОТС) визначає послідовність виконання БО для всіх актуальних БП, а також призначає локалізацію і черговість виконання всіх БО в мережі АРМ. Диспетчер контролює завантаження і стан всіх АРМ, часову довжину черг, діагностує збої і здійснює динамічний розподіл БО по АРМ. Диспетчер фіксує початок і закінчення всіх БП, здійснює розрахунок ефективності виконання БО і БП, формує звіти для менеджерів ОТС.

Зв'язки між моніторами і диспетчером формуються для таких випадків:

– паралельне виконання БО;
– послідовне виконання БО;
– виникнення критичної ситуації.

У разі виникнення внутрішньої критичної ситуації монітор розпізнає її і

приймає відповідне рішення (див. п.п. 4.6.2). Одночасно монітор АРМ генерує повідомлення диспетчеру, який приймає та реалізує рішення щодо усунення ситуації.

3.4.2 Модель взаємодії агентів

Модель взаємодії між агентами можна уявити набором [9]:

$$IM = <L(RD, V, D_S, D_P, MS), P_A, r_s, r_t, RI>, \quad (3.39)$$

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:

$$MS = < T, T_M, M) >, \quad (3.40)$$

де T – час повідомлення, віднесений до часу процесу виконання БО; T_M – ключова тема повідомлення; М – зміст повідомлення. Інформаційна структура звітів і повідомлень розглядається у Розділі 6.

3.4.3 Функції агентів і їх відношення

Функції диспетчера:

1. Контроль черги БП і ранжування цієї черги за вартістю затримок.

2. 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 БО і БП в цілому з використанням норм часу, цін затримок, 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 БО, прапори припинення, прапори повторного виконання, прапори закінчення черги, позначки часу і періоди часу виконання по кожній БО, 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.

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 (3.39) складемо таблиці відношень між ролями агентів (табл. 3.2 .... 3.4). Позначимо: «О» – отримувати від ...; «В» _ відправляти до ...; "– " немає зв'язку.

Таблиця 3.2 – Таблиця комунікацій агента-диспетчера

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

Таблиця 3.3 – Таблиця комунікацій агента-монітора

Функція агента	Агенти адресати		
	h-агент	Диспетчер	Менеджер ОТС
1	–	–	–

Продовження табл. 3.3

2	–	П	В
3	–	–	–
4	–	–	–
5	–	В	–
6	–	В	–
7	–	В	В
8	О/В	–	–

Таблиця 3.4 – Таблиця комунікацій b-агента

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

Згідно із таблицями 3.2....3.4 складено діаграми послідовності дій, які відображають взаємодію програмних агентів під час функціонування автоматизованої ОТС. На рис. 3.1 показано діаграму послідовності дій під час реєстрування монітора у базі даних диспетчера. По запиту монітора диспетчер вертає монітору токен – ідентифікатор даного монітора у мережі ОТС.

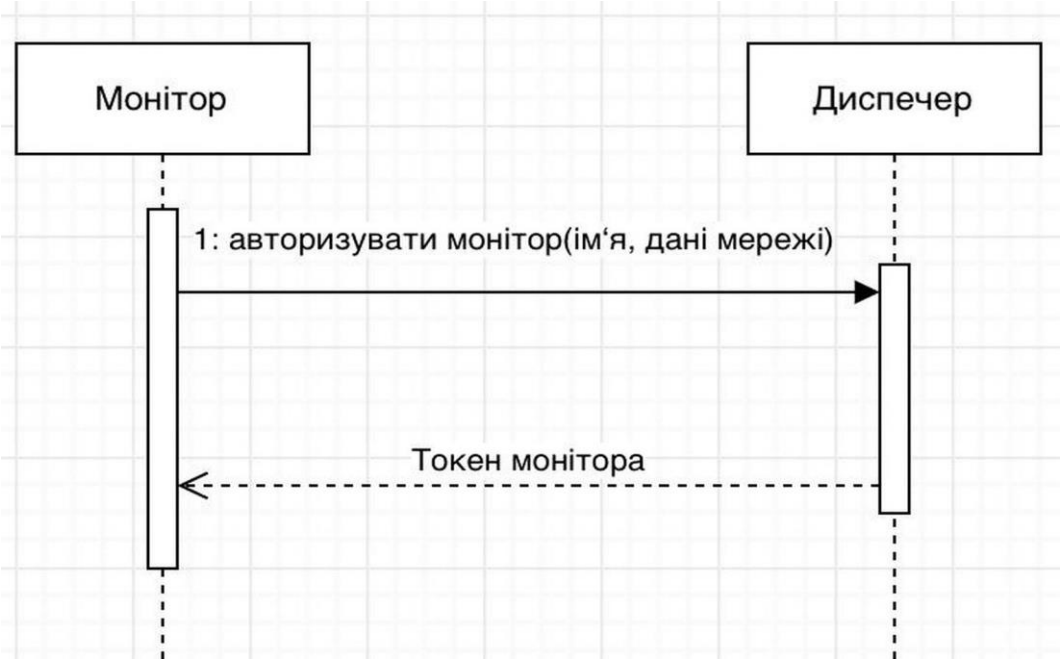

Рисунок 3.1 – Діалог монітора та диспетчера під час авторизації монітора

На рис. 3.2 показано діаграму послідовності дій під час реєстрування h-агента (Агент) у базі даних диспетчера.

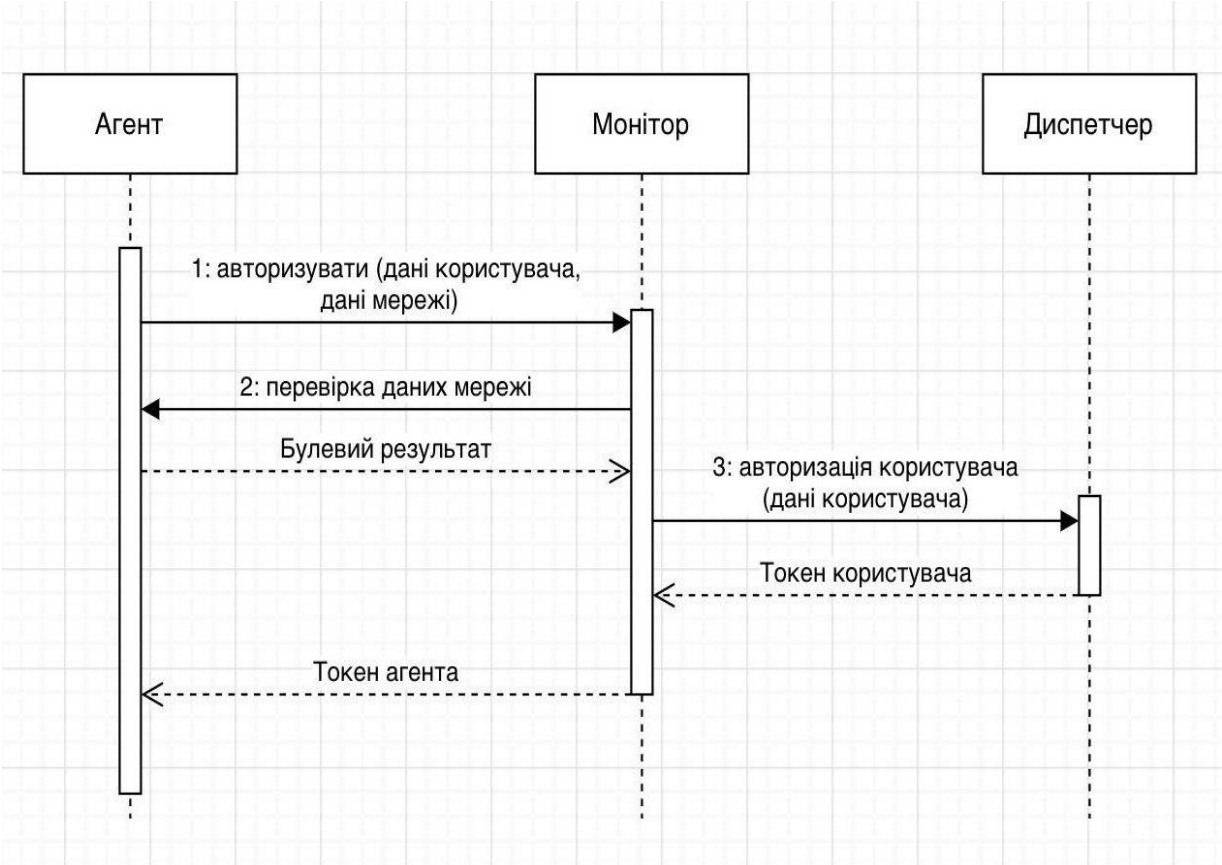

Рисунок 3.2 – Діалоги користувача (агента), монітора та диспетчера під час авторизації користувача

По запиту користувача h-агента монітора передає його запит диспетчеру. Диспетчер реєструє Агента, фіксує його у базі даних, і повертає монітору токен користувача. Монітор повідомляє Агента про реєстрацію та фіксує агента у своїх таблицях БД. З цього моменту користувач буде задіяний у функціонуванні системи моніторингу та диспетчеризації автоматизованої ОТС.

На рис. 3.3 показано діаграму послідовності під час взаємодії монітора, користувача та диспетчера щодо розміщення чергової заявки на виконання БО на певному АРМ.

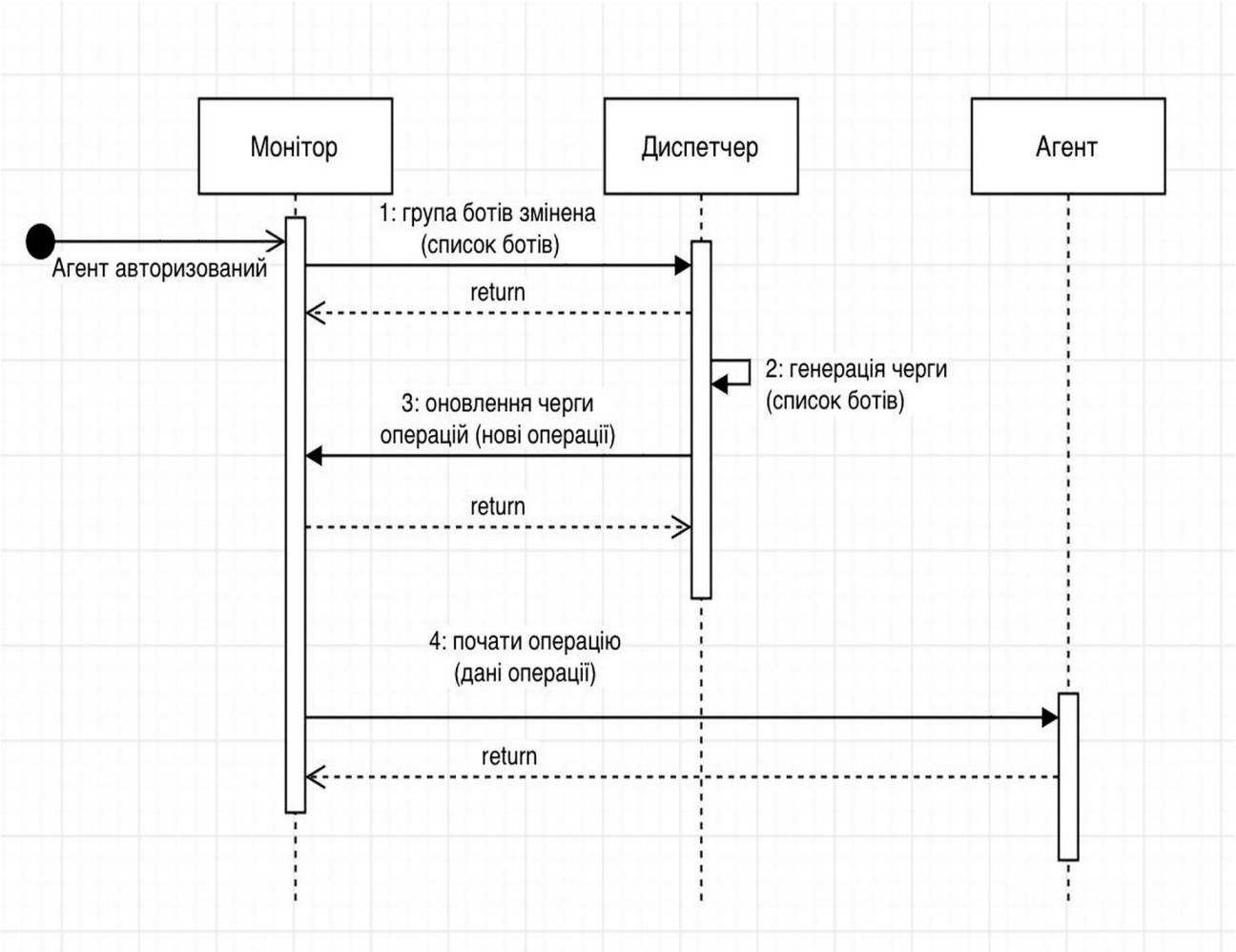

Рисунок 3.3 – Взаємодія диспетчера, монітора та користувача (агента) під час додавання заявки на виконання чергової бізнес-операції

Монітор працює з групою АРМ. 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.

На рис. 3.4 показано діаграму послідовності дій b-агента (бота), монітора та диспетчера під час виконання бізнес-операції.

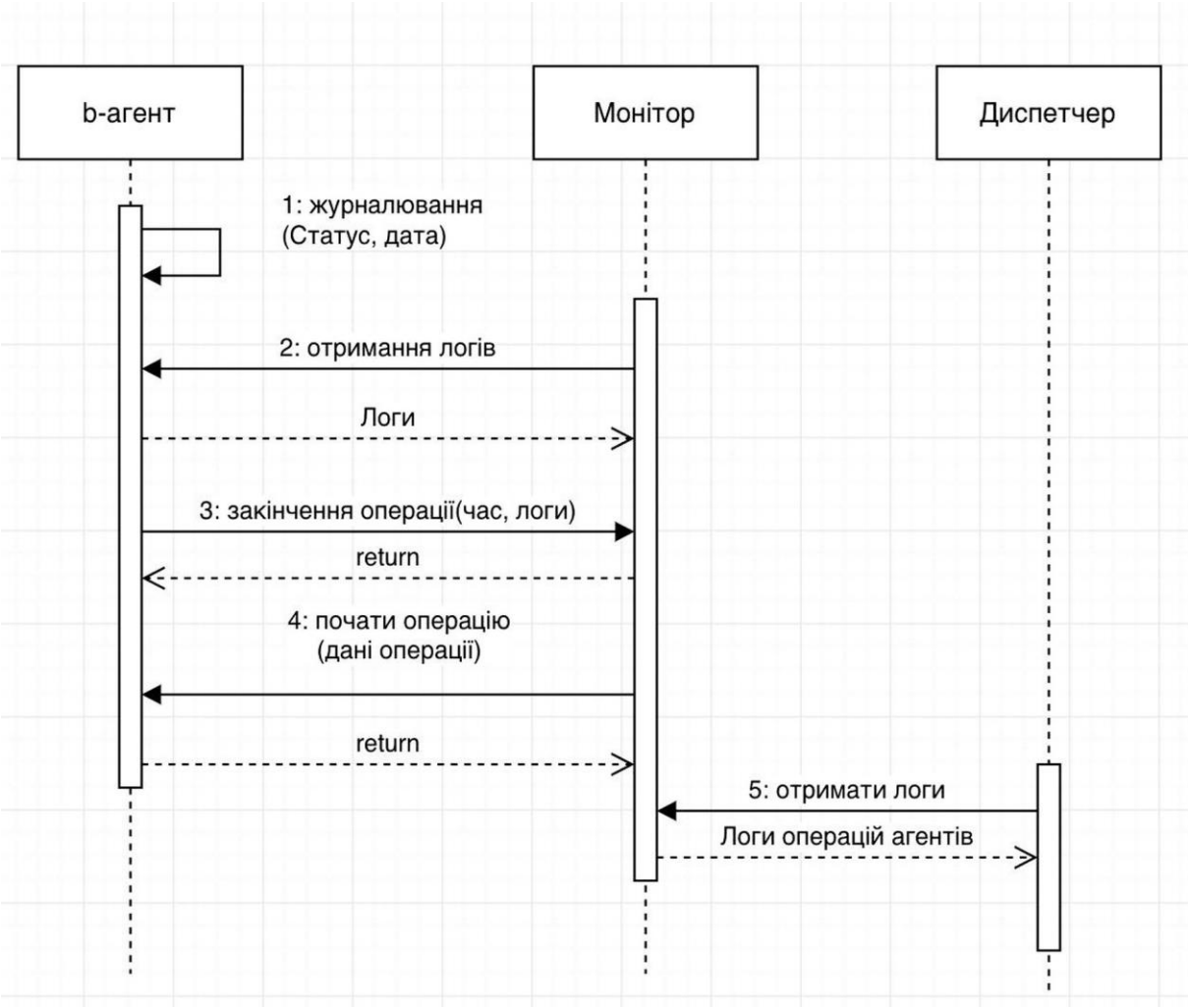

Рисунок 3.4 – Взаємодія бота, монітора та диспетчера під час виконання бізнес-операції

Під час виконання бот формує лог-файл, в якому зазначається час виконання кожної мікрооперації, ключове слово-аспект, і ситуаційні ключові

слова. Після закінчення БО лог фіксує монітор і формує звіт для диспетчера. Якщо в процесі виконання БО виникла позаштатна ситуація, її діагностує монітор або користувач. В обох випадках в лог-файлі фіксуються номер мікрооперації і відповідні ключові слова. За командою користувача монітор може призупинити виконання БО або повторити її виконання.

Вирази (3.39)...(3.40), таблиці 3.1...3.3 та схеми на рис. 3.1...3.4 складають модель взаємодії агентів різних ролей у процесі виконання бізнес-операцій і в процесі динамічної маршрутизації заявок. На основі даної моделі в Розділі 6 розроблено програмні протоколи взаємодії агентів.

Отже, набула подальшого розвитку модель взаємодії агентів трьох рівнів в складі автоматизованої ОТС за рахунок урахування множини функцій виконання, моніторингу і диспетчеризації та відношень 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.

Висновки до розділу 3

1. Удосконалено інформаційну модель багатофазного обслуговування бізнес-процесів та бізнес-операцій, яка подана у вигляді формального теоретико-множинного опису з відображенням зв'язків БП і БО різних класів в спільному операційному просторі у вигляді набору матриць, що дає можливість побудови адекватного відображення і узгодження динаміки зміни станів множини БП і множини БО.

2. Удосконалено комплекс моделей багатофазного обслуговування заявок на виконання бізнес-операцій, який відрізняється тим, що 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.

3. Удосконалено модель спеціалізованого сервісу організаційно-технічної системи, яка на відміну від існуючих заснована на використанні програмного агента, і включає модель агента, модель компетенції агента, комплекс моделей інтерпретації природномовних словосполучень і базу знань, що дозволяє будувати контрольовану багатоагентну систему для виконання бізнес-процесів, що швидко адаптується до нових бізнес-операцій.

4. Вперше запропоновано комплекс моделей формування компетенції програмного агента, якій на відміну від існуючих містіть модель анкетної мови, концептуальну та формальну модель інтерпретації словосполучень, модель визначення найбільше значимих аспектів бізнес-операції та базу знань, що дозволяє швидко формувати різні компетенції агентів з мінімальним використанням мов програмування.

5. Набула подальшого розвитку модель взаємодії агентів трьох рівнів в складі автоматизованої ОТС за рахунок урахування множини функцій виконання, моніторингу та диспетчеризації та відношень 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.

Основні наукові результати розділу 3 опубліковано в роботах [2], [3], [7], [9], [21], [23].

РОЗДІЛ 4
РОЗРОБКА СКЛАДОВИХ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РОЗПОДІЛУ ВИКОНАВЧИХ РЕСУРСІВ

В даному розділі увага приділяється створенню основних елементів інформаційної технології в рамках методології динамічного розподілу виконавчих ресурсів автоматизованої організаційно-технічної системи.

По перше, необхідно розробити комплекс критеріїв оцінки якості функціонування ОТС, в якій бізнес-операції і бізнес-процеси реалізуються спільно людиною та ботом. Концептуальні основи вимірювання ефективності операцій закладено у Розділі 2. Специфіка ОТС, в якій працюють програмні агенти, обумовлює введення окремих вартісних оцінок часу функціонування людини і бота, а також урахування ймовірності успішного виконання операції за відведений нормативами час. Комплекс таких критеріїв дає можливість динамічного прогнозного оцінювання ефективності обробки заявок на виконання бізнес-операцій і, при необхідності, адаптивної зміни маршруту бізнес-процесу в умовах мінливої операційної обстановки.

Спираючись на розроблені критерії ефективності, розроблено моделі та метод розв'язання задачі динамічного розподілу виконавчих ресурсів (аспект A_{31}), кожен з яких являє собою ланку автоматизованих робочих місць. При розробці методу динамічного розподілу заявок по функціональних вузлах ураховано, що диспетчер ОТС має послідовно відбирати вузли з максимальною компетентністю, ранжувати черги заявок за критерієм ціни затримки та враховувати критичні ситуацій в вузлах. Це дає можливість оперативно здійснювати динамічного розподілу виконавчих ресурсів організаційно-технічної системи.

Метод динамічного розподілу заявок входить до загальної стратегії керування чергами, яка має бути адаптивною (аспект A_{32}). Адаптація стратегії полягає у тому, що згідно із ситуацією в ОТС змінюються порогові параметри відбору АРМ за компетентностями та поділ заявок на групи ризику щодо

величини втрат затримок. Відповідно, розроблено метод та алгоритм оптимізації стратегії, який базується на еволюційній парадигмі.

Для розпізнавання критичних та нештатних ситуацій необхідно розробити відповідні моделі та алгоритми, як на рівні підсистеми моніторингу виконання бізнес-операцій, так і на рівні диспетчерської служби (аспект A_4). Згадані моделі містять бази знань та словники ключових словосполучень, що вбудовані в компетенції програмних агентів. Це дозволяє підвищити якість та надійність виконання бізнес-процесів.

4.1 Розробка комплексу критеріїв оцінки якості функціонування автоматизованої організаційно-технічної системи

Виходячи з концептуальних положень та висновків, що сформульовані в Розділі 2, побудуємо критерій ефективності на основі лінійного уявлення взаємозв'язку між витратами (доданою вартістю PE-RE) і часом виконання операції ТО.

Візьмемо до уваги той факт, що робочий час є ресурсом, що має свою вартість в залежності від складності операції, кваліфікації виконавця та інших факторів [4]. Введемо ціну операційного часу виконавця у вигляді вартісного коефіцієнта e з розмірністю [$г.о./\tau_o$]. Тоді вартісне вираження сукупних витрат на момент закінчення операції набуде вигляду [4]:

$$CO = e \cdot TO + R_M + cd \cdot TD, \qquad (4.1)$$

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 [$г.о./\tau_d$], TD – час затримки виконання операції. Ціна затримки визначається менеджером. Менеджер, виходячи з

реалій БП, призначає загальну ціну затримки БП. Потім ціна розподіляється між БО пропорційно нормам часу їх виконання.

Вираз (4.1), як лінійна функція часу і вартісного ресурсу, дозволяє сформувати 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 робота (b-агента) у виконанні конкретної БО буде різною, на основі виразу (4.1) запишемо показник собівартості спільного функціонування h-агента, b-агента і виконавчого механізму при виконанні БО [4]:

$$C^{БО} = e_H \cdot TO_H + e_B \cdot TO_B + R_M + CD, \qquad (4.2)$$

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 (4.2) як показник витратності операції запишемо [4]:

$$C^{\acute{A}\hat{I}} = \sum_{s=1}^{S_R} re_s + CD, \; s = \overline{1, S_R}, \qquad (4.3)$$

де S_R – кількість використовуваних ресурсів; re_s – вартісне вираження ресурсів операції. Необхідно врахувати, що коефіцієнт вартості робочого часу h-агента може змінюватися в залежності від його кваліфікації, завантаженості, ступеню відповідальності та інших чинників.

Далі визначимо середню ймовірність успішного виконання своїх функцій (мікрооперацій) людиною і роботом через ймовірність пропуску критичних та ймовірність появи нештатних ситуацій.

Надійність функціонування автоматизованої ОТС багато в чому залежить від надійності функціонування b-агентів. В процесі виконання БО можуть

виникати помилки або позаштатні ситуації, що призводять до неправильного результату операції і до втрати часу, відведеного на беззбитковий плановий процес.

Вважаючи, що якість бізнес-процесу багато в чому визначається ймовірністю виникнення помилок і, як наслідок, виникнення критичних ситуацій, що ведуть до зниження ефективності [281], запишемо ймовірність погіршення якості бізнес-процесу при виникненні помилки [4]:

$$P_E = \sum_{k=1}^{K} P_k \left[1 - P_{kd}(s(t))P_{ke}(u(t), c(t))\right], \qquad (4.4)$$

де P_k – ймовірність виникнення помилки при виконанні k-ї операції; P_{kd} – ймовірність 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 [4]:

$$P_S = \sum_{k=1}^{K} \left(1 - P_k \left(1 - P_{kd}(s(t))P_{ke}(u(t), c(t))\right)\right). \qquad (4.5)$$

Будемо вважати, що при ймовірності виходу з ладу технічних засобів АРМ близькою до 0, величина P_S відображає рівень надійності пари h-b при виконанні конкретної БО.

Оскільки критерій ефективності повинен бути відносною величиною (формальна ознака показника ефективності згідно п.п. 2.3.3), приймемо за базову величину собівартість операції виконуваної виключно людиною і без помилок [4]:

$$C^b{}_H = e_H{}^b \cdot TO^b{}_H + R^b{}_M \ , \qquad (4.6)$$

де e_H^b, TO^b_H, R^b_M – відповідно, базова ціна робочого часу h-агента, базовий нормативний час, відведений за результатами функціонально-вартісного аналізу на виконання даної операції h-агентом, базові нормативні витрати на експлуатацію та обслуговування виконавчого механізму протягом базового нормативного часу TO^b_H.

При використанні b-агента час TO_H буде скорочуватися, а отже, буде скорочуватися додана вартість. Операція стане дешевше, а значить, ефективніше. Таким чином, мінімізуючи операційний час TO_H, ми підвищуємо ефективність операції за рахунок скорочення зарплатоємності, відносного і абсолютного вивільнення працівників.

З урахуванням сказаного, вираз для показника ефективності і-ї операції набуде вигляду [4]:

$$V_i = \frac{\alpha_{\acute{I}i}\ e_{Hi}TO_{Hi} + \alpha_{Bi}e_{Bi}TO_{Bi} + R_{Mi}}{C^b_{Hi}} \to min, \qquad (4.7)$$

де α_H=1+(1–P_{SH}), α_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 (4.7) приймає вигляд [4]

$$V_j = \sum_{i=1}^{I} \sum_{s=1}^{S_{Ri}} V_i\ ,\ s = \overline{1,S_R}, i = \overline{1,I}\ , \qquad (4.8)$$

що відповідає подвійному інтегруванню при розподіленому характері споживання ресурсів під час виконання неперервних операцій (див. вираз (2.31). Таким чином, виконуються всі формальні ознаки показників, що сформульовані в

п.п. 2.3.3.

В якості додаткових показників будемо використовувати максимальне значення ефективності у заданій області обмежень при розподілі задач (k=1,2,...,K) на множині вузлів ОТС (n=1,2,...,N). Для цього введемо додаткову змінну:

$$x_{kn} = \begin{cases} 1 & \text{, якщо } i\text{-а заявка виконується в } n\text{-му вузлі;} \\ 0 & \text{в протилежному випадку.} \end{cases}$$

Тоді оптимізацію розподілу заявок по вузлах можна проводити по одній з наступних цільових функцій:

$$f_1 = \min_{Xkn} \sum_{k=1}^{K} \sum_{n=1}^{N} t_{kn} x_{kn}; \qquad (4.9)$$

$$f_2 = \min_{Xkn} \left[\max_{n} \left(\sum_{k=1}^{K} t_{kn} x_{kn} \right) \right]. \qquad (4.10)$$

Функція (4.9) відповідає мінімізації загального часу вирішення завдань в вузлах, а функція (4.10) – мінімізації максимального часу вирішення завдань в вузлах. При цьому необхідно враховувати, що час виконання і ймовірність збоїв залежать від компетентності колективу агентів, тобто від пар h-b.

Необхідно також врахувати наступні обмеження:

а) зв'язки між заявками задаються матрицями *AM* і *E(t)* (див. п.п. 3.1.2);

б) обмеження на загальний час виконання всіх БО даного БП:

$$\sum_{k1}^{K} \sum_{n=1}^{N} t_{kn} x_{kn} \le T_3 \qquad (4.11)$$

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

Таким чином, вдосконалено комплекс критеріїв оцінки ефективності бізнес-операцій і бізнес-процесів, що реалізуються спільно людиною та роботом, за рахунок введення окремих вартісних оцінок часу функціонування людини і робота і урахування 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.

4.2 Розробка моделі та методу розв'язання задачі динамічного розподілу виконавчих ресурсів

4.2.1 Загальна постановка задачі

В рамках процесу формування тимчасових виконавчих груп задача оптимального розподілу заявок по функціональних вузлах ОТС є по суті завданням динамічного синтезу функціональної мережі під кожен БП. Дана задача синтезу в загальному вигляді сформульована в роботі [279]. Необхідно визначити оптимальну структуру мережі на період часу t

$$S_{opt}(t) = \{E^*(t), A^*(t), X^*(t), Y^*(t)\}, \ t \in T, \qquad (4.12)$$

де $E^*(t) \in E(t)$ – допустима множина елементів системи в період t; $A^*(t) \in A(t)$ – допустима множина взаємозв’язків елементів системи в період t; $X^*(t) \in X(t)$ – допустима множина власних функціональних характеристик елементів системи в період t; $Y^*(t) \in Y(t)$ – допустима множина системних функціональних характеристик в період t при виконанні обмежень ресурсного, технологічного, директивного, тактичного і інших типів, в рамках яких здійснюється розвиток і функціонування системи: $R[E(t), A(t), X(t), Y(t), t]$.

Вирішення завдання зводиться до процесу динамічної маршрутизації кожної заявки на виконання БО по кожному БП.

4.2.2 Формальна постановка задачі

На основі виразу (4.8) запишемо цільову функцію, яка виражає ефективність виконання множини БП в ОТС [4]:

$$F_V = \sum_{j=1}^{N_{BP}} V_j \to min,\ j = \overline{1, N_{BP}} \quad , \qquad (4.13)$$

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

В систему обмежень в задачі мінімізації цільової функції (4.13) входять:

а) обмеження часу реакції на виникнення помилок: $T_D + T_R \le T_{ID}$, де T_{ID} – час незворотного 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 компетентностей 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 $T_{БП} \in L^{TB}$;

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

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

4.2.3 Розробка методу 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 компетентності у h-агентів.

1.1 Визначимо клас актуальної на поточний момент БО і знаходимо відповідний значущий рядок в матриці компетентностей СМ.

1.2 Аналізуючи значущий рядок матриці компетентностей, отримуємо

підмножину h-агентів (і, відповідно, АРМ) – кандидатів на виконання даної БО в тих стовпчиках матриці компетентностей, де ймовірність успішного виконання БО вище певного граничного значення. Тобто відношення $LCE{:}BO_{BP}{\times}CM$ відображає список АРМ –кандидатів на виконання – *LCE* (List of candidates for execution).

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-й 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 простій АРМ, виконується формування черги з заявок, що стоять в чергах на інші АРМ з урахуванням компетентності даного АРМ. З хвостових заявок в чергах до інших АРМ, утворюється і ранжується нова черга. Довжина черги вибирається за умовою: $L_{\text{нової черзі}} \approx$ 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 (4.13). Результати зберегти для аналізу.

Оцінка ефективності роботи АРМ відбувається в міру накопичення статистичних даних по успішності виконання певної БО. Враховується частота і серйозність помилок, розраховується ймовірність успішного завершення операцій (4.5).

Отже, набув подальшого розвитку метод динамічного розподілу виконавчих ресурсів при виконанні бізнес-процесів в автоматизованій організаційно-технічній системі за рахунок послідовного відбору вузлів з максимальною компетентністю, ранжування черг за критерієм ціни затримки, і урахування критичних ситуацій в вузлах, що дає можливість раціонального розподілу завдань під надходження бізнес-задач [4].

4.3 Розробка стратегії керування чергами та методу її адаптації

4.3.1 Загальні положення щодо функціонування ОТС

Розглядаючи ОТС як СМО, необхідно враховувати такі особливості системи [8, 278]:

1. Багатокритеріальність задачі оптимізації стратегії управління. Залежно від ситуації може виявитися необхідним оптимізувати загальні втрати часу проходження множини БП через ОТС, середнє число заявок в черзі, середній час перебування в черзі, будь-який інший критеріальний параметр або сукупність параметрів в рамках інтегрального критерію.

2. Велика і невизначена кількість станів системи через наявність багатовимірного операційного простору на множині БП, БО, АРМ.

3. Неоднорідність заявок по вектору параметрів через різноманітність БП і

БО, вартості затримки виконання, пріоритетам і т. ін.

4. Невизначеність розподілу потоків різнорідних заявок на вході ОТС.

5. Неоднорідність приладів обслуговування через обмеження в компетентностях співробітників.

6. Один і той же прилад (АРМ) обслуговує кілька типів заявок.

7. Режим обслуговування на будь-якому АРМ змінюється за довільним законом, від повної зупинки до перевантаження.

Таким чином, ОТС є СМО конфігурації GD/GD/m/n, де абревіатура GD означає, що вхідні потоки СМО є послідовностями, члени яких можуть бути незалежні і, крім того, вони мають різні розподіли, вид яких заздалегідь невідомий.

Будемо вважати, що менеджер ОТС формує завдання на виконання БП. При цьому він використовує якусь нотацію, яка дозволяє здійснити декомпозицію БП на БО, відносячи кожну БО до заздалегідь визначеного класу, який, в свою чергу, поєднаний з певною компетентністю співробітника.

Згідно з концепцією даної роботи у автоматизованої ОТС виконання БП здійснюється багатоагентною системою. У складі системи є програмно реалізований агент-диспетчер, програмно реалізовані агенти-монітори, програмно реалізовані агенти-виконавці (боти або b-агенти) і співробітники – h-агенти. Менеджер ОТС контактує з агентом-диспетчером, який здійснює динамічну маршрутизацію БП. Агент-диспетчер (надалі – диспетчер) контактує з агентами-моніторами, кожен з яких контролює деяку підмножину АРМ. Стан усіх заявок (БО), всіх БП і всіх АРМ фіксується в динамічній таблиці, модель якої у вигляді сукупності автоматів описана в п.п. 3.2.1 і роботі [3]. Фрагменти цієї таблиці для окремого АРМ формує агент-монітор (далі – монітор).

4.3.2 Основні положення стратегії управління чергами

В п.п. 4.2.3 та роботі [4] викладено метод динамічної маршрутизації заявок в ОТС, який входить в адаптивну стратегію управління чергами.

Виконання заявок в ОТС регламентовано режимом реального часу.

Введемо часові обмеження T^v_{max} на обслуговування заявки v-ї категорії η_v. Відповідно визначимо інтенсивність обслуговування μ_v (величина зворотна до середньої номінальної тривалості $\mu_v=1/E(\eta_v)$, де $E(\eta_v)$ – математичне очікування тривалості обслуговування заявки v-ї категорії. Очевидно, що величина μ_v знаходиться у функціональній залежності від компетентності конкретного виконавця Z_n, що визначає його продуктивність. З урахуванням часових обмежень можна записати $\mu_v=f(Z_n) \geq 1/T^v_{max}$.

Оскільки кожен виконавчий вузол обслуговує кілька категорій заявок, необхідно визначити стратегію вибору маршруту БП, згідно з метою мінімізації тривалості або вартості затримки виконання, а також дотримання квазістаціонарного режиму, при якому довжина черг до всіх АРМ не збільшується.

Цілі стратегії:

1. Мінімізація критерію (4.13) для сукупності БП.

2. Забезпечення квазістаціонарного режиму обслуговування заявок на всіх АРМ.

Оскільки функція розподілу тривалості обслуговування для кожного АРМ заздалегідь не визначена, але відомі часові обмеження T^v_{max}, то адаптивну стратегію призначення пріоритетів визначимо наступним чином:

1. Приймемо, що основним контрольним параметром 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: $CD^{max}_k>CD_{max}$. Частота контролю стану заявок в «старшої» групи вище, ніж в «молодшої», що зменшує загальну кількість звернень до таблиці станів заявок і дає економію часу диспетчера. Кратність періодичності циклів контролю і переформування черг 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 компетентності. Згідно з методикою викладеною в роботі [8], 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 [8]:

$$P_k = \frac{a}{1 + exp(-\alpha \cdot cd_k + b)} + c \ , \qquad (4.14)$$

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

3.3 При підвищенні порога компетентності робоча підмножина теоретично може виявитися порожньою, тому необхідний контроль потужності сформованої підмножини. На рис. 4.1 показані криві для визначення індивідуального порога необхідної компетентності за формулою (4.14) при значеннях параметра α=14 (крива а) і α=8 (крива б).

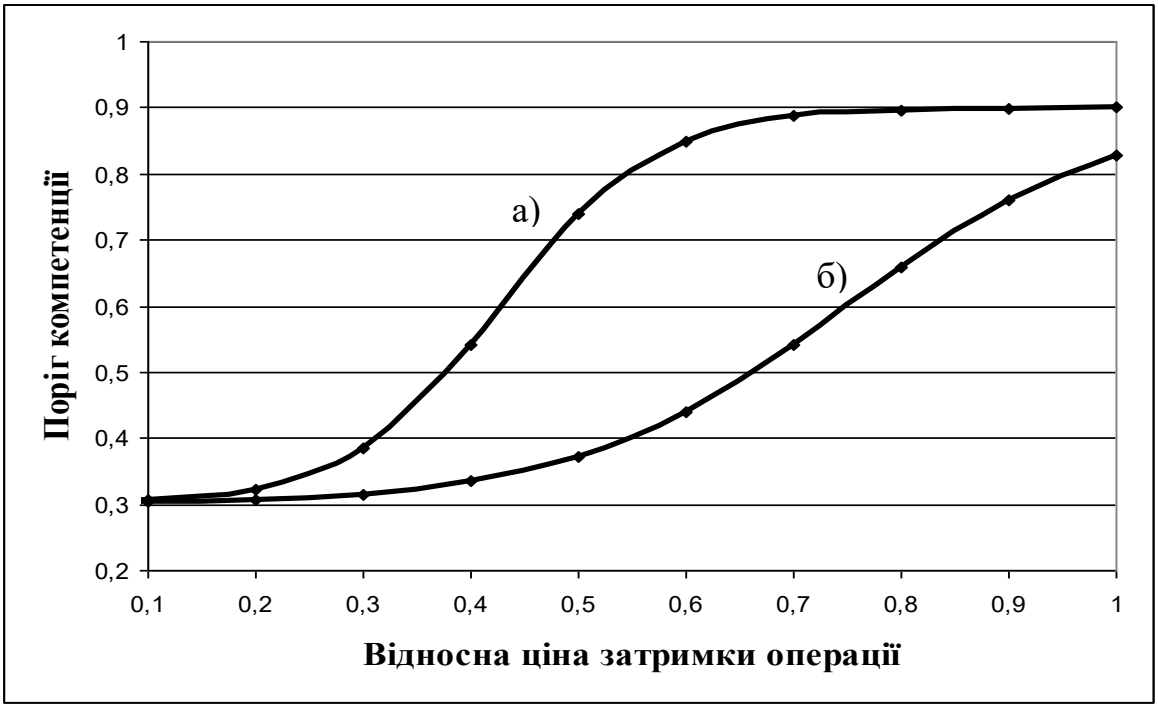

Рисунок 4.1 – Криві вибору порогу компетентності

Видно, що параметр α істотно впливає на вибір робочої підмножини АРМ по компетентності виконавців.

4. Аналіз черг для вибору маршруту. Згідно із методом, що викладено у п.п 4.3, після розрахунку сумарного часу виконання TO_n заявок, що стоять попереду в кожній n-й черзі, з урахуванням ціни затримки cd_k, можна обчислити вартість затримки нової заявки $CD_{kn} = cd_k \cdot TO_n$ для кожної n-ї черги з робочої підмножини. Перебираючи черги в межах робочої підмножини, слід знайти мінімальне значення CD^*_{kn} і поставити заявку k в чергу n^*.

5. Сортування заявок в чергах по зменшенню ціни затримки cd_k.

6. Забезпечення квазістаціонарного режиму по кожному АРМ.

Як відомо, стаціонарний режим роботи СМО повинен бути незалежним від режиму роботи системи (перехідного чи усталеного) [260]. Для забезпечення стаціонарного режиму середні часові характеристики системи повинні бути приведені у відповідність з часовими обмеженнями, які визначені вихідними вимогами до системи. При динамічної маршрутизації заявок можна забезпечити так званий квазістаціонарний режим за рахунок зворотного зв'язку, коли диспетчер контролює тенденції зміни довжини черг і вживає заходів до того, щоб довжина кожної черги лишалася незмінною або зменшувалася. Тобто, для будь-якого каналу обслуговування повинна виконуватися умова $\rho_n \leq \rho_T$, де ρ_T – граничне значення завантаження, незалежно від поточного розподілу типів заявок.

6.1 Визначення вузьких місць за компетенностями. Для кожної підмножини заявок типу v (за компетенцією v) обчислюється поточне значення ступеня завантаженості як відношення ρ_a середньої за контрольний період швидкості надходження заявок даного типу до середньої швидкості виходу обслужених заявок даного типу. 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. Згідно із методом, що викладено у п.п. 4.3, якщо завантаження по

компетенції нижче нижнього порога завантаження ($\rho_a<\rho_{Tl}$), тобто, АРМ часто простоює, здійснюється формування черги з заявок, що стоять в чергах на інші АРМ. З хвостових заявок в чергах до інших АРМ, утворюється і ранжується нова черга відповідно до компетентностей даного АРМ. Довжина черги вибирається за умовою: $L_{\text{нової черги}} \approx L_{\text{ср довжині черг що існують}}$.

6.3 Ранжувати черги по спаданню відносної ціни затримки.

7. Контроль навантаження при плануванні виконання БП.

7.1 У кожній стрічці матриці компетентностей підрахувати кількість АРМ, у яких значення компетентності вище граничного. Граничне значення встановлюється менеджером ОТС.

7.2 Сформувати розподіл компетентностей АРМ за класами БО.

7.3 Порівняти розподіл класів БО та розподіл наявних компетентностей АРМ. Виявити вузькі місця в ОТС на тих АРМ, де є ризик перевантаження за сумарною кількістю певних БО.

7.4 Створити групу ризику з АРМ, в яких є потенціальна можливість перевантаження. Врахувати належність до групи ризику при маршрутизації БП.

Зауваження. Може виявитися. що у процесі маршрутизації на одне і те ж АРМ доводиться кілька БО, а інші АРМ виявляться майже не затребуваними. Це означає, що компетентності в ОТС не збалансовані за профілем деяких БП. Оперативне управління тут не допоможе, потрібно навчати деяких співробітників новим компетенціям.

Отже, отримала подальший розвиток адаптивна стратегія управління чергами в автоматизованих організаційно-технічних системах за рахунок урахування в якості ознак ступеня інтенсивності потоку заявок, ступеня компетентностей виконавців та ступеня завантаження робочих місць, що дозволяє реалізувати процес структурної адаптації системи до змін у оперативній обстановці. Як показано у розділі 6, стратегія експериментально апробована на імітаційній моделі і показала свою працездатність, .

4.4 Розробка методу і алгоритму оптимізації для оперативної адаптації стратегії управління чергами

Для вибору параметрів стратегії використовується імітаційна модель, описана нижче. Робочими змінними в процесі адаптації є: *X1* – параметр α виразу (4.14) для визначення порогу компетентності; поріг *X2* поділу заявок на групи ризику за вартістю CD_k. Метод оптимізації реалізується у вигляді наступних етапів [8]:

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

2. За допомогою еволюційного алгоритму, викладеного нижче, генерується популяція допустимих рішень у вигляді двійок ($X1_r$, $X2_r$), $r=1...NP$, де $X1_r$ – параметр α для розрахунку порогів компетентності, $X2_r$ – порогове значення вартості затримки, *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, описаних нижче, відбирається найкраще рішення ($X1^*_r$, $X2^*_r$) за критерієм мінімізації сумарної вартості витрат і затримок:

$$Q = \sum_{j=1}^{J} \sum_{i=1}^{I_j} (C_{ij}^{\acute{A}\hat{I}} + CD_{ij}) \to min, i = \overline{1,I}, j = \overline{1,J} , \qquad (4.15)$$

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

4.4.1 Розробка еволюційного алгоритму для вирішення задачі оптимізації

Попередній аналіз показав, що критерій (4.15) є мультимодальною функцією, яка до того ж змінюється для різних ОТС і бізнес-процесів. З урахуванням цього факту для вирішення поставленого завдання доцільно використовувати адаптивні методи випадкового пошуку, розвитком яких є еволюційні алгоритми [282–284]. Основна продуктивна ідея еволюційних алгоритмів полягає в тому, що пошук ведеться по всій області допустимих значень і в процесі його виконання змінюються умови генерації вектора робочих параметрів. Зазвичай, на початкових етапах розподіл точок є рівномірним, а потім кількість точок збільшується в тих областях, де ймовірно знаходяться локальні екстремуми цільової функції. Уточнення значень локальних екстремумів можна проводити за допомогою випадкового пошуку в вузькій області, яка, ймовірно, містить локальний екстремум. Ймовірність швидкого сходження алгоритму при цьому значно зростає і, таким чином, прискорюється весь процес пошуку оптимального рішення. Отже, еволюційні алгоритми використовують інформацію про рельєф поверхні функції мети. З урахуванням викладеного сформулюємо основні правила, які повинен використовувати алгоритм пошуку оптимального рішення:

1. Забезпечення рівномірного пошуку у всій області визначення функції мети на початковому етапі пошуку;

2. Забезпечення звуження меж випадкового пошуку в окремих областях, які ймовірно містять локальні екстремуми;

3. Вузькі межі локального пошуку адаптивно зміщуються в міру уточнення значення локального екстремуму;

4. Вибір для локального аналізу не тільки елітарних точок, а й кількох випадкових точок;

5. 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 ... 0,9] з кроком 0,1;

– перевірка абсолютної ідентичності нової особини з екземплярами, наявними в глобальній таблиці особин.

Нижче наведені кроки алгоритму для реалізації розробленого методу:

Крок 1. Генерація вихідної популяції. Синтезується *NP* точок (k=1,...,*NP*), в яких визначається значення цільової функції (6) (за допомогою імітаційної моделі і усереднення за *NI* реалізацій).

Крок 2. Сортування наборів (особин) по зростанню значень (оскільки в розв'язуваної задачі шукається мінімум цільової функції).

Крок 3. З усіх *NP* точок відбирається η перших точок – претендентів на лідерство.

Крок 4. Обчислюються кордони пошуку уточненого значення екстремуму для кожної з η обраних точок [8]:

$$a' = x^* - A(b-a)/2, \quad b' = x^* + A(b-a)/2, \qquad (4.16)$$

де a', b' – звужені межі пошуку; a, b – початкові межі пошуку; x^* – координата обраного рішення; A – розмір, що обмежує кордони для уточненого пошуку екстремуму.

Крок 6. Генерується *M* точок в межах $[a', b']$.

Крок 7. Для кожної точки X_l , $l \in M$ обчислюється значення цільової функції.

Якщо нове значення менше попереднього, відповідно змінюються значення x^*.

Як результат, в масиві популяції для обраних точок фіксуються нові значення координат і локальних екстремумів.

Крок 8. Координати і значення цільової функції для η лідерів заносяться в масив лідерів.

Крок 9. Якщо кількість заданих ітерацій не вичерпалося, то для всіх особин генеруються нові випадкові значення координат і відбувається перехід до кроку 3. Інакше перехід до кроку 10.

Крок 10. Масив лідерів сортується по зростанню цільової функції. Перший елемент в списку особин є знайденим оптимальним рішенням. Кінець.

Алгоритм має такі параметри:

1) *NP* – кількість членів популяції.

2) *NI* – кількість реалізацій в імітаційної моделі.

3) η – кількість претендентів в еліту.

4) *A* – коефіцієнт зменшення меж для уточненого пошуку екстремуму.

5) *M* – кількість пробних точок у вузьких межах уточненого пошуку.

Кожна епоха оптимізації режимів роботи СМО залишає в якості результату вихідні дані сеансу моделювання і кращий набір значень робочих параметрів. Збереження результатів в окремій таблиці надалі дозволяє відразу знаходити значення параметрів *X1, X1*, що близькі до оптимальних. Таблиця результатів оптимізації має таки поля:

– поточна кількість БП;
– відносна середня інтенсивність надходження заявок;
– відносне значення середньої завантаженості;
– ступень узгодженості розподілу компетентностей;
– отримані значення параметрів *X1* та *X2*.

Пошук прийнятного рішення щодо значень параметрів *X1* та *X2* має таки етапи:

1. Обчислення відстані по Евкліду від поточного набору даних до вмісту всіх рядків таблиці результатів оптимізації.

2. Вибір мінімальної відстані D_{min}.

2.1 Якщо $D_{min} \leq T$, де T – заданий поріг, то застосовуємо рішення, що

відповідає знайденому найкращому наближенню.

2.2. Якщо $D_{min} > T$, то застосовуємо рішення, що відповідає знайденому найкращому наближенню і запускаємо процедуру оптимізації стратегії з метою пошуку нового рішення для поточної ситуації. Таким чином поповнюється таблиця рішень.

Отже, розроблено метод адаптації стратегії управління чергами в ОТС, якій 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.

4.5 Розробка моделей і алгоритмів розпізнавання ситуацій і діагностики помилок виконання бізнес-операцій

Для побудови комплексу моделей і алгоритмів діагностування ситуацій в виконавчих структурах ОТС необхідно виконати наступні етапи (аспект A_4):

1. Структурування множини проблем і ситуацій в ОТС.

2. Відбір і угруповання інформативних ознак і формування відповідного простору ознак.

3. Розробка моделей і процедур, що перетворюють первинні параметри процесів в ознаки ситуацій.

4. Розробка моделі розпізнавання та правил розпізнавання.

5. Формулювання правил усунення можливих критичних і позаштатних ситуацій.

4.5.1 Структурування множини проблем і ситуацій в організаційно-технічній системі

В основу структурування оперативної технологічної інформації покладемо

виділення проблем і ситуацій. Згідно з концепцією системного аналізу проблемою є усвідомлення невідповідності реального і бажаного, цілей і результатів. Ситуація з точки зору управління – об'єктивна або суб'єктивна оцінка деякої підмножини параметрів процесу (ендогенних факторів), деякої підмножини параметрів зовнішнього середовища (екзогенних факторів) і зв'язків між ними, що мають місце в даний час і є результатом розвитку керованого процесу в часі і просторі. Аналіз і класифікація ситуацій ґрунтується на аналізі режимів роботи ОТС при виконанні БП [6].

Виділимо два основні режими протікання БП:

1) Нормальний режим (штатна ситуація), коли процес протікає в рамках нормативних умов і змінні стану знаходяться в інтервалі $[(X_i)_0; (X_i)_{KP}]$, де $(X_i)_0$ – номінальні значення змінних, $(X_i)_{КР}$ – критичні значення змінних, при яких можливе виникнення критичного режиму.

2) Критичний режим (критична ситуація), коли потрібно прийняття негайних заходів щодо недопущення переходу в нештатну ситуацію, змінні стану знаходяться в інтервалі $[(X_i)_{КР}; (X_i)_{НС}]$, де $(X_i)_{НС}$ – значення змінних, при яких практично неминуче виникнення нештатних ситуацій.

З іншого боку, ситуація має специфічну структуру, тобто набір певних компонент і їх зв'язків. Ситуація як модель служить інструментом аналізу, дозволяючи в термінах ПрО описати певну сукупність умов і проблем. У процесі аналізу фіксуються простір ознак ситуацій (простір ситуацій) і межі ознак кожної ситуації, всередині яких виявляється можливим вирішення проблеми за рахунок впливу на трансформаційні елементи що піддаються регулюванню.

Зв'яжемо поняття потоку подій на рівні ОТС або АРМ з поняттям ситуації. Кожна подія, з одного боку, є наслідком ситуації, а з іншого боку подія є фактом зміни ситуації, який викликає нову ситуацію. Таким чином, будемо вважати, що потік подій формує траєкторію ОТС, як сукупність траєкторій АРМ в просторі ситуацій.

Як було сказано вище, ситуація може бути штатною, критичною або

нештатною. Критичні ситуації віднесемо до класу проблемних, так як кожна така ситуація є наслідком невирішеної проблеми.

Для забезпечення розпізнавання проблем і ситуацій необхідно побудувати на концептуальному рівні ієрархію проблем, рухаючись від проблем верхнього рівня до проблемних ситуацій і їх ознак. На стику рівнів проявляються причинно-наслідкові зв'язки, які необхідно виявити і відобразити в моделі розпізнавання та базі знань.

З огляду на вищенаведені міркування, опишемо структуру множини проблемних ситуацій (проблемно-ситуаційний простір) наступним чином [6]:

$$PS = < P1(P2(P3(S))), PS, R1, R2, R3, CR, F > , \qquad (4.17)$$

де $P1$ – множина проблем першого рівню, $P2$ – множина проблем другого рівня, $P3$ – множина проблемних ситуацій, S – множина ознак проблемних ситуацій, PS – множина процесів, що породжують проблеми; $R1 \subseteq P1 \times P2$ – проекція множини проблем першого рівня на множину проблем другого рівня, $R2 \subseteq P2 \times P3$ проекція множини проблем другого рівня на множину проблемних ситуацій, $R3 \subseteq P3 \times S$ – проекція множини проблемних ситуацій на множину ознак. Відношення $R1$ моделює причинно-наслідкові зв’язки проблем першого і другого рівня, відношення $R2$ моделює причинно-наслідкові зв’язки між проблемними ситуаціями та проблемами другого рівня, відношення $R3$ зв’язує проблемні ситуації з їх ознаками. Виявлення кореляцій CR між проблемами другого рівня і ознаками ситуацій дозволяє конкретизувати логічні зв’язки F, які мають бути зафіксовані базах знань.

При класифікації проблем і ситуацій необхідно вибрати досить компактний набір ознакових структур (ситуацій), щоб знизити розмірність і ресурсомісткість завдання.

I. Проблема 1-го рівня:

Недостатня ефективність окремих АРМ і ОТС в цілому, втрати часу і

відповідні збитки.

II. Проблеми 2-го рівня:

1. Регулярні затримки по часу виконання БО

2. Наявність «вузьких місць», де ростуть черги заявок.

3. Додавання заявки в чергу призводить до надграничного збільшення часу перебування в черзі для деяких заявок.

III. Проблемні ситуації і ознаки:

1. Помилки в результатах БО. Ознака – повідомлення від h-агента.

2. Невірні дані на вході – повідомлення від h-агента або b-агента.

3. Перевищення довжини/часу в черзі – перевантаження АРМ.

4. Вихід з ладу АРМ: повідомлення від h-агента.

4.5.2 Модель розпізнавання ситуацій і прийняття рішень на рівні монітора АРМ

Всі перераховані вище ситуації 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.

В результаті моніторингу виконуваних БО для кожної БО повинен накопичуватися свій масив даних. Ці дані відображають як одномоментні зрізи ситуацій, так і по тенденціям. Ці масиви у вигляді рядків таблиці звіту передаються з інтервалом Δt диспетчеру ОТС, який при необхідності змінює склад і структуру мережі виконавців для кожного БП. Позначимо висновки таблиці одномоментного аналізу ситуації (табл. 4.1):

D1 – ситуація штатна;

D2 – повторити БО з початку;

D3 – повторити ввід вихідних даних та повторити БО з початку.

Таблиця 4.1 – Таблиця одномоментного аналізу ситуації

№	X1	X2	X3	X4	**D1**	**D2**	**D3**
0	0	0	0	0	1	0	0
1	0	0	0	1	0	0	0
2	0	0	1	0	0	1	0
3	0	0	1	1	0	1	0
4	0	1	0	0	0	0	1
5	0	1	0	1	0	0	1
6	0	1	1	0	0	1	1
7	0	1	1	1	0	1	1
8	1	0	0	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0	0	0
10	1	0	1	0	0	1	0
11	1	0	1	1	0	1	0
12	1	1	0	0	0	0	1
13	1	1	0	1	0	0	1
14	1	1	1	0	0	1	1
15	1	1	1	1	0	1	1

Використовуючи апарат алгебри висловлювань, отримаємо:

$$D1 = \overline{X1} \cap \overline{X2} \cap \overline{X3} \cap \overline{X4}\,;\; D2 = X3\,;\; D3 = X2 \qquad (4.18)$$

4.5.3 Модель розпізнавання ситуацій і прийняття рішень на рівні диспетчера ОТС

На рівні диспетчера ОТС необхідно розпізнавати тенденції, що відбуваються на кожному АРМ. Визначимо поняття послідовності подій [6].

Визначення. Нехай $x(t) = \{x_1, \ldots, x_m\}$ – часовий ряд значень деякої 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

$$e(t) = z(t, x_1, ..., x_n) \ . \qquad (4.19)$$

Визначаючи множину послідовностей подій E на всіх інтервалах $[t\text{-}m+1,\ t]$ часового ряду, і розташовуючи початок та закінчення інтервалу на часовій шкалі, отримаємо часовий ряд тенденції – впорядковану у часі послідовність подій

$$e^{z}(t) = \{x_1, x_2, ..., x_k, ..x_\gamma\} \ , \qquad (4.20)$$

де n – ширина вікна спостереження. Зрозуміло, що для кожного елемента множини послідовностей $e(t) \in E$ існує власний закон впорядкування подій $z(t)$. Якщо певний закон впорядкування є значущим, назвемо його значущою тенденцію.

Оскільки ми розглядаємо сукупність впорядкованих символів, яка відображає тенденцію у часі, а нашою метою є розпізнавання тенденцій, доцільно скористатися апаратом розпізнавання образів. Створимо простір ознак, розмірність якого буде дорівнювати ширині γ вікна спостереження тенденцій. Кожне лінгвістичне 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 – або обчисленням скалярного добутку:

$$D(S_i, X_j) = \sum_{k=1}^{\gamma} s_{ik} x_{jk} \quad , \qquad (4.21)$$

$$X_k \in S_i, \ ÿêùî \quad D(S_i, X_j) = \max_k D(S_i, X_j), \qquad (4.22)$$

де $D(S_i, X_j)$ – скалярний добуток вектора ознак поточній ситуації та одного з

еталонних векторів, що визначають клас ситуації з індексом *k*, або обчисленням відстаней за однією зі звісних метрик, наприклад, метрикою Евкліда:

$$L(X_i, S_j) = \sqrt{\sum_{k=1}^{\gamma} (x_{ik} - s_{jk})^2}\,, \qquad (4.23)$$

чи метрикою Хеммінга

$$L(X_i, S_j) = \sum_{k=1}^{\gamma} \left| x_{ik} - s_{jk} \right| \quad . \qquad (4.24)$$

Сформуємо базу знань для аналізу тенденцій (табл. 4.2). Посилання кожного правила отримані шляхом експертних оцінок закономірностей *z(t)*. Визначено, що якщо відносна частота події становіть не менше 0,75, слід зафіксувати, що подієва тенденція відбувається. Для визначення відповідного правила складено таблицю істинності (табл. 4.2), в якої кожен стовпчик відповідає номеру відліку певної події. При ширині вікна *n*=4 потрібно мати не менше 3-х встановлених подій одного виду для фіксації певної тенденції.

Таблиця 4.2 – Таблиця рішень щодо виявлення тенденції

№	Номер кроку				
	1	2	3	4	**z(t)**
0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0
2	0	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0
4	0	1	0	0	0
5	0	1	0	1	0
6	0	1	1	0	0
7	0	1	1	1	1
8	1	0	0	0	0
9	1	0	0	1	0
10	1	0	1	0	0
11	1	0	1	1	1
12	1	1	0	0	0
13	1	1	0	1	1
14	1	1	1	0	1
15	1	1	1	1	1

Використовуючи апарат алгебри висловлювань, отримаємо:

$$z(t) = X1 \cap X2 \cap X4 \cup X1 \cap X2 \cap X3 \cup X2 \cap X3 \cap X4 \cup X1 \cap X3 \cap X4 . \quad (4.25)$$

Дане правило використовується для всіх 4-х подій *X1, X2, X3, X4*. Застосовуючи правило (4.25), і позначивши рішення по оперативному управлінню: *Y1* – зняти частку черги (розвантаження АРМ); *Y2* – постаналіз алгоритму виконання БО; *Y3* – переглянути матрицю компетентнотсей h-агентів. Складемо таблицю істинності з аналізу тенденцій (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Таблиця рішень з аналізу тенденцій

№	X1	X2	X3	X4	**Y1**	**Y2**	**Y3**
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	1	0	0	1
2	0	0	1	0	1	0	0
3	0	0	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	1	1	0
5	0	1	0	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	1	0
7	0	1	1	1	1	1	1
8	1	0	0	0	0	0	1
9	1	0	0	1	0	0	1
10	1	0	1	0	0	0	1
11	1	0	1	1	0	0	1
12	1	1	0	0	0	1	1
13	1	1	0	1	0	1	1

Продовження табл. 4.3

14	1	1	1	0	1	1	1
15	1	1	1	1	0	1	1

З табл. 4.3 після перетворень маємо правила:

$$Y1 = \overline{X1} \cap X2 \cap X4 \cup \overline{X1} \cap X3 \cap \overline{X4} \cup \overline{X1} \cap X2 \cap X3 \cup X2 \cap X3 \cap \overline{X4} \quad (4.26)$$

$$Y2 = X2 \quad (4.27)$$

$$Y3 = X1 \cup X4 \quad (4.28)$$

Отже, вирази (4.18)...(4.28) складають модель розпізнавання ситуацій і діагностики помилок виконання бізнес-операцій на рівні АРМ і на рівні ОТС.

4.5.4 Аналіз ситуацій та ознак на рівні мікрооперацій

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.

Для даних, що мають свій тип (числа, символи, тощо) необхідно створювати процедури (класи) перевірок. Ці класи можна надавати при появі нової БО. У класах реалізовані таки функції:

а) групувати дані за типом;

б) числові дані перевіряти на діапазон;

в) символьні дані звіряти за словником БО.

Якщо сформувати по логу БО таблицю зв’язку КСС – аспекти, в якої кожна стрічка відповідає одному КСС, а кожен стовпчик – одному аспекту, можна розрахувати значущість *i*-го слова в *j*-му аспекті [6]:

$$Y_{ij} = 1 - \frac{n_i}{n}, \qquad (4.29)$$

де n_i – число аспектів, в яких фігурує КСС x_i, n – загальне число аспектів, що виявлені у логу БО. Значення Y_{ij}, отримане по формулі (4.29), може бути скоректовано в межах [0,1] під час налаштування системи.

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

$$\varphi_j(x) = F_j(Y_{ij}) = \frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m} Y_{ij} \quad . \qquad (4.30)$$

Вираз (4.30) є критерієм для фокусування на певній підмножині МО для пошуку помилок. Провівши ранжування значень $\varphi_j(x)$ і граничне перетворення

$$H = \begin{cases} 1 \; if \;\; F \geq T \\ 0 \; otherwise \end{cases}, \qquad (4.31)$$

де F – оцінка значущості аспекту; T – заданий поріг, отримаємо підмножину мікрооперацій, які підлягають аналізу.

Таким чином, вирази (4.29) – (4.31) являють собою модель визначення найбільше значимих аспектів (а тим самим і МО) у поточній ситуації.

4.5.5 Алгоритм діагностики помилок виконання операцій

Крок 1. Отримання логів виконання БО певного БП на певному АРМ від h-агента та b-агента і фіксація даних у таблиці ознак.

Крок 2. Застосування діагностичної моделі (4.18)–(4.28) та таблиці 4.1 для одномоментного аналізу ситуації. Розпізнавання класу ситуації.

Крок 3. Якщо ситуація нештатна, формування повідомлення для диспетчера з визначенням класу ситуації.

Крок 4. Заповнення нової стрічки таблиці 4.2 для виявлення тенденцій.

Крок 5. Аналіз даних таблиці 4.2 на предмет виявлення тенденції.

Крок 6. Якщо тенденцію виявлено, перехід на блок розпізнавання тенденції (крок. 7). Інакше перехід на крок. 1.

Крок 7. Застосування діагностичної моделі (4.18)–(4.28) та таблиці 4.3 для розпізнавання тенденції.

Крок 8. Якщо виявлено критичну тенденцію, формування повідомлення для диспетчера із визначення класу тенденції. Інакше перехід на крок 1.

9. Кінець.

Отже, розроблено формальні моделі розпізнавання ситуацій і правила прийняття рішень для усунення критичних ситуацій на рівні монітора робочих місць та на рівні диспетчера автоматизованої організаційно-технічної системи, які відрізняються тим, що в них крім поточних значень ознак, використовуються подієві тенденції 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.

Висновки до розділу 4

1. Вдосконалено комплекс критеріїв оцінки ефективності бізнес-операцій і бізнес-процесів, що реалізуються спільно людиною та роботом, за рахунок введення окремих вартісних оцінок часу функціонування людини і робота і врахування 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.

2. Набув подальшого розвитку метод динамічного розподілу заявок по

функціональних вузлах при виконанні бізнес-процесів в організаційно-технічній системі за рахунок послідовного відбору вузлів з максимальною компетентністю, ранжування черг за критерієм ціни затримки, і урахування критичних ситуацій в вузлах, що дає можливість оперативно здійснювати формування виконавчих структур організаційно-технічної системи під надходження бізнес-задач.

3. Отримала подальший розвиток адаптивна стратегія управління чергами в автоматизованих організаційно-технічних системах, за рахунок урахування в якості ознак ступеня інтенсивності потоку заявок, ступеня компетентності виконавців та ступеня завантаження робочих місць, що дозволяє реалізувати процес структурної адаптації системи до змін у оперативній обстановці. Стратегія є основою для динамічного розподілу виконавчих ресурсів в будь яких організаційно-технічних системах.

4. Удосконалено метод адаптації стратегії управління чергами в автоматизованій 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.

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

Основні наукові результати розділу 4 опубліковано в роботах [4], [6], [8], [15], [17], [20], [23].

РОЗДІЛ 5
РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДИНАМІЧНОГО РОЗПОДІЛУ ВИКОНАВЧИХ РЕСУРСІВ

У Розділі 4 було розроблено моделі і принципи взаємодії програмних агентів і людей – менеджерів і виконавців – при реалізації інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в рамках автоматизованої ОТС. В даному розділі розробляється саме інформаційна технологія 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.

5.1 Комплекс інформаційних процесів агента-виконавця

На рис. 5.1 показана схема комплексу інформаційних процесів агента-виконавця. Позначимо цей комплекс КІП1.

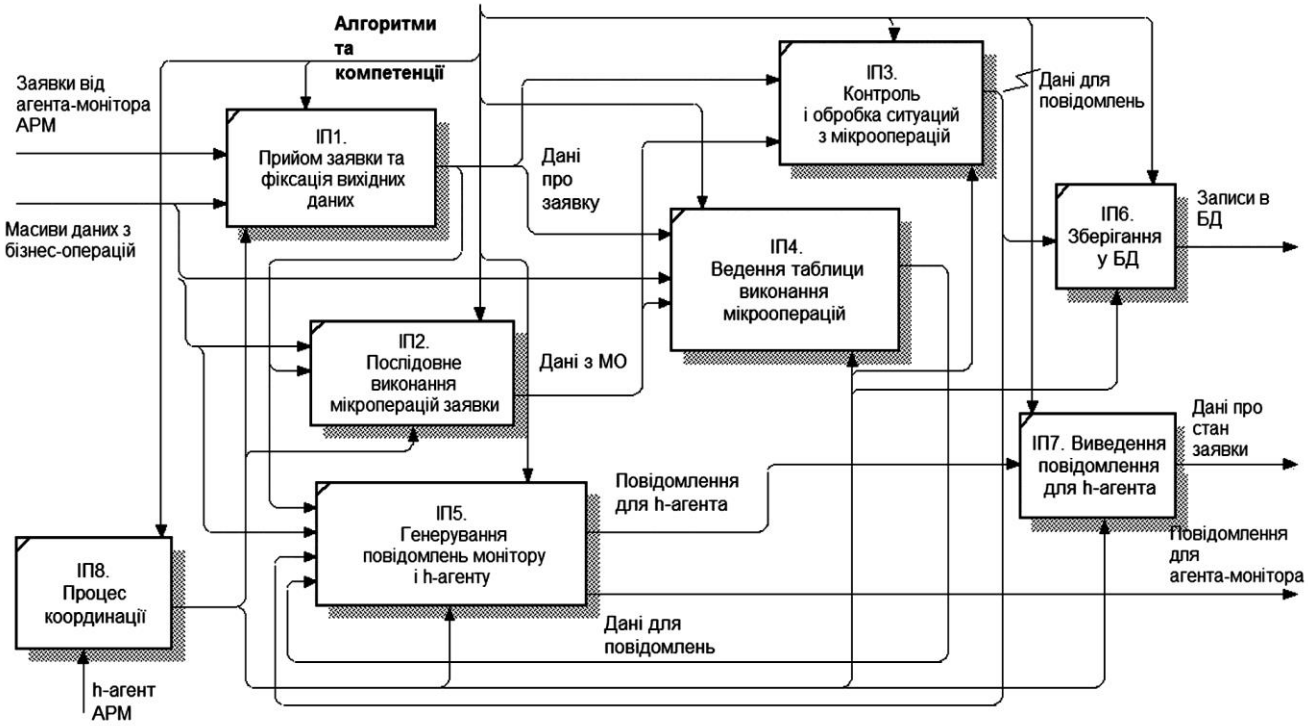

Рисунок 5.1 – Схема комплексу інформаційних процесів агента-виконавця

Агент-виконавець за термінологією, прийнятої в даній роботі, є b-агентом, тобто, ботом, який виконує під контролем користувача (h-агента) певну БО. Модель складу і структури b-агента, а також модель його компетенції розроблено в Розділі 3. Наведемо інформаційні процеси (ІП), що входять до складу даного комплексу.

ІП1. Після формування екземпляру b-агента (це функція агента-монітора) b-агент отримує таблицю обліку, де фіксує вихідні дані БО і надає для h-агента і агента-монітора (m-агента) повідомлення про початок БО із зазначенням її класу та приладдя до БП. Відповідні дані фіксуються також в таблиці обліку заявок монітора (m-агента).

ІП2. Запуск заявки на виконання. b-агент згідно з компетенцією по даній БО розгортає сценарій БО і послідовно здійснює виконання мікрооперацій (МО).

ІП3. Контроль і обробка ситуацій по МО. Виконання сценарію БО контролюється насамперед h-агентом, який отримує від b-агента повідомлення на анкетній мові у вигляді ключових словосполучень. Несвоєчасне надходження ключового словосполучення призводить до повідомлення про позаштатну ситуацію (ПС), яка розпізнається відповідно до моделей, розроблених в Розділі 4. h-агент усуває ПС і передає управління b-агенту. Якщо h-агент не в змозі усунути ПС, він відправляє повідомлення монітору і виконання заявки починається спочатку.

ІП4. Ведення таблиці виконання МО. Історія виконання МО і діалогів фіксується в таблиці виконання БО.

ІП5. Відповідно до b-компетенції виконання даної БО генеруються діалоги і повідомлення між b-агентом, m-агентом і h-агентом.

Процеси ІП6 і ІП7 забезпечують виведення повідомлень для учасників діалогу, а також фіксацію історії виконання БО в обліковій таблиці, яка після закінчення БО передається m-агенту для аналізу і обліку параметрів виконання.

Процес ІП8 реалізується ядром b-агента і забезпечує скоординоване виконання всіх описаних вище процесів.

5.2 Комплекс інформаційних процесів агента-монітора

На рис. 5.2 показана схема комплексу інформаційних процесів агента-монітора. Позначимо цей комплекс КІП2. Функції та інформаційні зв'язки монітора описані в п.п. 3.4.1. Наведемо інформаційні процеси, що входять до складу даного комплексу.

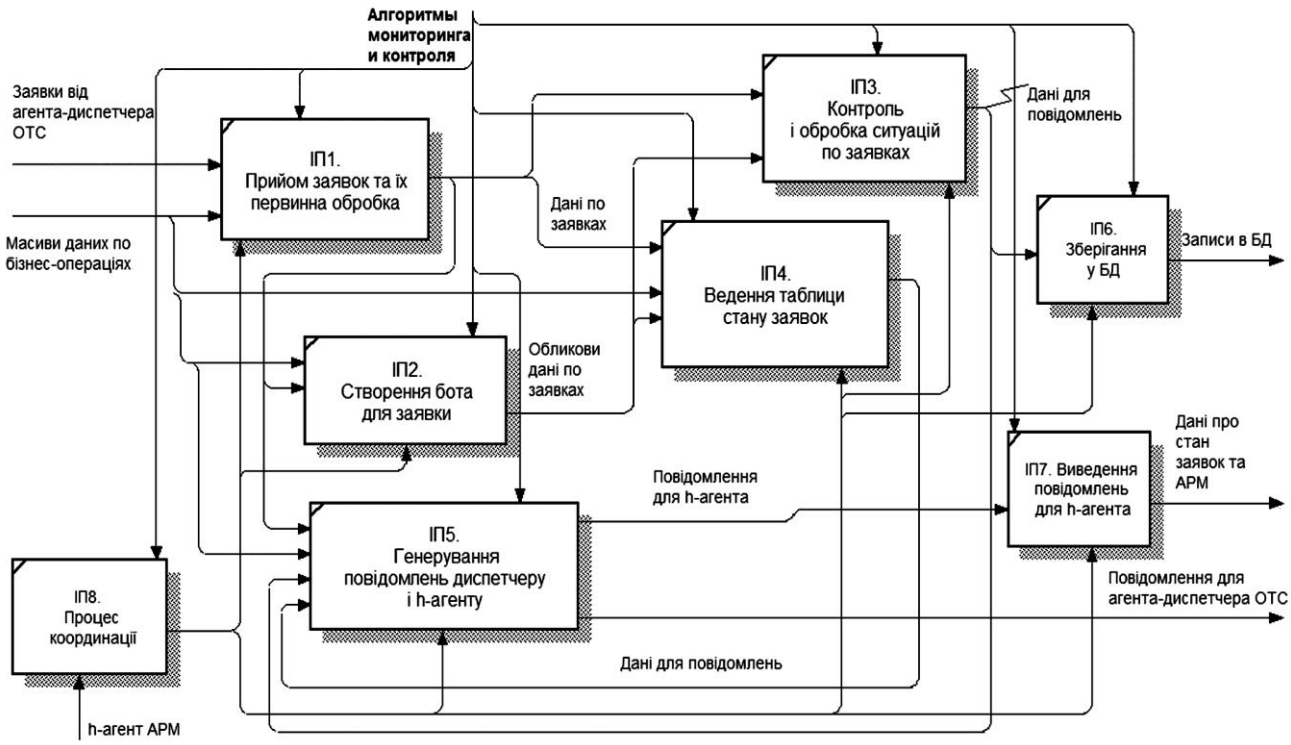

Рисунок 5.2 – Схема комплексу інформаційних процесів агента-монітора

ІП1. Прийом заявок від диспетчера і їх первинна обробка. Відповідно до маршруту, що призначив диспетчер, необхідно закріпити за заявкою місце в черзі до вибраного АРМ і зафіксувати відповідні зміни в таблиці обліку заявок. Також відбувається перевірка вихідних даних для виконання БО відповідно до її класу.

ІП2. Відповідно до класу БО необхідно сформувати b-агента (бота) з потрібною b-компетенцією. Компетенції у вигляді сукупності таблиць ключових слів і сценаріїв зберігаються в репозиторії. Відбувається стикування нового екземпляра ядра бота з компетенцією. Після цього новому b-агенту передаються вихідні дані заявки на виконання БО. b-агент починає виконання заявки.

ІП3. Контроль і обробка ситуацій за заявками. Даний інформаційний процес підлягає декомпозиції, тому що являє собою практично самостійний комплекс інформаційних процесів. Інформаційні процеси контролю і діагностики на рівні монітора і диспетчера розглянуті окремо.

ІП4. Ведення таблиці стану заявок. В даній таблиці враховуються: ідентифікатор АРМ; номер БО за порядком у таблиці; місце заявки у черзі; клас БО; посилання на опис БО, включаючи необхідну компетенцію b-агента; номер БП; номер БО в БП; поточний стан заявки (чекає обробки; обробляється; обробку заявки закінчено); поточний час очікування заявки; вартість очікування з урахуванням ціни для даної БО; час початку обробки заявки; час закінчення обробки заявки.

ИП5. Генерування повідомлень диспетчеру і h-агенту. Для генерування повідомлень застосовується модель взаємодії (3.39) – (3.40), яка описана у п.п. 3.4.3, таблиці комунікацій 3.1...3.3, а також ключові слова, що відповідають аспектам БО.

Процеси ІП6 та ІП7 забезпечують виведення повідомлень для учасників діалогу, а також фіксацію історії виконання БО в обліковій таблиці агента-монітора, яка після закінчення БО передається диспетчеру для аналізу і обліку параметрів виконання.

Процес ІП8 реалізується ядром m-агента і забезпечує скоординоване виконання всіх описаних вище процесів.

5.3 Комплекс інформаційних процесів диспетчеризації

На рис. 5.3 показано схему комплексу інформаційних процесів диспетчеризації (КІП3). Функції та інформаційні зв'язки монітора описано у п.п.3.4.2. Опишемо інформаційні процеси, що входять у склад даного комплексу.

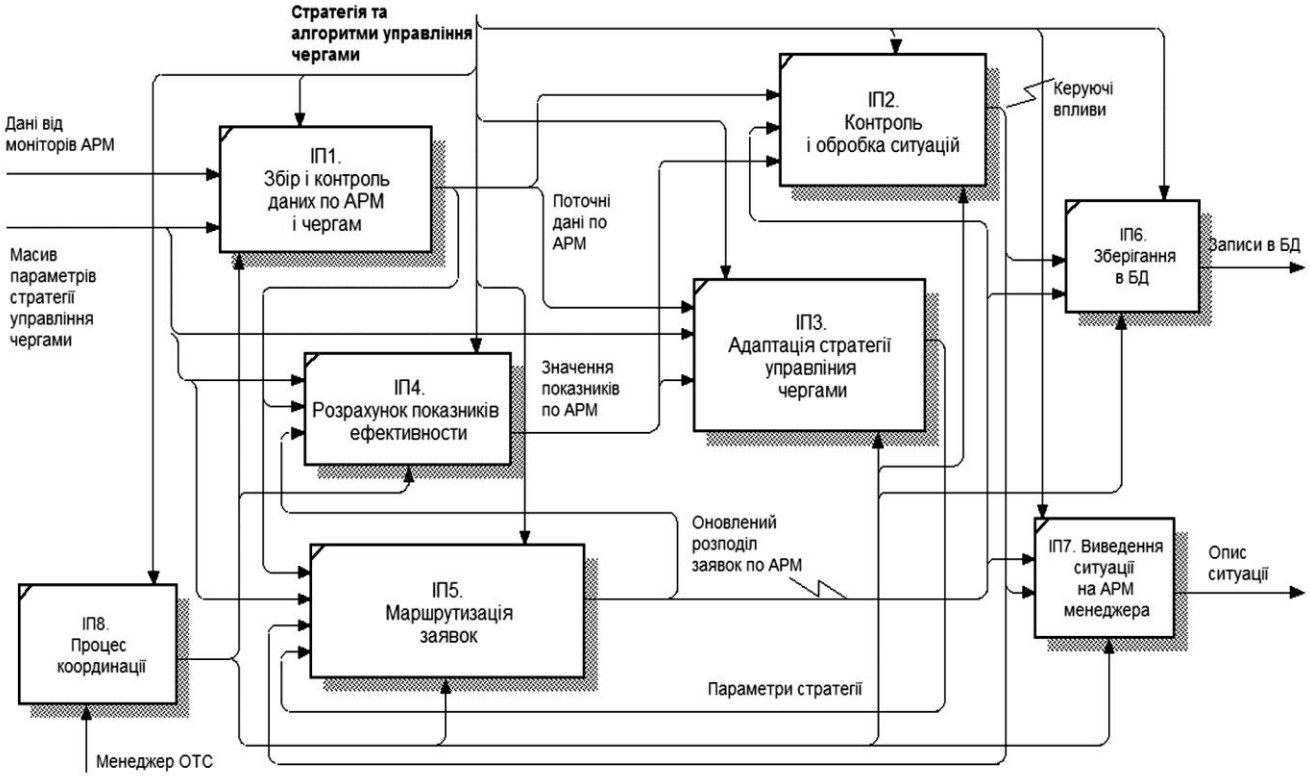

Рисунок 5.3 – Комплекс інформаційних процесів диспетчеризації

ІП1. Збір і контроль даних по АРМ і чергам. Дані по чергам і стану АРМ збирають монітори. Диспетчер узагальнює ці дані у таблицях, які містять таки поля: номер АРМ за порядком; номер агента-монітора; код людини-виконавця; стан *n*-го АРМ (зупинка, обробка заявки, несправний); час фіксації виходу з ладу; час простою АРМ; кількість заявок що оброблено на *n*-му АРМ. У таблиці обліку черг зберігаються таки дані: номер АРМ (визначає номер черги); номер заявки по черзі; номер БО в БП; ціна затримки БО; поточній час очікування заявки; прапор останньої БО в БП; ознака приналежності до групи риску за ціною затримки; поточна кількість заявок у черзі до *n*-го вузла; поточна вартість

затримки у черзі.

Таблиця обліку бізнес-процесів містіть таки поля: номер БП за порядком; посилання на таблицю опису БП; стан БП (очікує, виконується, перервано, закінчено); ціна затримки БП. Ця ціна розподіляється між БО пропорційно нормованому часу їх виконання; сумарна поточна витрата часу на виконання БП; поточна вартість затримки виконання.

Таблиця виконання БП містіть таки поля: ідентифікатор БП; номери БО у даному БП; номери БО, що виконуються паралельно.

ІП2. Контроль і обробка ситуацій. Цей процес є складним і він розглядається далі окремо.

ІП3. Адаптація стратегії управління чергами. Цей процес також є складним і розглядається далі окремо.

ІП4. Розрахунок показників ефективності. Загальний алгоритм визначення часових показників ефективності ОТС наведено у підрозділі 3.2.4. Для визначення тих показників на попередніх етапах фіксуються:

– підсумковий розподіл АРМ по БП;
– підсумковий розподіл заявок по АРМ;
– підсумки часових затримок по кожний заявці на кожному АРМ;
– підсумки часових затримок по кожному АРМ в кожному БП;
– максимально допустимі затримки в кожному БП;
– реальні сумарні витрати часу на обробку заявок по кожному БП.

Розрахунку підлягають: середнє за контрольний період число заявок в чергах; середній час очікування; втрати очікування; ступінь завантаженості АРМ.

ІП5. Маршрутизація заявок. Для маршрутизації заявок розроблено моделі, метод та адаптивну стратегію, яка передбачає вибір оптимальних значень порогів відбору заявок по вартості затримки і по рівню компетентності співробітників. При зміні режиму роботи системи відбувається адаптивне регулювання значень зазначених порогів, що дає можливість при різних розподілах інтенсивностей вхідних потоків вибрати найкращі умови

багатофазного обслуговування і знизити втрати очікування. Процес адаптації стратегії розглянуто далі окремо.

Процеси ІП6 і ІП7 забезпечують виведення повідомлень для учасників діалогу, а також фіксацію історії виконання БП в облікових таблицях. Процес ІП8 забезпечує скоординоване виконання всіх описаних вище процесів.

5.4 Комплекс інформаційних процесів адаптації стратегії управління чергами

Стратегія управління чергами в ОТС, адаптується за рахунок обліку в якості ознак ступені зміни потоку неоднорідних заявок, ступені компетентності виконавців, ступені завантаження агентів-виконавців, що дозволяє реалізувати процес структурної адаптації ОТС до мінливого оперативного стану. Схему відповідного комплексу процесів (КІП4) показано на рис. 5.4.

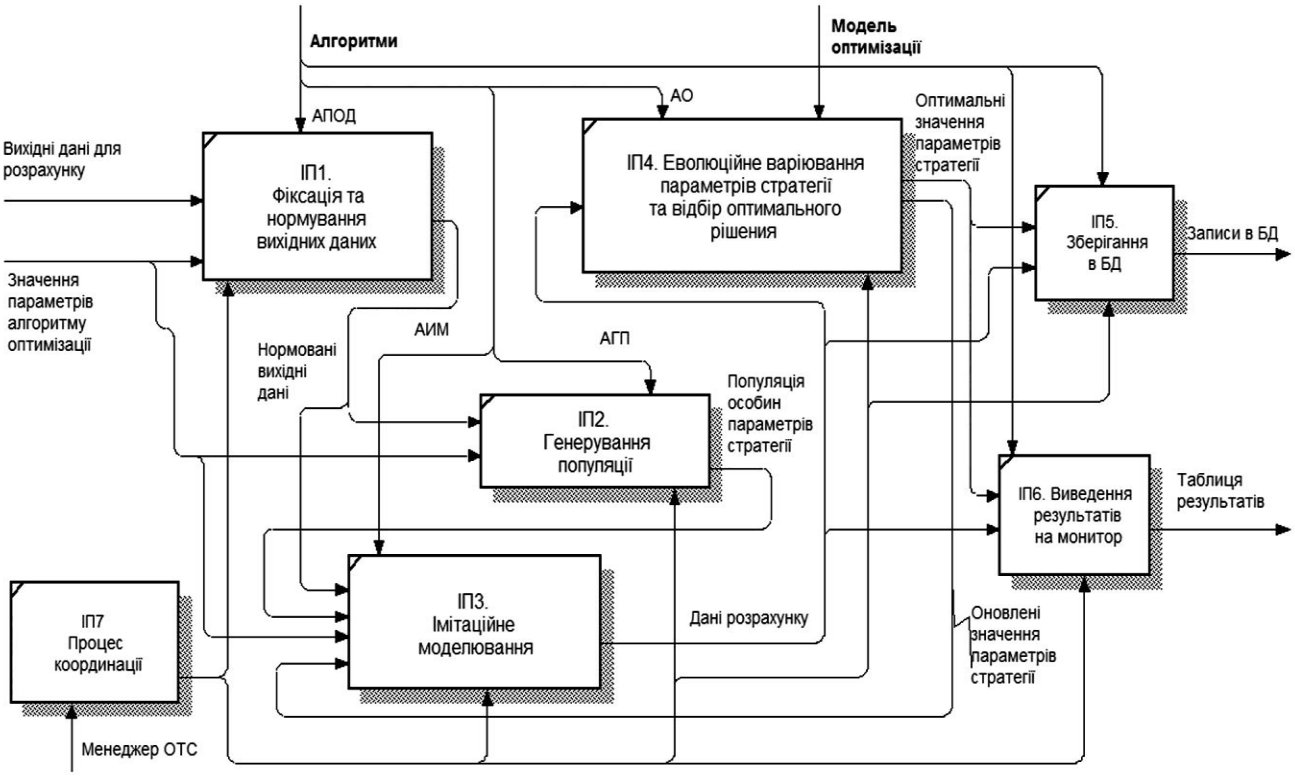

Рисунок 5.4 – Схема взаємозв’язку процесів адаптації стратегії управління чергами

Розглянемо інформаційні процесі адаптації, які зв’язані з процесами

диспетчеризації.

ІП1. Фіксація та нормування вихідних даних. Вихідні дані надходять від процесів маршрутизації, де відбувається динамічній розподіл заявок між АРМ. Це середнє за контрольний період число заявок в чергах; середній час очікування; втрати очікування; ступінь завантаженості АРМ. З урахуванням мінливості режиму роботи ОТС необхідно нормувати отримані дані відповідно до поточних максимальних значень основних параметрів на дану робочу зміну.

Окремо від аналітика ОТС надходять значення параметрів еволюційного алгоритму оптимізації стратегії. Вектор параметрів містіть:

– кількість членів популяції;
– кількість реалізацій в імітаційній моделі;
– кількість претендентів в еліту;
– коефіцієнт зменшення меж для уточненого пошуку екстремуму;
– кількість пробних точок у вузьких межах уточненого пошуку лідера популяції рішень.

ІП2. Генерування популяції пар значень параметрів стратегії. Алгоритм генерування не є складним. Він реалізує циклічне випадкове генерування значень параметрів у заданих межах, з урахуванням поточних значень зазначених вище параметрів налаштування алгоритму оптимізації.

ІП3. Імітаційне моделювання. Для розрахунку значень цільової функції, яка визначає найкращі значення параметрів стратегії, застосовується імітаційна модель. Як було зазначено у розділі 4, для імітаційного моделювання процесу багатофазного обслуговування і формування маршрутів заявок задаються імовірнісні розподіли потоку надходження БП, значення компетентностей співробітників, часові обмеження на виконання заявок різних типів, відносні ціни затримок БО, характерні для даної ОТС. Результат – масив значень цільової функції.

ІП4. Еволюційне варіювання значень параметрів стратегії та відбір оптимального рішення. Опис алгоритму даного процесу детально описано у

розділі 4. Результат – пара оптимальних значень параметрів стратегії.

Процеси ІП5 та ІП6 забезпечують формування таблиці результатів оптимізації. Ця таблиця застосовується для пошуку кращих значень параметрів стратегії, якщо відомі поточні значення вхідних даних з аналізу ситуації в ОТС. Процес ІП7 координує усі процеси, що описані вище.

5.5 Комплекси інформаційних процесів контролю і діагностики на рівні монітора і диспетчера та схема інформаційної технології

Процеси контролю та діагностики виконання БО (рівень монітора) і БП (рівень диспетчера) мало відрізняються структурно. Схеми комплексів ІП показані на рис. 5.5 і 5.6. Ці комплекси позначимо КІП5 та КІП6. Моделі контролю та діагностики (перетворення даних в ознаки ситуацій та розпізнавання ситуацій на рівні монітора та диспетчера) описано у розділі 4. Коротко опишемо послідовність інформаційних процесів.

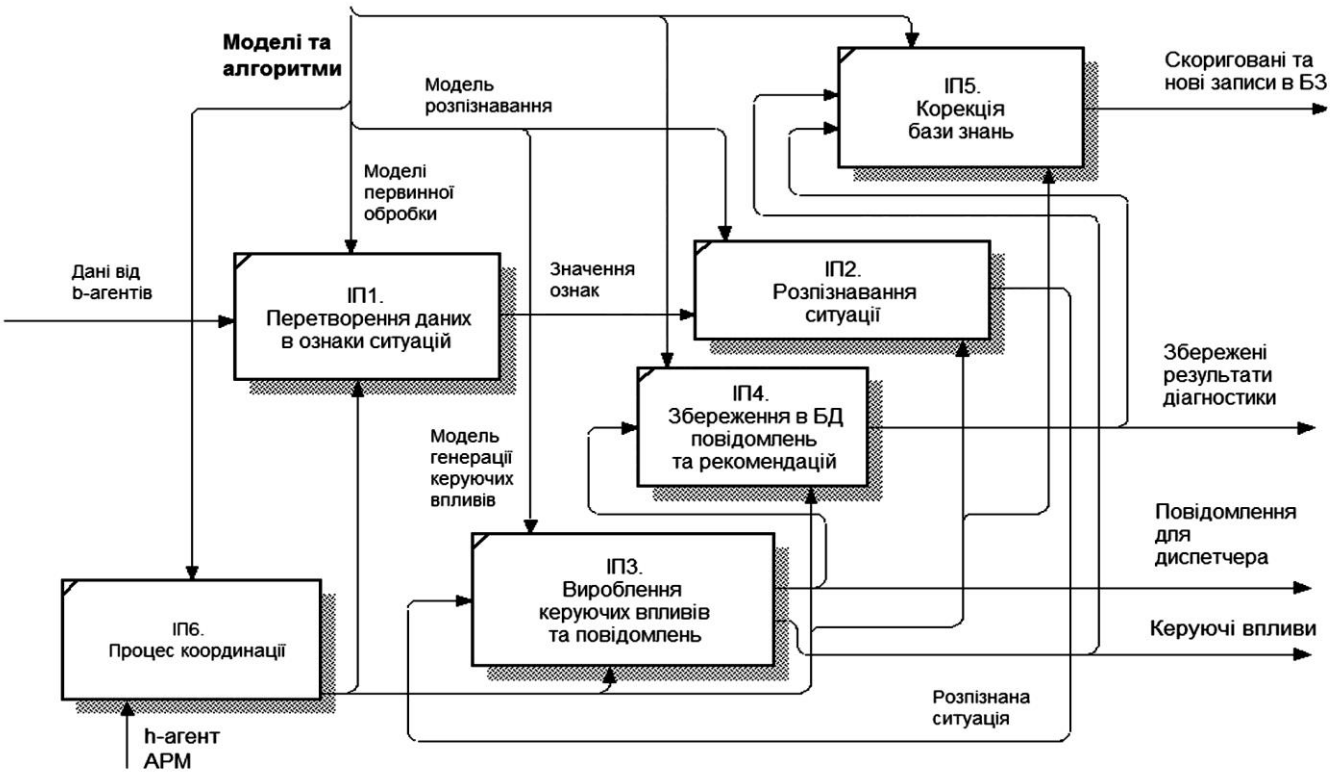

Рисунок 5.5 – Схема взаємозв’язку процесів контролю та діагностики на рівні монітору

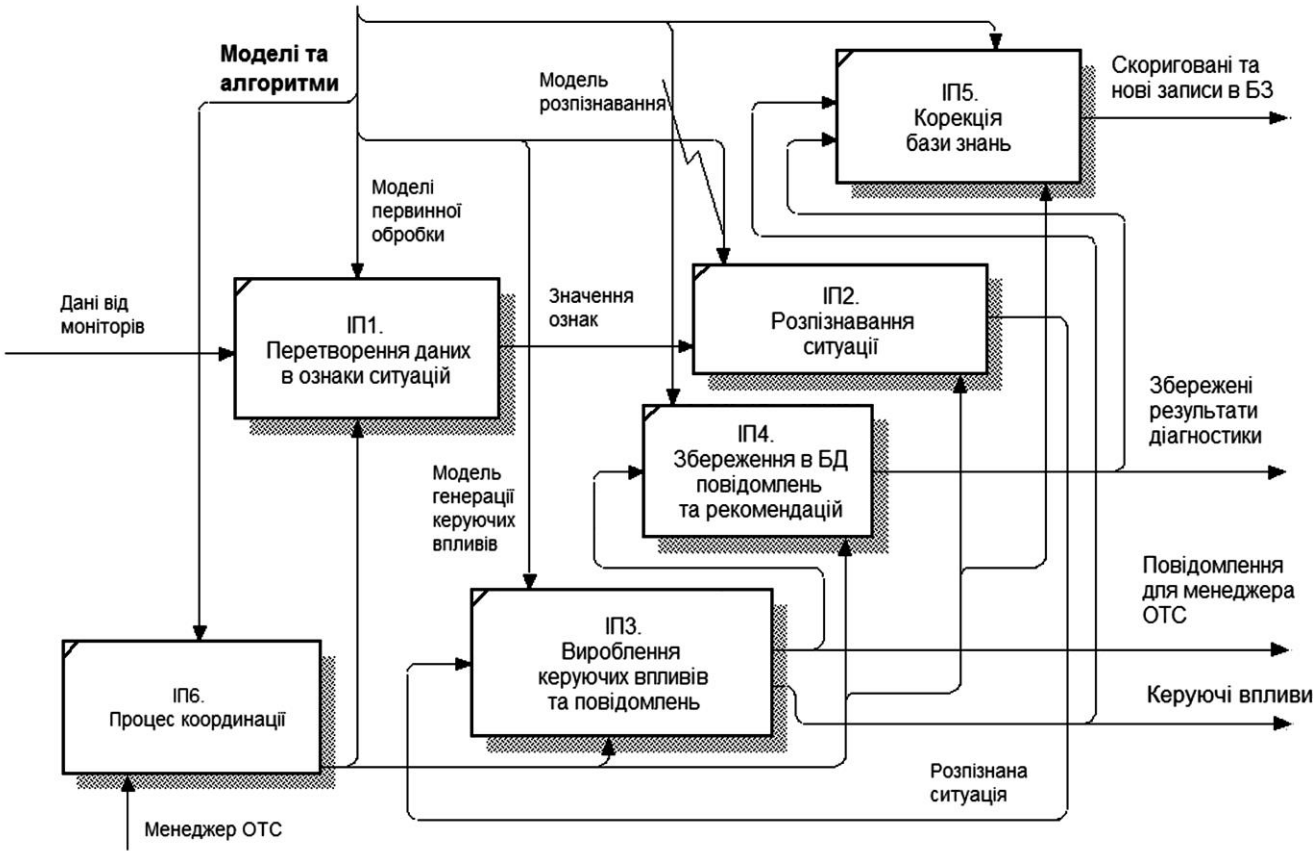

Рисунок 5.6 – Схема взаємозв’язку процесів контролю та діагностики на рівні диспетчера

ІП1. Перетворення даних в ознаки ситуації. Ознаками ситуації є таки події: затримка у часі виконання БО більше граничного значення; спотворено вхідні дані; помилка в результатах БО; довжина черги до певного АРМ перевищує граничне значення. Для отримання тих ознак монітор збирає дані за певний період часу.

ІП2. Розпізнавання ситуації. Для розпізнавання ситуації застосовується таблиця 4.1. та вираз (4.5).

ІП3. Вироблення керуючих впливів та повідомлень. Відповідно до результатів розпізнавання приймаються таки рішення: D1 – ситуація штатна; D2 – повторити БО з початку; D3 – повторити ввід вихідних даних.

ІП4. Збереження в базі даних повідомлень та керуючих впливів. Цей процес не потребує роз’яснень.

ІП5. Корекція бази знань. В разі появи нової ситуації або нових ознак аналітик ОТС коректує таблиці бази знань щодо розпізнавання ситуацій.

ІП6. Процес координації. Вище, при опису інших комплексів цей процес вже було пояснено.

Комплекс КІП6 щодо контролю та діагностики на рівні диспетчера (рис. 5.6) виглядає аналогічно, з тою різницею, що у ньому застосовуються інші таблиці та вирази моделі розпізнавання, яку описано у розділі 4.

Сукупність описаних комплексів інформаційних процесів утворює схему методологічно обґрунтованої інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в організаційно-технічній системі. В основі технології лежить стратегія управління чергами, опис якої подано в розділі 4. Стратегію реалізує і адаптує агент-диспетчер. Загальна схема інформаційної технології показана на рис. 5.7.

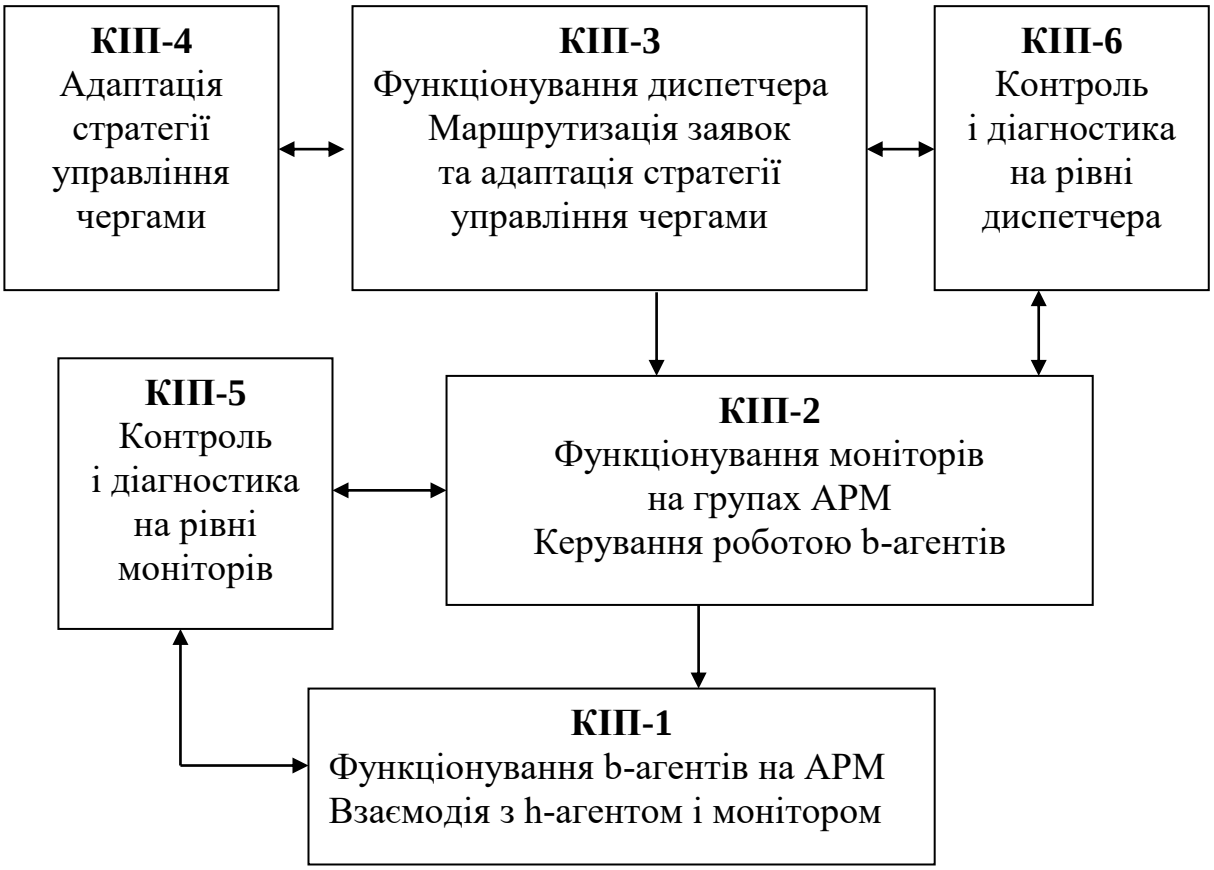

Рисунок 5.7 – Загальна блок-схема інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС

Висновки до розділу 5

Отримала подальший розвиток методологічно обґрунтована інформаційна технологія динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС, в яку 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. Це дає можливість комплексної автоматизації процесів в організаційно-технічних системах та підвищення ефективності праці в цілому.

Основні наукові результати розділу 5 опубліковано в роботах [3], [7], [9], [26], [27].

РОЗДІЛ 6
РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДИНАМІЧНОГО РОЗПОДІЛУ ВИКОНАВЧИХ РЕСУРСІВ

Шостий розділ дисертаційної роботи присвячений розробці і дослідженню ефективності комплексу програмних засобів системи моніторингу і диспетчеризації бізнес-процесів (СМД) що реалізують розроблені методи, моделі та інформаційну технологію.

6.1 Розробка архітектури системи моніторингу і диспетчеризації бізнес-процесів

6.1.1 Комплекси функціональних задач системи моніторингу і диспетчеризації

На попередньому етапі синтезу всіх необхідних функціональних компонентів системи моніторингу і диспетчеризації бізнес-процесів представимо систему кортежом:

$$M_{\text{СМД}} = \langle F, КЗ, R \rangle, \qquad (6.1)$$

де F – функціональні підсистеми СМД, $КЗ$ – комплекси що забезпечують; R – відносини, що зв'язують елементи СМД в єдину структуру. Деталізуючи зміст (6.1) отримаємо:

$$M_{\text{СМД}} = \langle F(DS, MS, ES), IK, KK((Q_B, Q), MM, AK, ПК, ОрК, R_1, R_2, R_3 \rangle, \qquad (6.2)$$

де DS – підсистема диспетчеризації бізнес-процесів; MS – підсистема моніторингу процесів виконання бізнес-операцій; ES – підсистема виконання бізнес-операцій (рис. 6.1); IK – інформаційний комплекс – бази даних значущих технологічних параметрів, база знань про ситуації, бази компетенцій, що необхідні для виконання БО; KK – комплекс критеріїв якості, де Q_B, – множина показників якості БП; Q – множина показників якості і ефективності ОТС; MM –

комплекс математичних моделей, які застосовуються для вирішення задач диспетчеризації і моніторингу; *АК* – комплекс алгоритмів вирішення задач диспетчеризації і моніторингу; *ПК* – комплекс інструментальних програмних засобів, що реалізують функціональні задачі СМД;

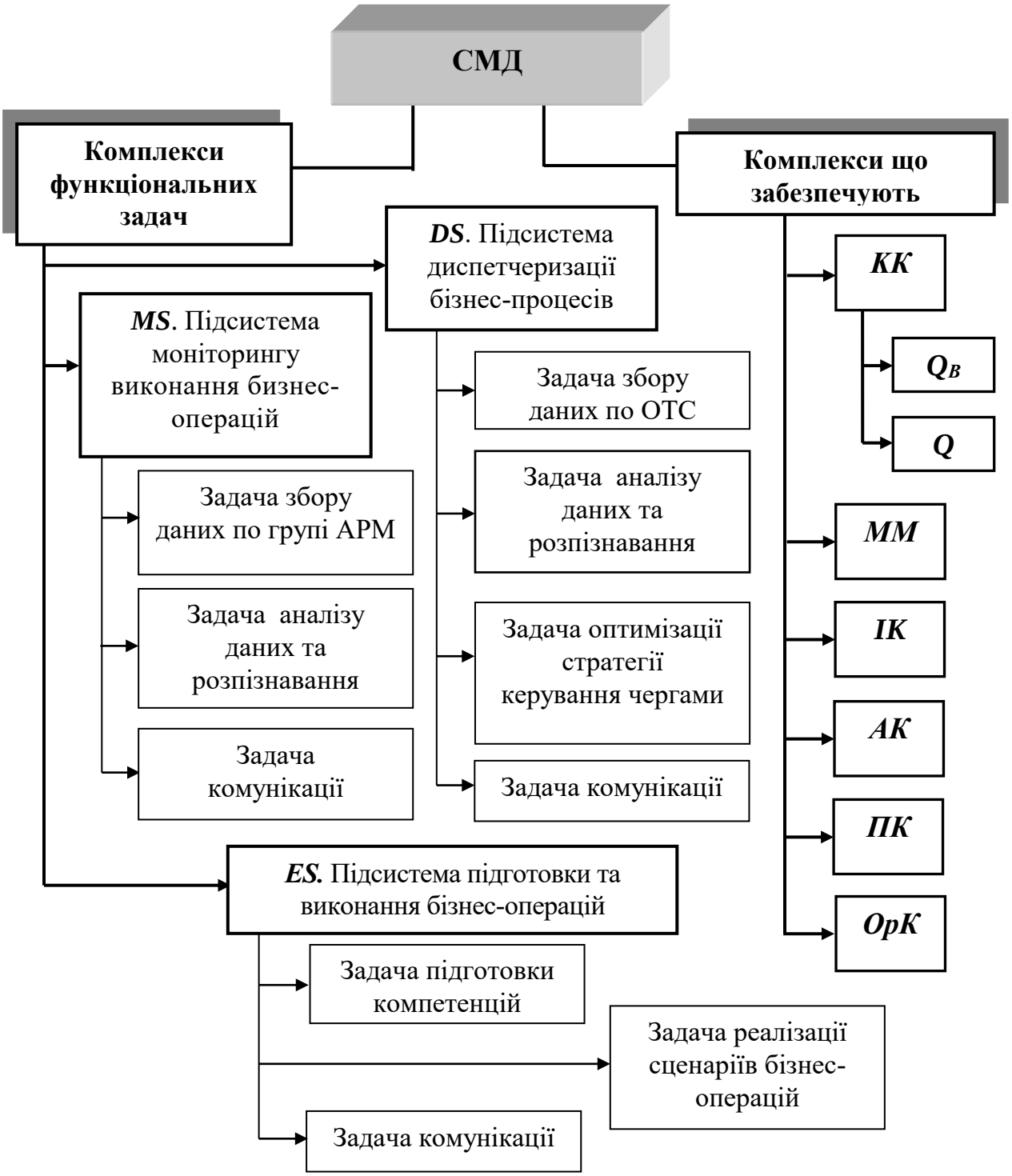

Рисунок 6.1 – Комплекси функціональних задач і комплекси що забезпечують

ОрК – організаційний комплекс СМД, тобто організаційні принципи і документи,

що регламентують виконання і контроль бізнес-процесів;

$R1 \subseteq Q_M \times Q$ – відображення множини параметрів якості виконання БП на множину параметрів якості функціонування ОТС; $R2 \subseteq MM \times F$ – розподіл моделей по підсистемах; $R3 \subseteq F \times Q_M$ – відношення впливу функціональних підсистем на якість бізнес-процесів.

Коротка характеристика комплексів функціональних задач СМД.

1. Комплекс задач підсистеми диспетчеризації бізнес-процесів призначений для забезпечення оптимального управління чергами бізнес-операцій і бізнес-процесів шляхом збору та аналізу даних, що надходять від підсистеми моніторингу, розпізнавання ситуацій і вжиття заходів щодо усунення нештатних і критичних ситуацій, що виникають в процесі виконання бізнес-процесів.

До комплексу входять наступні задачі:

– збір даних по ОТС від агентів-моніторів;
– аналіз даних і розпізнавання ситуацій;
– маршрутизація заявок на виконання бізнес-операцій;
– оптимізація стратегії управління чергами;
– комунікація з менеджером ОТС і агентами-моніторами.

Комплекс задач вирішується безпосередньо в мережі ОТС. Тривалість вирішення завдань обумовлена реальним часом виконання бізнес-процесів. Періодичність вирішення завдань визначається інтенсивністю надходження заявок на виконання БП і тактовою частотою контролю стану АРМ і черг. Тактова частота залежить від особливостей предметної області, в якій функціонує ОТС. Автоматизоване рішення задач може бути припинено за бажанням менеджера ОТС.

У процесі вирішення даного комплексу задач підсистема диспетчеризації пов'язана інформаційними потоками з підсистемою моніторингу виконання БО (*MS*).

Інформація про режими роботи АРМ (довжина черг, ступінь завантаження,

критична ситуація і т.п.) обробляється в DS, яка генерує в разі необхідності повідомлення та рекомендації для менеджера ОТС.

Вхідний інформаційний потік комплексу задач містить:

а) Вхідні дані бізнес-процесів, в тому числі склад і послідовність БО, класи БО, поточну ціну затримки БП і т.п.

б) Поточні дані про параметри стратегії управління чергами.

в) Поточні дані, отримані від моніторів АРМ, в тому числі логи кожної БО, що містять відомості про протікання БО і критичні ситуації, дані про довжину черг і стани АРМ.

Вихідний інформаційний потік комплексу задач містить масиви значень ступеня завантаження кожного АРМ, дані про завершені БП, значення критеріїв ефективності по кожному БП.

2. Комплекс задач моніторингу виконання БО призначений для забезпечення надійного функціонування АРМ при виконанні БО та інформаційної підтримки диспетчера, який здійснює управління чергами в ОТС. До комплексу входять наступні задачі:

– збір даних, що відображають процеси виконання БО на групі АРМ, що підпорядковані певному монітору;
– аналіз даних, прогноз та розпізнавання ситуацій при виконанні БО;
– комунікація з диспетчером, ботами, які виконують БО, і користувачами АРМ.

Комплекс задач вирішується безпосередньо в мережі ОТС.

Періодичність і тривалість вирішення задач і умови, при яких припиняється розв'язання комплексу завдань, повністю збігаються з умовами, сформульованими для комплексу задач №1.

У процесі вирішення другого комплексу задач кожен монітор є одержувачем даних від ботів, що виконують БО, і користувачів АРМ. Інформація про виконання БО систематизується, обробляється і передається диспетчеру ОТС. Диспетчер ОТС передає монітору заявку на виконання БО

по конкретному БП і необхідні дані, включаючи номер компетенції і норми часу виконання кожного етапу БО.

Таким чином, вхідний інформаційний потік комплексу задач містить:

– набори вихідних даних за заявками та оновлені списки чергових заявок з урахуванням пріоритетів;
– логи виконання кожної БО на підконтрольних АРМ.

Вихідний інформаційний потік містить:

– масиви даних, що відображають процеси виконання БО;
– повідомлення для користувачів АРМ.

3. Комплекс задач підготовки та виконання бізнес-операцій призначений для підготовки, безпосереднього прийому, виконання та передачі результатів виконання кожної БО. У комплекс задач входять:

– підготовка компетенцій для нових бізнес-операцій;
– реалізація сценаріїв бізнес-операцій;
– комунікація з користувачем АРМ, монітором та системою електронного документообігу.

Комплекс задач вирішується на АРМ аналітика, АРМ співробітників ОТС і в мережі ОТС. Періодичність вирішення задач визначається інтенсивністю потоку заявок на виконання БО. Тривалість вирішення задач залежить від обсягу БО, характеру предметної області та специфіки бізнес-логіки ОТС. Рішення комплексу задач можливо тільки автоматизованим способом.

У процесі вирішення даного комплексу задач беруть участь аналітик, користувач АРМ, бот, який має відповідну компетенцію, і програмний агент-монітор АРМ. Процес підготовки компетенцій не пов’язаний безпосередньо з виконанням БО і здійснюється окремо від потоку БП і БО.

Процес виконання БО ініціює агент-монітор, який відстежує рух черги заявок. Чергова заявка, що надходить на обслуговування, містить всі необхідні вихідні дані, включаючи клас БО і результати виконання однієї

або декількох попередніх БО даного БП. Монітор, відповідно до класу БО, створює екземпляр бота і прикріплює до нього компетенцію даної БО. Користувач АРМ сповіщається про можливий початок виконання БО. Якщо користувач дає згоду, починається виконання сценарію БО.

Під час виконання сценарію БО бот здійснює мікрооперації (МО), кожна з яких описана в сценарії БО. Кожній МО відповідає набір ключових слів. Цей набір містить ключові слова, що позначають дії бота і інших ролей, які беруть участь в БО. Серед ключових слів є слова, що супроводжують штатне виконання БО, слова, що пов'язані з критичними ситуаціями, і, крім того, слово, що виражає головний аспект МО. Завдяки наявності аспектних слів полегшується діагностика ситуацій на рівні БО.

Зв'язок з підсистемою моніторингу. Якщо діагностовано критичну ситуацію, користувач отримує повідомлення і миготливий колірний сигнал. Монітор фіксує ситуацію і приймає одне з декількох рішень щодо виходу з ситуації. Після закінчення виконання БО монітор фіксує лог операції і передає його диспетчеру.

Вхідний інформаційний потік комплексу задач формується з вихідних даних і позначення класу БО.

Вихідний інформаційний потік комплексу задач містить дані про результати БО. Ці результати можуть мати різний формат, в залежності від характеру БО.

В інформаційне забезпечення СМД входять:

1. Комплект нормативних документів, що регламентують виконання перерахованих вище комплексів задач.

2. Бази даних бота, монітора, диспетчера, що містять весь комплекс даних про бізнес-процеси, бізнес-операції, норми часу, режими роботи АРМ і результати виконання БП, включаючи показники ефективності.

3. Бази знань, що дозволяють діагностувати ситуації на рівні монітора і диспетчера, а також зберігають b-компетенції для виконання БО.

У математичне забезпечення СМД входять:

1. Комплекс моделей, призначених для вирішення задач моніторингу

виконання БО, включаючи розпізнавання ситуацій і прийняття рішень.

2. Комплекс методів і моделей, призначених для управління чергами заявок на виконання БО, включаючи розпізнавання ситуацій і прийняття рішень.

3. Комплекс методів і моделей для оптимізації стратегії управління чергами та імітаційного моделювання.

Програмне забезпечення СМД є комплексом програмних засобів, який реалізує рішення задач, перерахованих вище.

В технічне забезпечення СМД входить комплекс мережевого обладнання і робочих станцій.

Організаційне забезпечення СМД – це організаційні засади здійснення задач, що описані вище.

6.1.2 Загальна структура системи моніторингу і диспетчеризації

Загальна структура СМД показана на рис. 6.2.

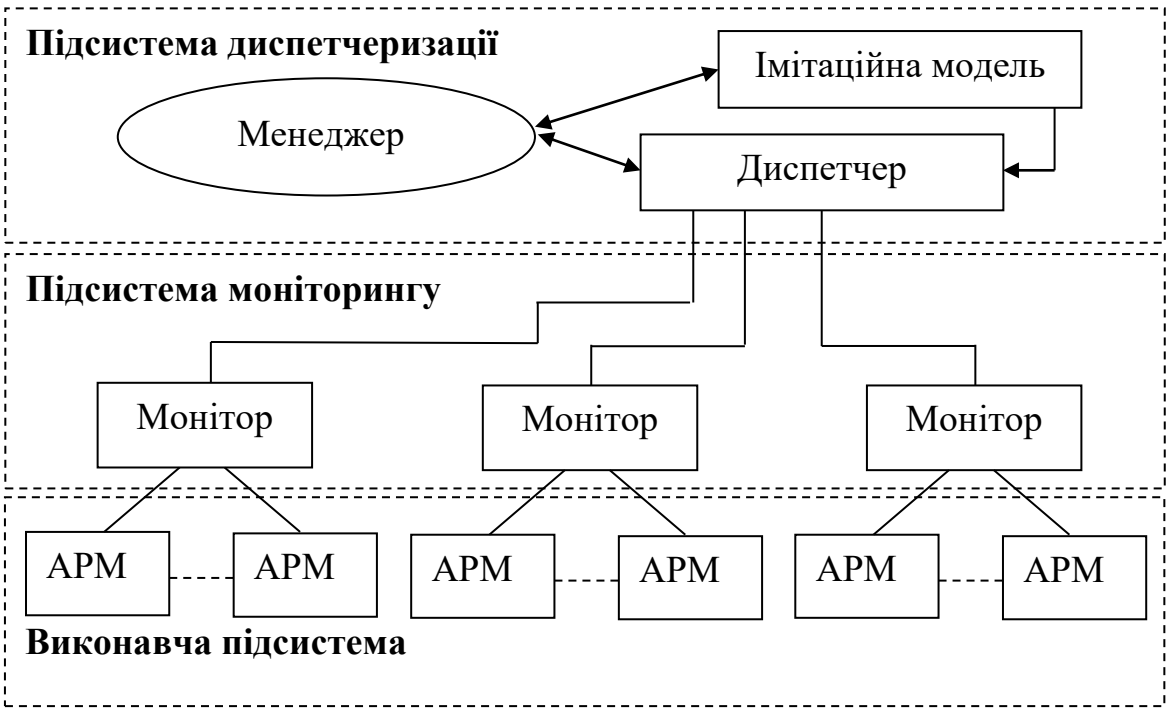

Рисунок 6.2 – Загальна структура системи диспетчеризації та моніторингу

СМД реалізована як трирівнева. Основою нижнього рівня є комплекс робочих станцій ОТС, тобто сукупність АРМ та мережеве обладнання. Всі АРМ враховані, як вузли мережі масового обслуговування. Кожен співробітник – користувач АРМ, врахований в базі даних як володар набору компетенцій, необхідних для виконання певних класів БО. Деяку підмножину БО виконують програмні агенти нижнього рівня – боти. При цьому співробітники контролюють проміжні і кінцеві результати БО через інтерфейс бота. Кожен співробітник в межах своїх компетенцій може одночасно контролювати від однієї до 3-х БО. Структура підсистеми підготовки та виконання БО показана на рис. 6.3

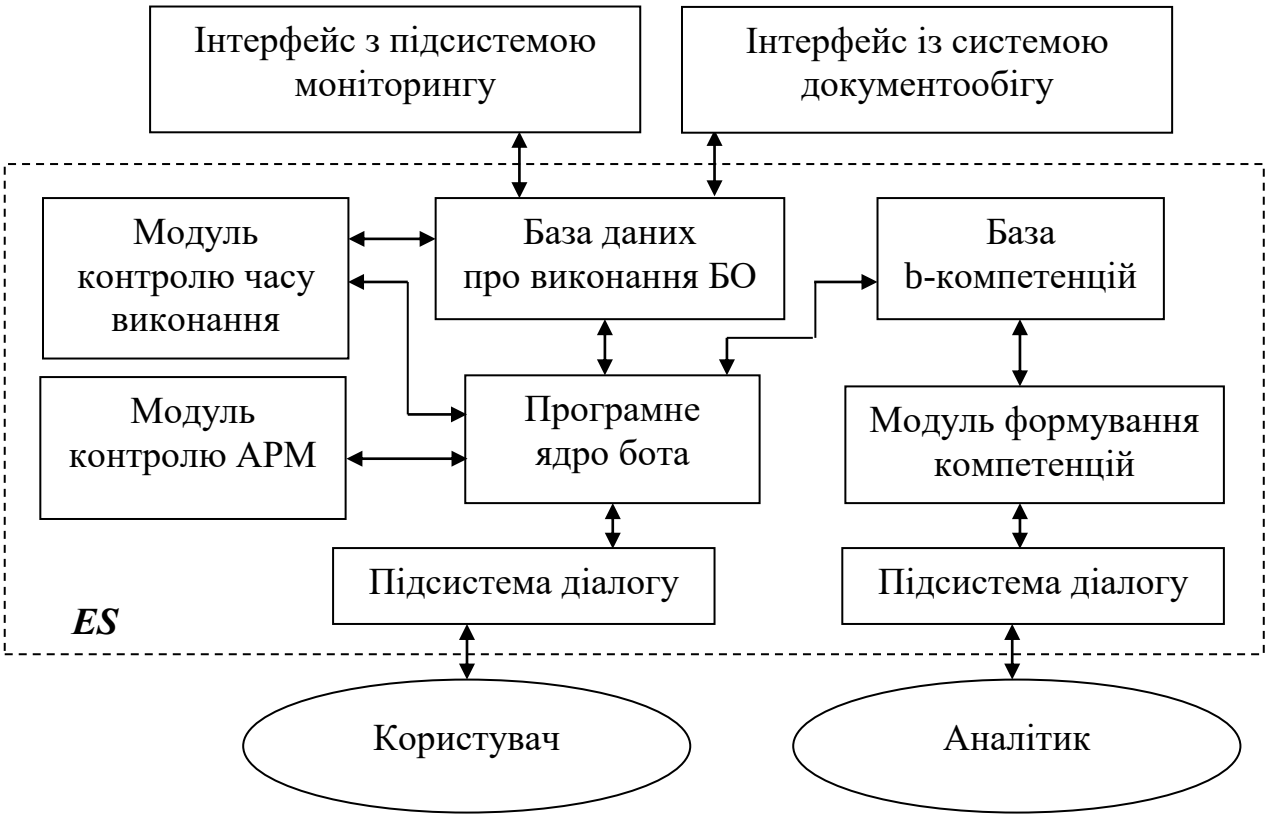

Рисунок 6.3 – Структура підсистеми підготовки та виконання БО

Другий рівень СМД утворює підсистема моніторингу. Структура підсистеми показана на рис. 6.4. Програмні агенти-монітори є проміжною ланкою між модулем диспетчеризації, ботами та h-агентами. Кожен монітор працює з групою АРМ. 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.

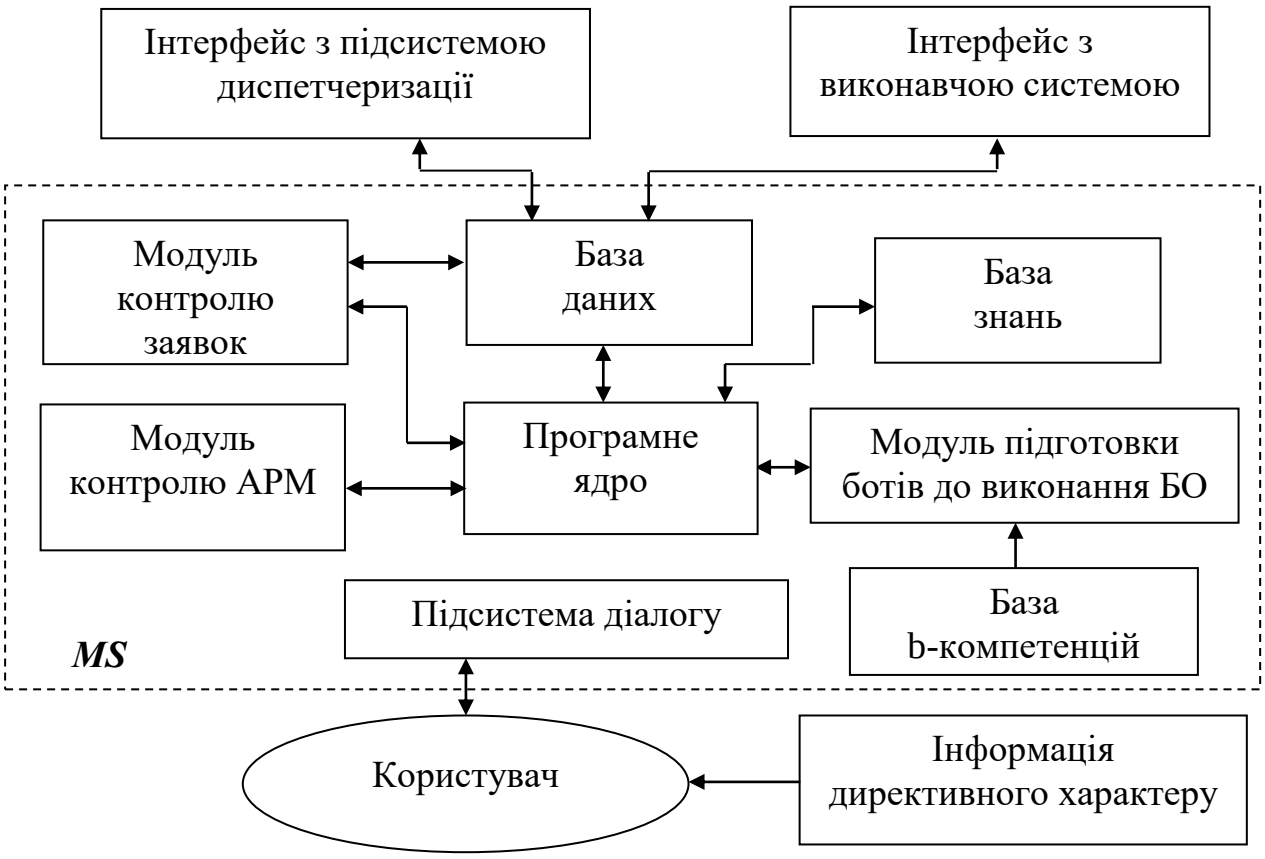

Рисунок 6.4 – Структура підсистеми моніторингу

Монітор веде таблицю стану всіх заявок, приписаних АРМ, що знаходяться в його підпорядкуванні. Під час виконання БО бот формує лог, в якому зазначається час виконання кожної мікрооперації, ключове слово-аспект, і ситуаційні ключові слова. Після закінчення БО, її лог фіксує монітор і формує звіт для диспетчера. Якщо в процесі виконання БО виникла позаштатна ситуація, її діагностує монітор або користувач. В обох випадках в лог-файлі фіксуються номер мікрооперації і відповідні ключові слова. За командою користувача монітор може призупинити виконання БО або повторити її виконання.

Третій рівень СМД – це диспетчерська служба. Структура підсистеми диспетчеризації (*DS*) показана на рис. 6.5. Підсистема містить всі необхідні функціональні вузли, включаючи базу даних, базу знань, модуль розрахунку ефективності, модуль імітаційного моделювання, модуль оптимізації стратегії і програмне ядро підсистеми.

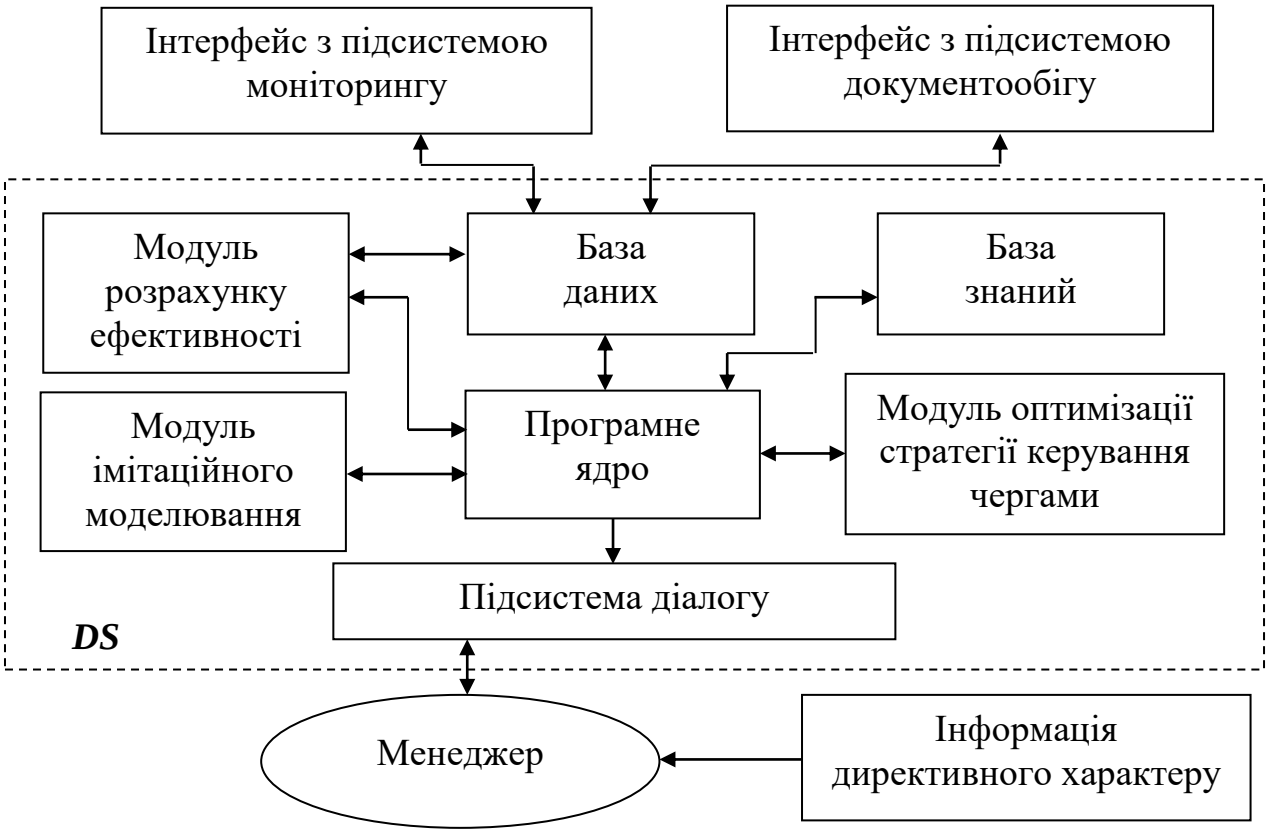

Рисунок 6.5 – Структура підсистеми диспетчеризації

Диспетчер здійснює зв'язок між менеджером ОТС і підсистемою моніторингу. У його функції входить формування та контроль черги БП і ранжування цієї черги за вартістю затримок. Крім того, диспетчер контролює стан всіх черг заявок на виконання БО. Диспетчер формує заявки і розсилає їх моніторам із зазначенням БП, етапу, вихідних даних, необхідних результатів і номера АРМ.

Крім того, відбувається ранжування заявок в чергах за вартістю затримок, розрахунок показників ефективності окремих БО і БП в цілому з використанням норм часу, цін затримок і норм оплати часу h-агентів.

При взаємодії з підсистемою моніторингу здійснюється ведення бази даних моніторингу роботи АРМ, включаючи стани заявок, прапори початку і закінчення процесу виконання БО, прапори припинення, прапори повторного виконання, прапори закінчення черги, позначки часу і періоди часу виконання по кожній БО, а також періоди простою АРМ. Періодичність контролю БО з боку монітора і диспетчера залежить від класу БО і норми часу виконання.

Диспетчер виконує діагностику критичних ситуацій на рівні ОТС і приймає рішення щодо усунення нештатних ситуацій на АРМ, блокуючи частини маршрутів у разі потреби.

6.2 Опис архітектури програмного комплексу системи моніторингу і диспетчеризації

6.2.1 Структура комплексу

Загальна структура комплексу представлена на рисунку 6.5. Комплекс реалізовано у вигляді 3 компонентів, а саме диспетчер, монітори та АРМ. Диспетчер складається із серверної і клієнтської частини. Серверна частина диспетчера представляє собою набір RESTful API контролерів для роботи клієнтської частини, набір RESTful API контролерів для роботи моніторів, RESTful клієнт для зворотного зв’язку. Клієнтська частина реалізована у вигляді SPA і працює у веб-браузері. Монітори та АРМ також складаються з наборів RESTful API контролерів та RESTful клієнта для зворотного зв’язку. Кожен компонент має свою власну базу даних (БД). Клієнтська частина є незалежним проектом, який використовує розроблений API. Для забезпечення функціоналу авторизації кожен АРМ має власний токен, а авторизація h-агента виконується за допомогою пари логін-пароль, яку вводить користувач через Desktop-додаток АРМ.

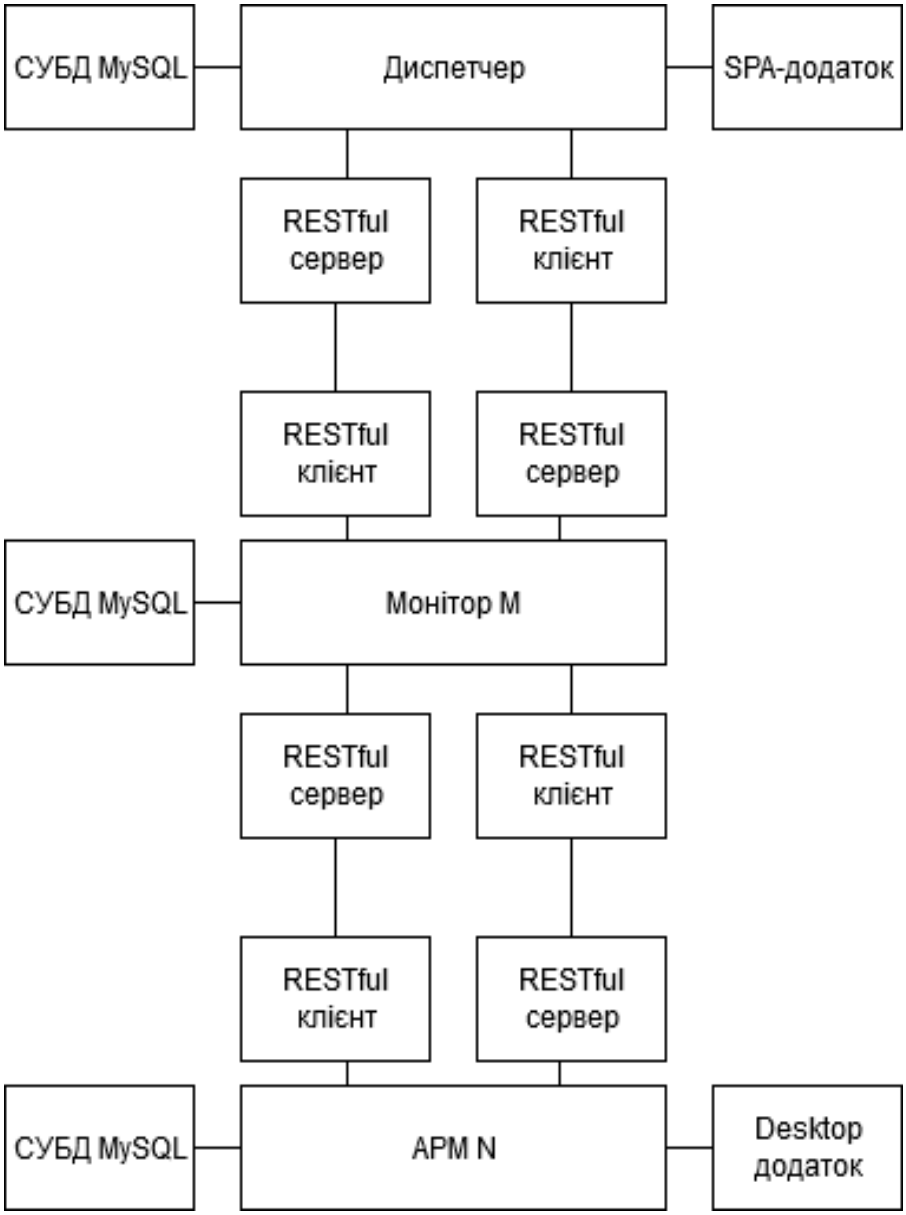

Рисунок 6.6 – Загальна структура комплексу

6.2.2 Опис функцій складових частин комплексу

Комплекс включає наступні функціональні блоки:

– модуль диспетчера для взаємодії з монітором;
– модуль диспетчера для обробки черг БО;
– модуль диспетчера для адміністрування системи;
– модуль диспетчера для менеджменту h-агентів;
– модуль монітора для взаємодії з АРМ;

– модуль монітора, що обслуговує черги БО;
– модуль монітора для обліку виконання БО;
– модуль АРМ для виконання БО;
– модуль АРМ для трансляції сценаріїв БО;
– модуль АРМ для взаємодії з монітором;
– модуль АРМ для взаємодії з h-агентом.

Під час роботи системи працює лише один центровий модуль диспетчера, що включає в себе RESTful API контролери для монітору та SPA-клієнта, сервіси для кожного с наведених модулів (бізнес-логіка), таблиці БД та моделі для взаємодії с нею.

Кожен модуль монітора містить RESTful API контролер, сервіс зворотного зв’язку (доступ до API АРМ, диспетчера), менеджер (бізнес-логіка), таблицю БД та класи для роботи з нею. Модулі АРМ включають в себе класи контролерів API, бізнес-логіку, таблиці БД та класи для роботи с ними, сервіси, файли графічного інтерфейсу користувача (GUI). Модулі АРМ для виконання БО, трансляції сценаріїв БО, взаємодії з монітором формують ядро АРМ.

6.2.2.1 Модуль монітора для взаємодії з АРМ

API контролер модулю монітора для взаємодії з АРМ має префікс /api/bot/. Доступні авторизація, деавторизація та інформація про АРМ. Сервіс доступу до АРМ забезпечує методи перевірки доступності в мережі конкретного АРМ та його статусу, інформування диспетчера про зміни у наборах активних АРМ та черг. Менеджер АРМ забезпечує управління над АРМ та надає дані щодо конкретного АРМ (список активних АРМ).

Перелік методів контролера API модуля показано в таблиці 6.1.

Таблиця 6.1 – структура API модуля монітора для взаємодії з АРМ

API	HTTP – метод	Параметри	Опис
authenticate	POST	Ім’я b-агента, пара логін-пароль h-агента, дані мережі, попередній токен авторизації (якщо є)	Авторизація, отримання токену
deauthenticate	POST	Токен авторизації	Деавторизація, переведення агента (h-,b-) у неактивний стан
Info	GET	Токен авторизації у диспетчера, список токенів b-агентів	Повертає інформацію про АРМ та їх статуси

6.2.2.2 Модуль монітора для обслуговування черги БО

Модуль монітора для обслуговування черги БО відповідальний за прийом черги від диспетчера, призначення БО для виконання конкретному АРМ, надання інформації про поточний стан черги для кожного АРМ.

API контролер модулю має префікс /api/operations/. Доступно надання інформації про поточну БО для конкретного АРМ, отримання даних про чергу БО для кожного АРМ, отримання статусу виконання БО. Сервіс доступу до АРМ забезпечує методи призначення поточної БО для виконання, перевірки статусу виконання БО. Менеджер операцій забезпечує управління чергами та надає дані щодо БО, виконує валідацію моделей модуля.

Перелік методів контролера API модуля показано в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 – структура API модуля монітора для обслуговування черги БО

API	HTTP – метод	Параметри	Опис
current	GET	Токен авторизації	Повертає дані щодо поточної БО для відповідного АРМ
queues	POST	Словник з черги для кожного АРМ	Задає чергу для кожного АРМ
queues	GET	(Відсутні)	Повертає словник з черги для кожного АРМ
status	POST	Токен авторизації, код статусу, номер БО	Задає статус для БО, є триггером для оновлення черги відповідного АРМ

6.2.2.3 Модуль монітора для ведення журналу виконання БО

Модуль монітора для ведення журналу виконання БО відповідає за генерацію звітів щодо виконання БО, зміни статусів АРМ.

API контролер модулю має префікс /api/log/. Доступно додавання логів, ключових слів поточної БО для конкретного АРМ, отримання журналу для кожного АРМ та БО, відстеження статусу виконання поточної БО. Сервіс доступу до АРМ забезпечує отримання логів, ключових слів та статусу виконання поточної БО. Сервіс диспетчера надає можливість відправити логи та звільнити кеш монітора. Менеджер журналювання управляє таблицею журналу,

тимчасовим зберіганням журналу, виконує валідацію моделей модуля.

API для роботи з модулем показано в таблиці 6.3.

Таблиця 6.3 – структура API модуля монітора для журналювання виконання БО

API	HTTP – метод	Параметри	Опис
add_logs	POST	Список логів, токен авторизацію, номер БО	Додає логи до журналу виконання БО
get_logs	GET	Список токенів авторизації	Повертає журнал логів для запитаних АРМ

6.2.2.4 Модуль реалізації взаємодії моніторів та диспетчера

Модуль для взаємодії з диспетчером відповідає за двосторонню взаємодію диспетчера та моніторів. Модуль включає:

– посилання запиту для перевірки актуальності працюючого серверу;
– аутентифікацію моніторів;
– деаутентифікацію моніторів;
– отримання логів поточного монітору;
– встановлення статусу ботів.

Для всіх запитів актуальний префікс /api/. Роути для обробки вищенаведених функцій відображено у таблиці 6.4.

Таблиця 6.4 – структура API модуля взаємодії с диспетчером

API	HTTP – метод	Параметри	Опис
ping	GET	Відсутні	Отримання інформації щодо актуальності роботи диспетчера

Продовження табл. 6.4

monitor/auth/login	POST	IP-адреса монітора Порт монітора	Аутентифікація монітору в системі
monitor/auth/logout	POST	Токен монітора	Деаутентифікація монітора
monitor/logs	PUT	Токен монітора Масив логів	Збереження логів від монітору
monitor/bot/status	PUT	Токен монітора ID b-агента Поточний статус b-агента	Встановлення поточного статусу відповідному b-агенту

6.2.2.5 Модуль диспетчера для обробки черг БО

Генерація черги виконується за потребою монітора. У процесі генерації система враховує статуси ботів. Префікс для роутів, що відповідають за цей модуль - /api/. Шляхи взаємодії моніторів та поточного модуля відображені у таблиці 6.5.

Таблиця 6.5 – структура API модуля для обробки черг БО

API	HTTP – метод	Параметри	Опис
motinor/queue	GET	Відсутні	Отримання актуальної черги БО

6.2.2.6 Модуль диспетчера для адміністрування системи

Для роботи системи, потрібні вхідні параметри та дані. Заповненням цих даних займається адміністратор через SPA-клієнта, що взаємодіє с API диспетчера. Таким чином, керування системою адміністратором включає в себе:

– аутентифікаційні роути адміністратора;
– менеджмент типами логів;

– менеджмент адміністраторів;
– менеджмент типами ключових слів;
– менеджмент ключовими словами;
– менеджмент БП;
– менеджмент типів скриптів;
– менеджмент скриптів;
– менеджмент БО.

Вказані підмодулі мають загальний префікс API /api/. Всі вказані роути, крім аутентифікації адміністратора (/auth/login), вимагають передачі актуального аутентифікаційного токену адміністратора. Конкретні роути для кожної функції відображені у таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – структура API модуля для адміністрування системи

API	HTTP – метод	Параметри	Опис
auth/login	POST	Email адміністратора Пароль адміністратора	Вхід в панель управління системою
auth/logout	POST	Відсутні	Вихід з панелі управління системою
auth/refresh	POST	Відсутні	Оновлення поточного аутентифікаційного токену
auth/me	GET	Відсутні	Отримати інформацію за поточним аутентифікованим користувачем
log-types	GET	Відсутні	Отримання переліку доступних типів логів

Продовження табл. 6.6

log-types	POST	Назва типу логів	Створення нового типу логів
log-types/{id}	DELETE	Відсутні	Видалення вказаного типу логів. Якщо існують логи, що використовують поточний тип – метод поверне помилку.
users	GET	Ключова фраза для фільтрації результатів – опціонально	Отримання переліку поточних користувачів системи за виключенням поточного користувача
users/{id}	GET	Відсутні	Отримання інформації вказаного користувача
users	POST	Ім’я Email Пароль	Створення нового користувача
users/{id}	PUT	Ім’я Email Пароль	Оновлення інформації вказаного користувача
users/{id}	DELETE	Відсутні	Видалення вказаного користувача.
keyword-types	GET	Ключова фраза для фільтрації результатів – опціонально	Отримання переліку доступних типів ключових слів

Продовження табл. 6.6

keyword-types	POST	Назва	Створення нового типу ключових слів
keyword-types/{id}	DELETE	Відстутні	Видалення типу ключових фраз. Виклик поверне помилку, якщо існують ключові слова з наданим типом.
keywords	GET	Ключова фраза для фільтрації результатів – опціонально Тип ключового слова – опціонально	Перелік доступних ключових слів
keywords	POST	ID типу ключового слова Назва Опис	Створення нового ключового слова
keywords/{id}	DELETE	Відсутні	Видалення ключового слова. Виклик поверне помилку, якщо вказане ключове слово використовується.
business-processess	GET	Ключова фраза для фільтрації результатів –	Отримання поточного набору БП

		опціонально	

Продовження табл. 6.6

business-processess	POST	Назва Ціна очікування Максимальний час виконання, сек, Клас	Створення нового бізнес процесу
business-processes/{id}	PUT	Назва Ціна очікування Максимальний час виконання, сек Клас	Оновлення вказаного бізнес-процесу
business-processes/{id}	DELETE	Відсутні	Видалення бізнес-процесу
script-types	GET	Відсутні	Перелік поточних доступних типів скриптів
script-types	POST	Назва	Створення нового типу скрипта
script-types/{id}	DELETE	Відсутні	Видалення типу скриптів. Всі скрипти з поточним типом будуть видалені.
scripts	GET	Ключова фраза для фільтрації результатів – опціонально Тип відображених скриптів –	Перелік поточних доступних скриптів

		опціонально	

Продовження табл. 6.6

scripts/{id}	GET	Відсутні	Отримання інформації щодо вказаного скрипта
scripts	POST	Назва Опис Тіло скрипта Тип скрипта	Створення нового скрипта
scripts/{id}	PUT	Назва Опис Тіло скрипта Тип скрипта	Оновлення даних скрипта
scripts/{id}	DELETE	Відсутні	Видалення вказаного скрипта. При використанні вказаного скрипта в будь-якій БО, система поверне помилку.
business-operations	GET	ID БП – опціонально Ключова фраза для фільтрації результатів – опціонально	Отримання поточного переліку БО за вказаними параметрами
business-operations/{id}	GET	Відсутні	Перегляд інформації вказаної БО
business-operations	POST	ID БП ID попередньої БО – опціонально Назва Масив скриптів у вигляді об’єктів з ID скрипта та його черги (ціле число)	Створення нової БО

Продовження табл. 6.6

business-operaions/{id}	PUT	ID БП ID попередньої БО – опціонально Назва Масив скриптів у вигляді об’єктів з ID скрипта та його черги (ціле число)	Оновлення вказаної БО
business-operations/{id}	DELETE	Відсутні	Видалення вказаної БО

6.2.2.7 Модуль АРМ для виконання БО

Модуль АРМ для виконання БО відповідальний за прийом та первинну обробку БО, контроль виконання БО та її мікрооперацій (МО), відстеження ключових слів (КС), логів, статусу БО та загального статусу АРМ.

API контролер модулю має префікс /api/operations/. Доступно надання інформації про поточну БО, призначення наступної БО для виконання, отримання статусу виконання БО, отримання журналу КС та логів. Менеджер операцій забезпечує управління виконанням БО та її МО, виконує валідацію моделей модуля, управляє зберіганням даних.

Методи API модуля АРМ для виконання БО показано в таблиці 6.7.

Таблиця 6.7 – методи API модуля для виконання БО

API	HTTP – метод	Параметри	Опис
operation	GET	Токен авторизації	Отримання інформації про поточну БО

Продовження табл. 6.7

operation	POST	Токен авторизації	Задання наступної БО для виконання
status	GET	Токен авторизації	Отримання статусу виконання БО
logs	GET	Токен авторизації	Отримання журналу КС та логів

6.2.2.8 Модуль АРМ для трансляції сценаріїв БО

Модуль АРМ для трансляції сценаріїв БО відповідальний за трансляцію описаного аналітиком сценарію БО у мову, зрозумілу для виконання будь-яким інтерпретатором команд (наприклад, Python, Bash, JavaScript). Також за необхідністю можливо розширити модуль для трансляції у компільовану мову програмування та з подальшим отриманням бінарного файлу.

Модуль є повністю для внутрішнього використання та не надає API методів для зовнішнього середовища. Реалізація модуля містить правила трансляції, методи перевірки вхідних і вихідних сценаріїв та безпосередньо транслятор. Результат трансляції зберігається у кешу для подальшого прискорення роботи при повторному виконанні поточної БО.

6.2.2.9 Модуль АРМ для взаємодії з монітором

Модуль АРМ для взаємодії з монітором надає методи для роботи з монітором та представляє собою сервіс-обгортку над API монітора. Сервіс забезпечує методи отримання поточної або наступної БО для виконання, відправлення статусу виконання БО, журналу КС та логів, авторизації та

деавторизації.

Методи доступу для роботи з монітором показано в таблиці 6.6.

Таблиця 6.8 – Методи доступу модуля АРМ для взаємодії з монітором

Назва методу	Результат	Параметри	Опис
authenticate()	Токен авторизації b-агента	Ім’я b-агента, пара логін-пароль h-агента, дані мережі, попередній токен авторизації (якщо є)	Використовується для авторизації b-, h-агента у системі
deauthenticate()	Булеве значення	Токен авторизації b-агента	Використовується для деавторизації бота у системі
current_operation()	Структура БО	Токен авторизації b-агента	Використовується для отримання поточної БО, якщо бот її виконує, або наступну, якщо бот вільний
publish_operation_status()	Булеве значення	Поточна БО, статус, токен авторизації b-агента	Використовується для задання статусу БО
publish_logs()	Булеве значення	Список логів та КС, токен авторизації b-агента	Використовується для публікації журналу КС та логів

6.2.2.10 Модуль АРМ для взаємодії з h-агентом

Модуль АРМ для взаємодії з h-агентом представляє собою GUI додаток, що забезпечує введення-виведення даних для h-агента у відповідних формах. Серед графічних файлів є вікна, форми, часткові представлення та відповідні класи для

їх роботи. Зокрема, вікно авторизації, вікно виконання БО, часткові представлення форм введення результатів, виведення вхідних даних тощо.

6.3 Розробка імітаційної моделі для дослідження властивостей системи з динамічною маршрутизацією бізнес-процесів

Імітаційна модель застосовується для дослідження властивостей СМД і оптимізації стратегії керування чергами. Цей інструмент входить до підсистеми диспетчеризації.

6.3.1 Розробка структури імітаційної моделі

При дослідженні моделей масового обслуговування аналітичними методами часто передбачається, що потік заявок є найпростішим. Припущення про найпростіший потік заявок дозволяє для багатьох математичних моделей отримати досить прості аналітичні залежності характеристик від параметрів в явному вигляді. Аналіз моделей з потоками заявок, відмінними від найпростіших, зазвичай ускладнює математичні викладки і в більшості випадків не дозволяє отримати аналітичне рішення в явному вигляді. У нашому випадку, незважаючи на те, що вхідний потік можна представити як суперпозицію пуассонівських потоків змінної інтенсивності, реалізувати аналітичне уявлення системи не уявляється можливим через низку особливостей, таких як блокування маршрутів і явна залежність багатофазних потоків від передісторії процесів.

Отже, оскільки аналітично вирішити сформульовані завдання не уявляється можливим, був обраний шлях імітаційного моделювання. Використання імітаційної моделі дозволяє провести цікаві в теоретичному і практичному відношенні дослідження СМО. В першу чергу це завдання аналізу системи. До них відносяться визначення показників ефективності та інших властивостей системи за відомими її параметрами: інтенсивності потоку вимог, кількості каналів і їх характеристикам, часу обслуговування і т. ін. Великий інтерес представляє дослідження впливу варіацій параметрів системи на показники, що характеризують її основні властивості. Зокрема, імітаційна

модель необхідна для дослідження ефективності різних варіантів стратегій оперативного управління режимами роботи ОТС [294].

Структуру імітаційної моделі показано на рис. 6.7. Всі операції програми диспетчеризує блок управління ходом моделювання. Користувач через блок інтерфейсу і за допомогою блоку формування вихідних даних фіксує бажані імовірнісні розподіли потоку надходження заявок, режими генерації потоків подій, матрицю значень компетентностей h-агентів, встановлює множину типів

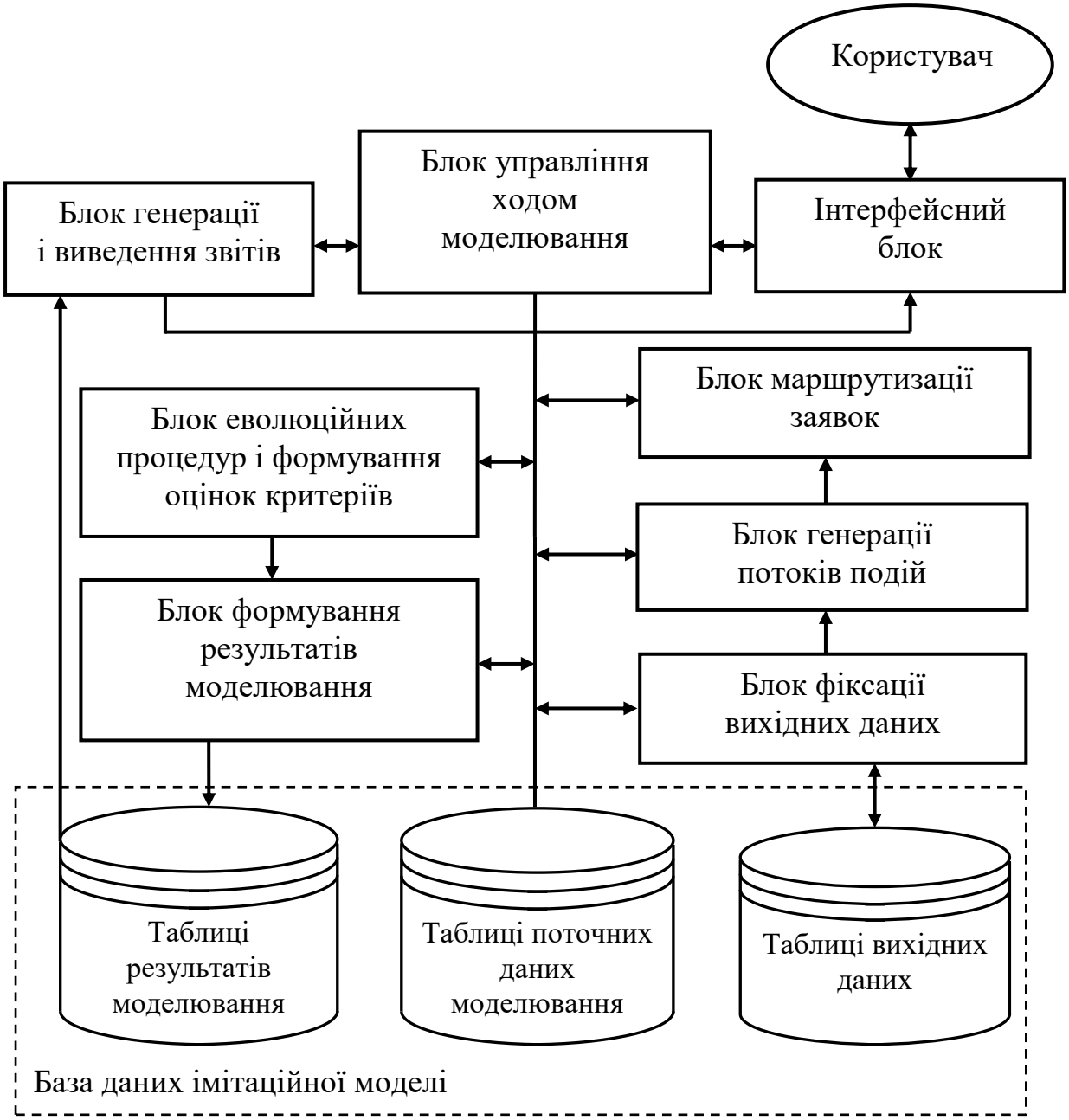

Рисунок 6.7 – Структура імітаційної моделі

заявок і норми часу виконання в залежності від компетентності.

Заповнюється також масив цін затримок виконання БО. Залежність часу виконання від рівня компетентності h-агента визначається коефіцієнтом збільшення часу $\alpha_H=1+(1-P_{SH})$, якій враховано у формулі (4.7) . Після фіксації вихідних даних блок керування запускає генератор потоку подій і блок маршрутизації, який використовує поточні значення граничних параметрів стратегії управління чергами. Блок формування результатів проводить моніторинг процесу за параметрами завантаження вузлів мережі обслуговування, обчислює і фіксує поточні і підсумкові значення таких параметрів: середнє за контрольний період число заявок в чергах; середній час очікування; дисперсія часу очікування; втрати очікування; ступінь завантаженості АРМ.

Блок еволюційних процедур реалізує алгоритм відбору кращих варіантів пар значень параметрів стратегії і формує глобальну таблицю особин для запобігання повторення особин. Блок генерації і виведення звітів формує звіт за результатами моделювання для користувача. Користувач може запустити цикл автоматичної зміни значень основних вихідних даних (тип розподілу для вхідного потоку, крокові зміни інтенсивності надходження і обслуговування заявок, розподіл типів заявок). Схема взаємозв’язку інформаційних процесів в інформаційній технології оптимізації стратегії управління чергами показано на рис. 5.4.

6.3.2 Опис інтерфейсу користувача підсистеми диспетчеризації та імітаційної моделі

Функціонал програми відповідає схемам інформаційної технології, які показані на рис. 5.3 і 5.4. Розглянемо послідовно відеограми вікон програми.

На рис. 6.8 показано вікно «Вихідні дані». На даному вікні розміщено поля вводу позначень класів БП, їх назв та номерів екземплярів окремих класів БП. Оскільки мова іде про моделювання процесу обслуговування, для кожного БП вказується час запуску. Окрім того, необхідно задати початкові значення

порогів стратегії керування чергами.

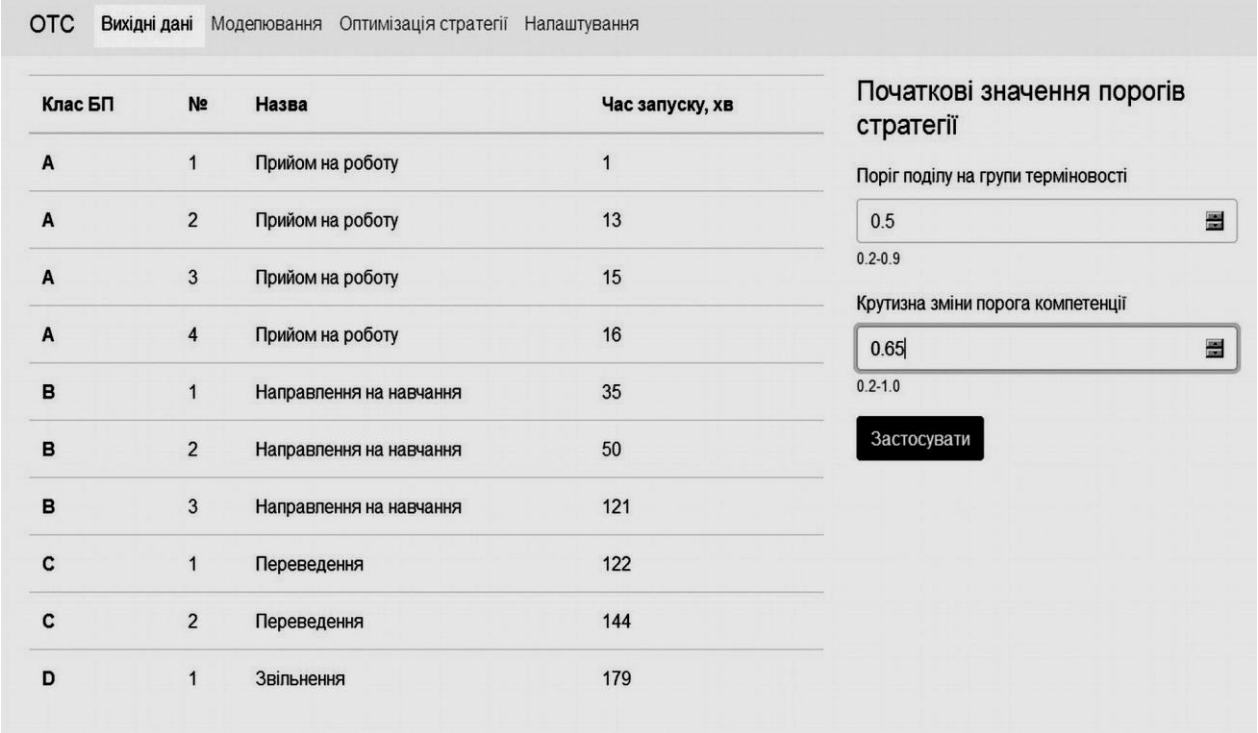

Рисунок 6.8 – Вікно введення початкових даних

На рис. 6.9 показано перше вікно модулю «Моделювання».

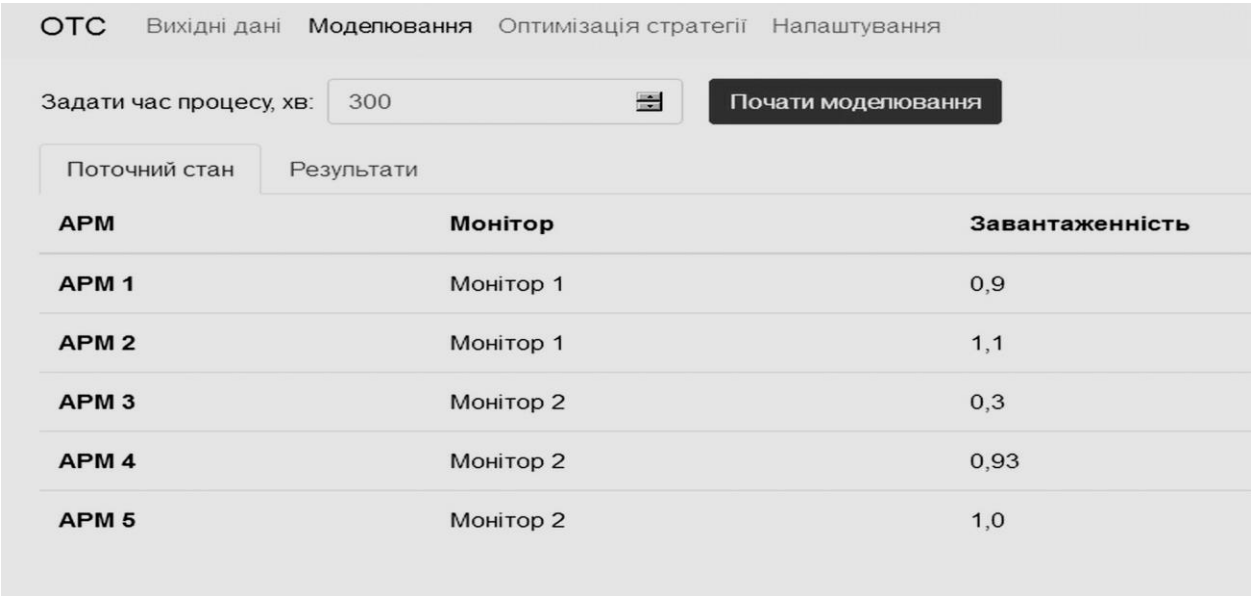

Рисунок 6.9 – Перше вікно модулю Моделювання» – «Поточний стан»

Модуль забезпечує фіксацію загального часу моделювання в хвилинах, можливість запуску процесу та відстеження і фіксацію ступеню завантаженості усіх АРМ. Модуль накопичує поточні дані про довжину та відносну вартість черг, сумарні втрати очікування по кожному АРМ та інші показники, повний

перелік яких можна бачити на рис. 6.10 – другому вікні модулю «Моделювання».

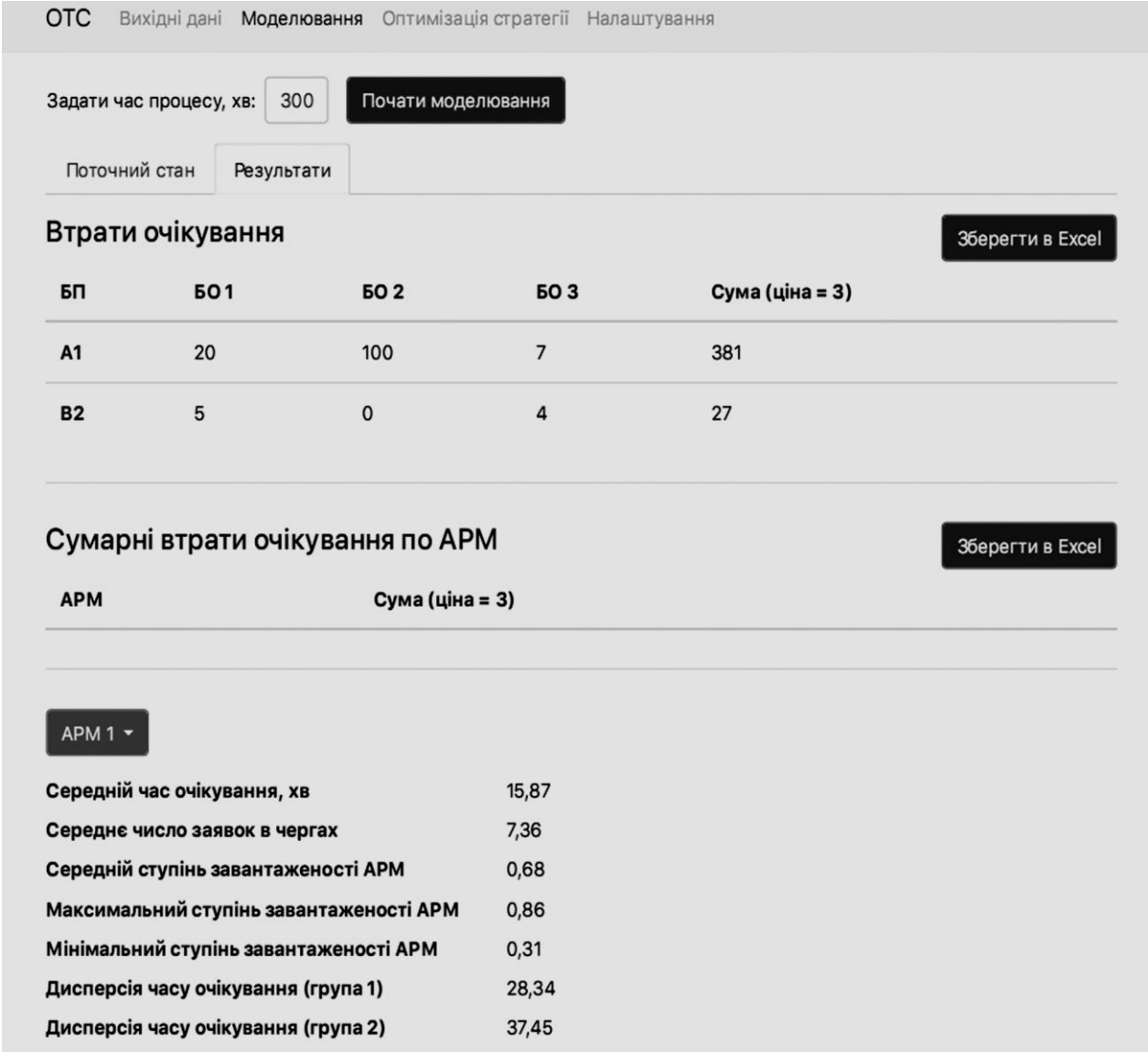

Рисунок 6.10 – Друге вікно модулю «Моделювання» – «Результати»

Результати, отримані у процесі однієї реалізації, можна зберегти у таблицях засобу Excel. На рис. 6.11 показане вікно модулю «Оптимізація стратегії – Налаштування». Користувач вводить розмір популяції значень параметрів стратегії, число циклів еволюційного алгоритму, число пробних точок при уточненні координат лідерів, число лідерів, коефіцієнт зменшення меж при уточненні координат лідерів. На рис. 6.11 показано вікно «Оптимізація стратегії – Результати». Після завершення процедури оптимізації з багаторазовим зверненням до модулю імітаційного моделювання модуль повертає оптимальні

для даного варіанту розподілу інтенсивностей заявок значення параметрів *X1* та *X2*.

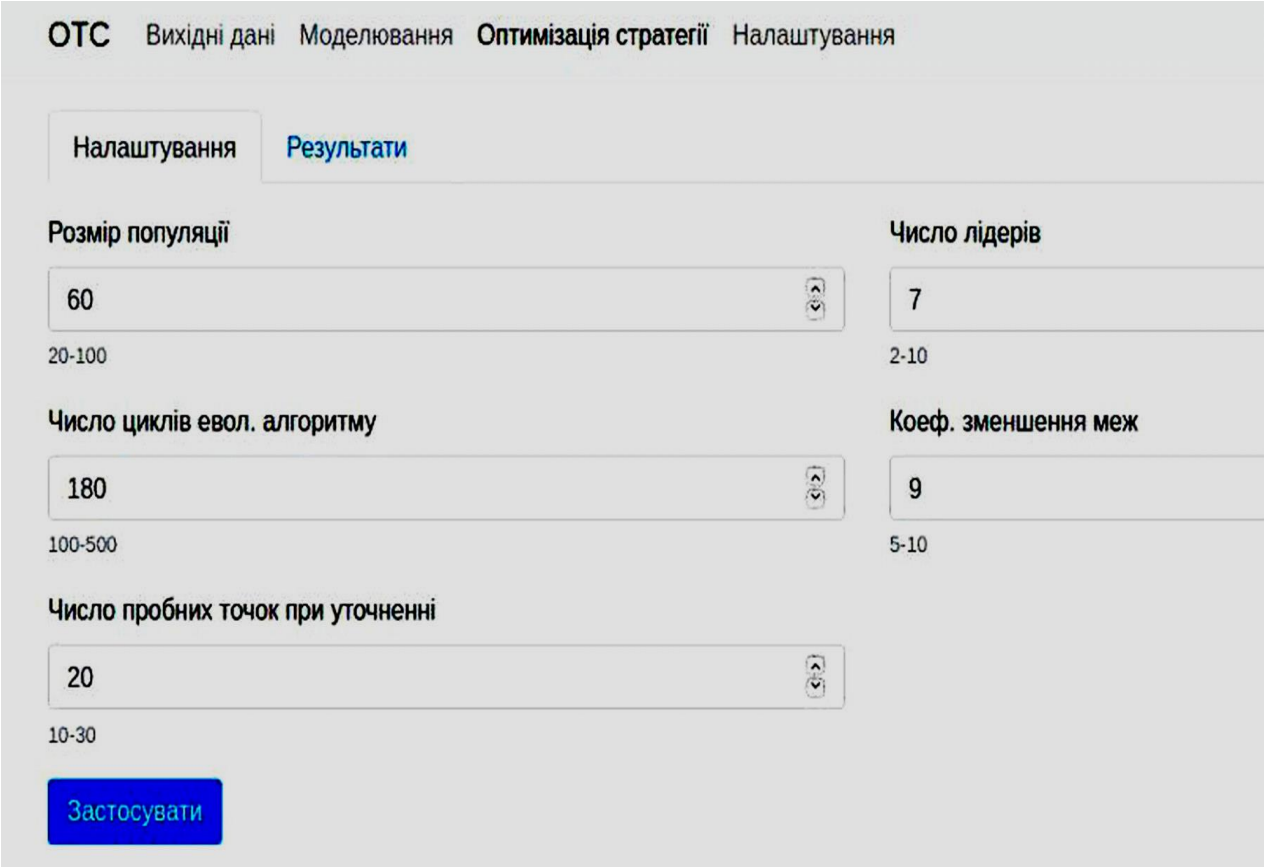

Рисунок 6.11 – Вікно Оптимізація стратегії – Налаштування

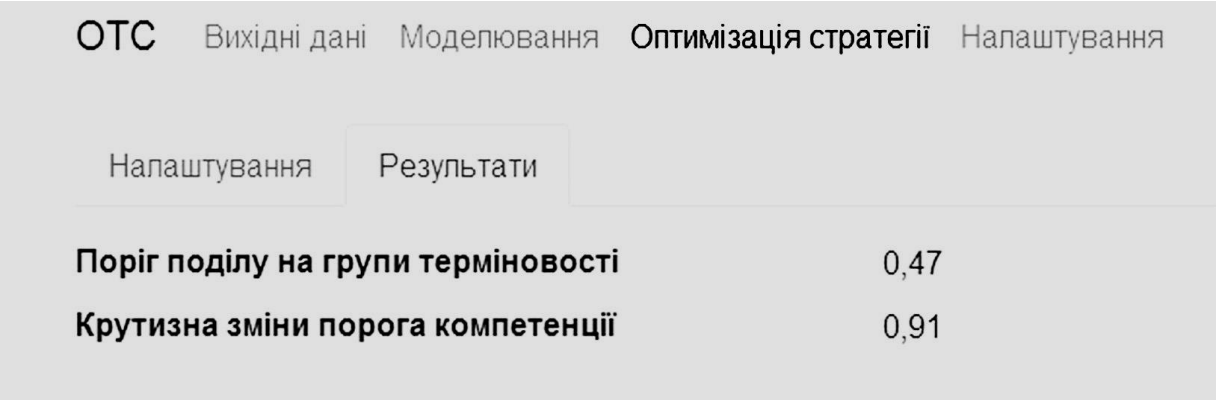

Рисунок 6.12 – Вікно Оптимізація стратегії – Результати

На рис. 6.13 показано вікно «Налаштування». Користувач завдає число АРМ, кількість класів БП та БО, розподіл класів БО по кожному БП, порядок слідування БО у кожному БП. Окремо задаються рівні компетентності співробітників по кожній БО та часові норми на виконання БО. Користувач

також визначає закон розподілу інтенсивності появи заявок у потоках БП.

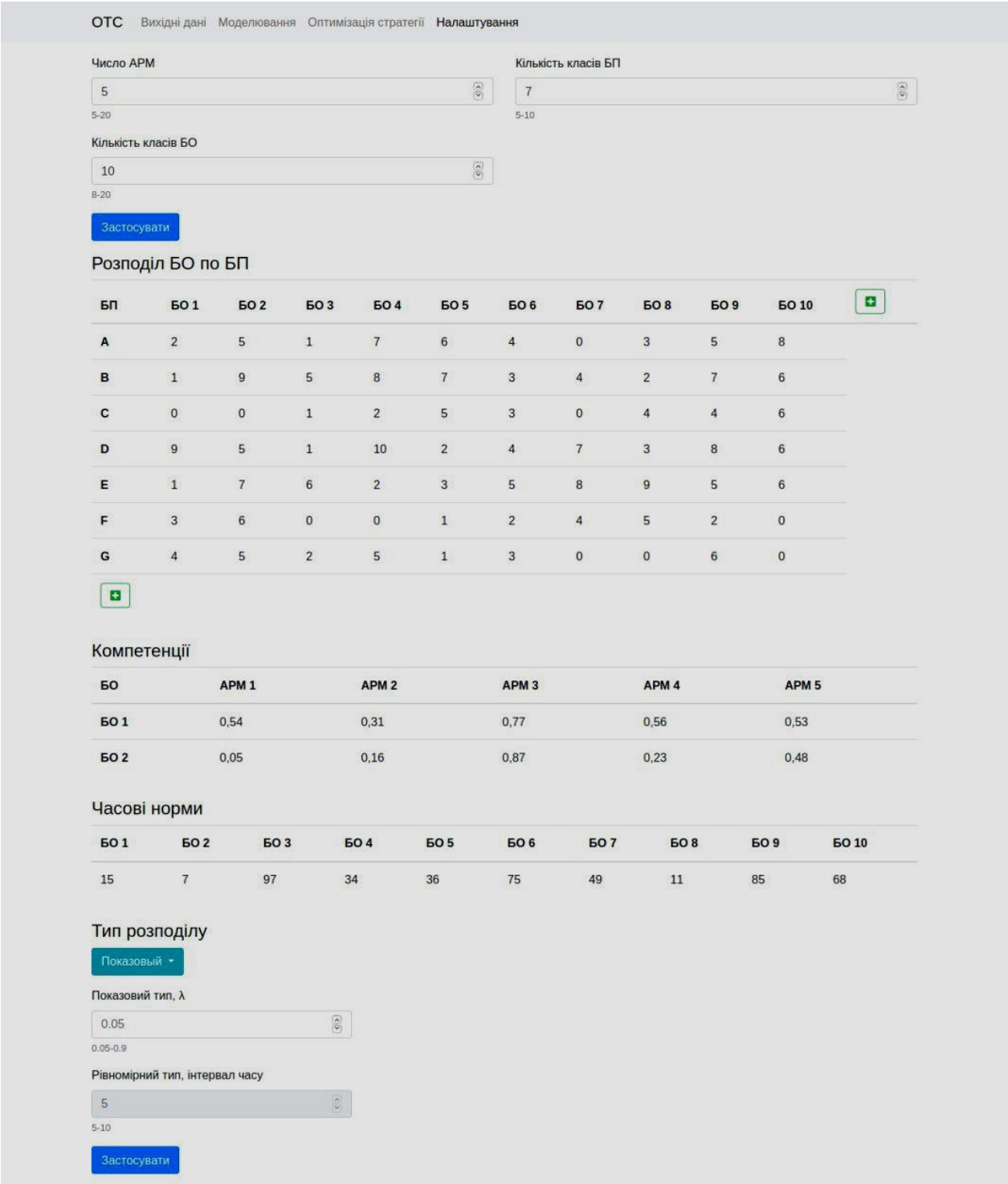

Рисунок 6.13 – Вікно «Налаштування»

6.4 Результати експериментів на імітаційній моделі

Головний результат експериментів на імітаційної 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. 6.14 показана залежність дисперсії часу очікування від значень порога поділу заявок на групи ризику по вартості затримок. При збільшенні кратності періодичності циклів контролю і переформування черг дисперсія збільшується.

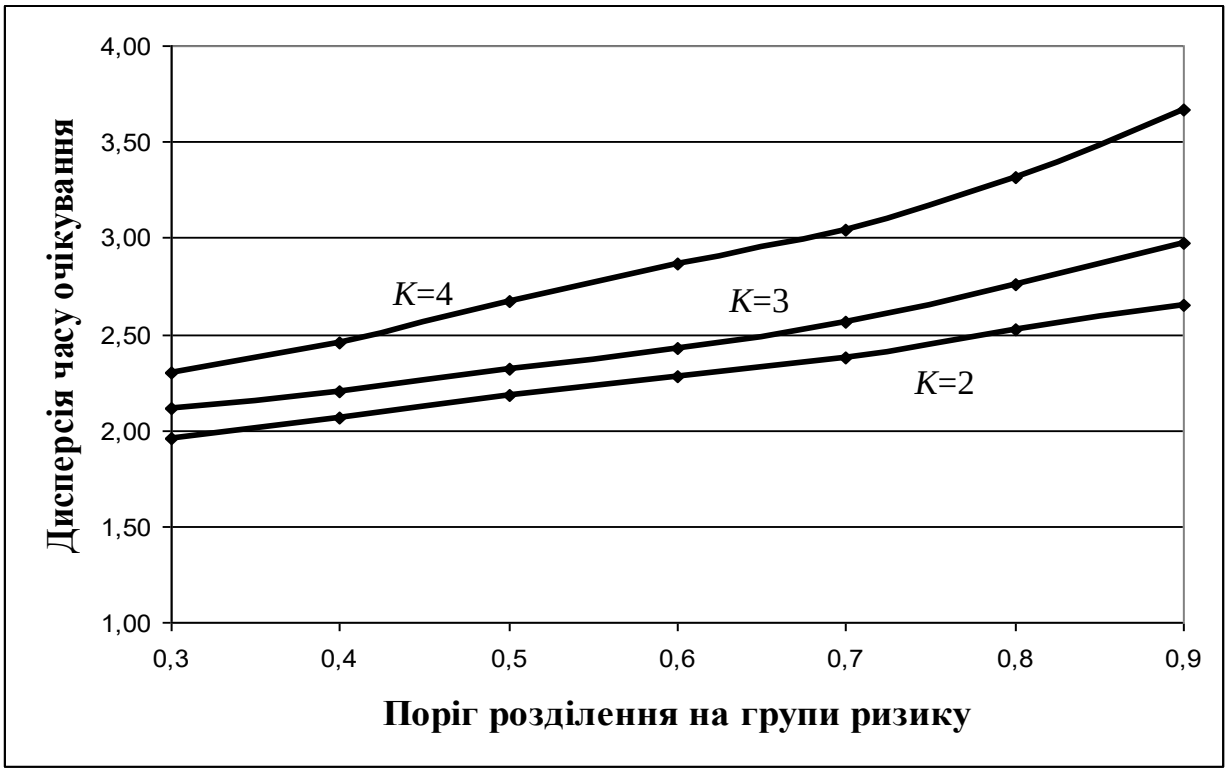

Рисунок 6.14 – Залежність дисперсії часу очікування від порога поділу заявок на групи і кратності *K* періодичності циклів контролю черг в групах

На рис. 6.15 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 оперативного змінювання маршрутів заявок. При

збільшенні інтенсивності потоку заявок стабілізація стає практично неможливою і втрати зростають. Разом з тим видно, що адаптивна стратегія є ефективним інструментом зниження втрат очікування.

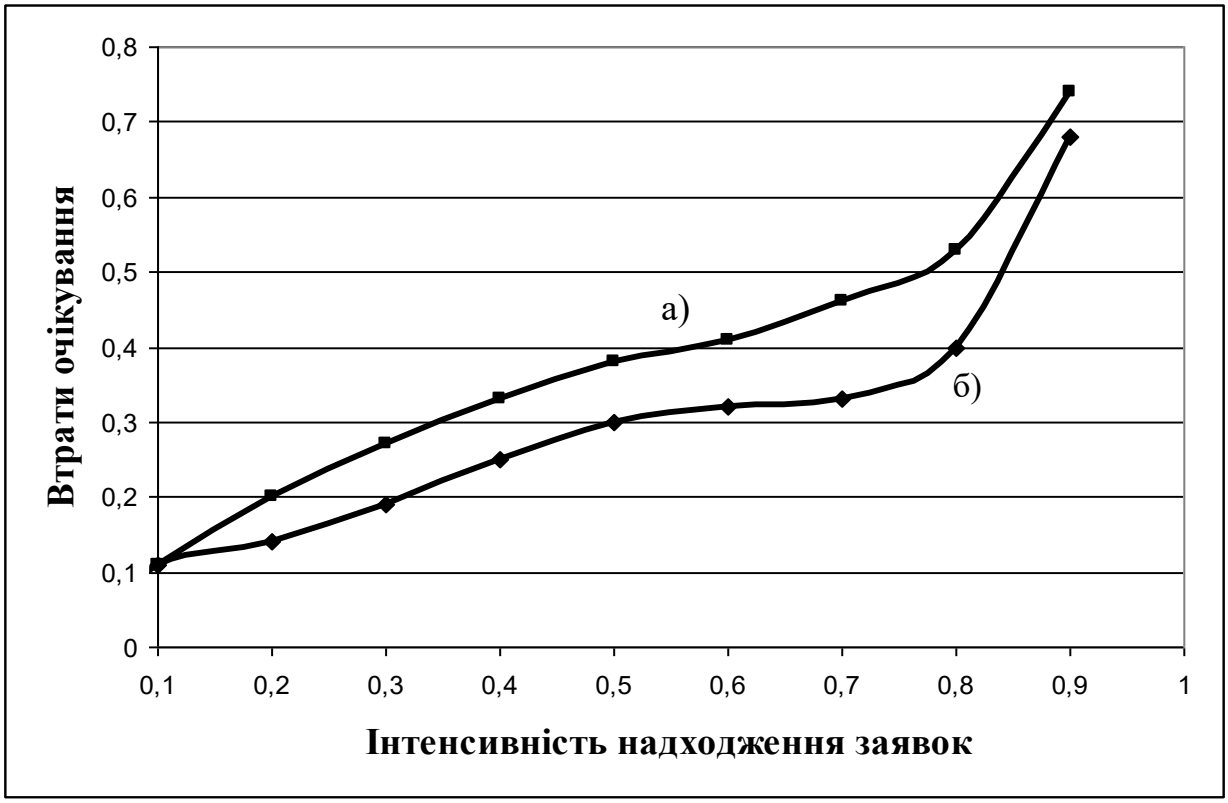

Рисунок 6.15 – Залежність втрат очікування від параметрів стратегії:

а) залежність при випадкових значеннях параметрів *X1* і *X2*.

б) залежність при оптимальних значеннях параметрів *X1* і *X2*

Середній нормований час перебування в черзі для заявок з групи UG1 становив 0,63 при випадкових значеннях параметрів настроювання і 0,45 при оптимальних значеннях цих параметрів. Для групи UG2 ці значення відповідно склали 0,68 і 0,56. Діаграму показано на рис. 6.16. Наведені дані ілюструють добре відомий факт щодо великої чутливості систем обслуговування, вже досить сильно завантажених, до зростання завантаження. Тривалість очікування і, відповідно, втрати на очікування починають різко зростати. Саме тому, СМД має завдання скоротити втрати на очікування шляхом динамічного формування маршрутів бізнес-процесів.

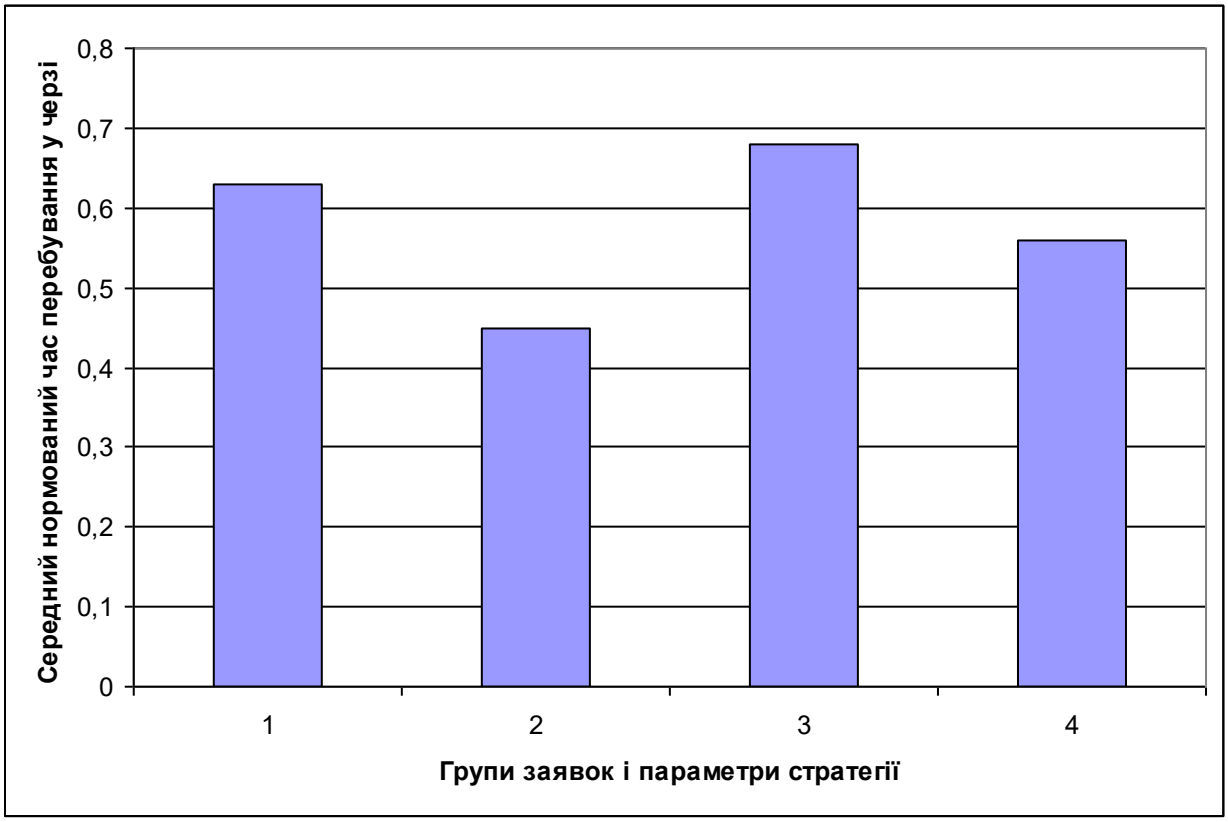

Рисунок 6.16 – Середній нормований час перебування у черзі:

1 – група UG1 при випадкових значеннях параметрів стратегії;

2 – група UG1 при оптимальних значення параметрів стратегії;

3 – група UG2 при випадкових значеннях параметрів стратегії;

4 – група UG2 при оптимальних значення параметрів стратегії.

Графік втрат в чергах в залежності від неузгодженості розподілів класів БО і компетентностей показаний на рис. 6.17 Рівномірний розподіл компетентностей за класами БО не може забезпечити повну гнучкість ОТС, оскільки розподіл БО по класах (за типами заявок) змінюється за довільним законом. Як було зазначено в Розділі 2, розподіл за типами заявок реалізовано як масив, в якому кожен елемент – відносна частка даного класу БО в загальному потоці. Відповідно, розподіл компетентнотсей – відносна частка кожної компетентності в ОТС. Для розрахунку розбіжності між поточним розподілом типів заявок і поточним розподілом компетентностей використовувалася метрика міських кварталів.

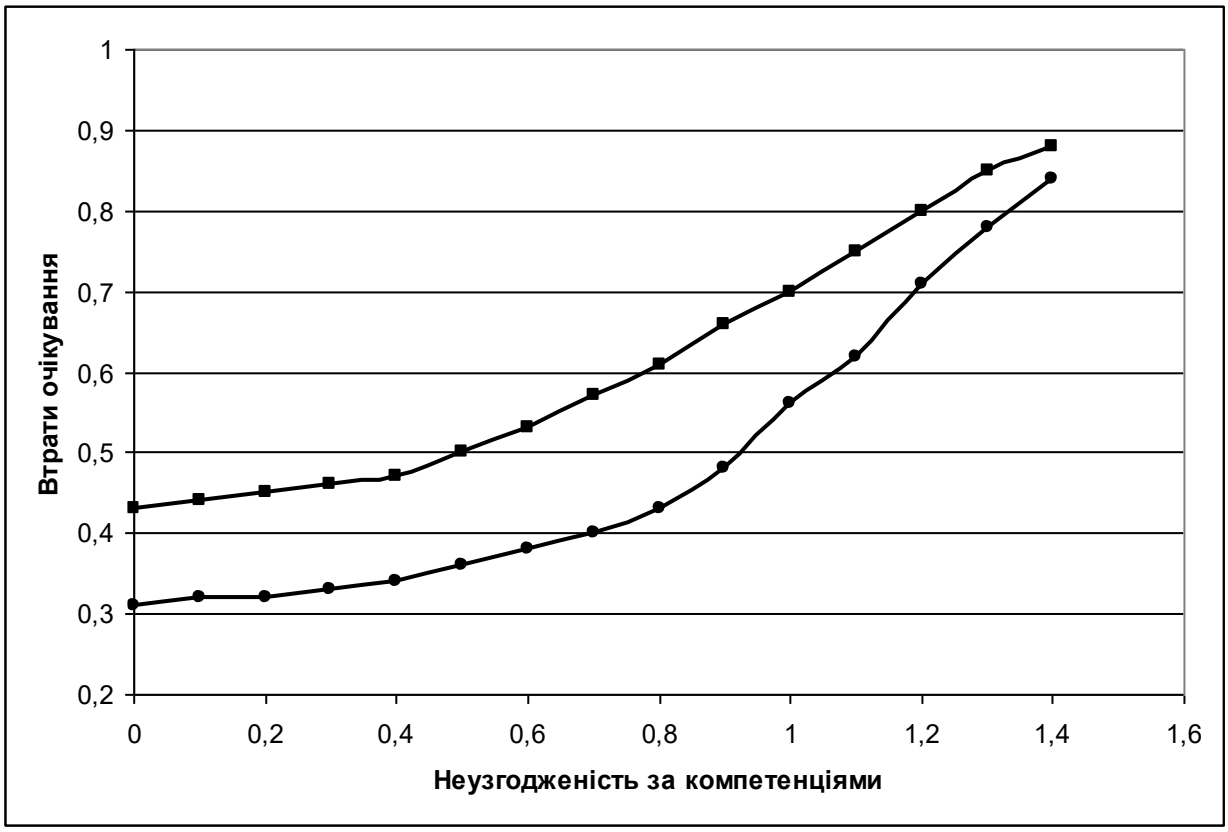

Рисунок 6.17 – Графік залежності втрат очікування від неузгодженості за компетентностями:

а) – відносна інтенсивність надходження заявок усіх типів λ=0,5;

б) – відносна інтенсивність надходження заявок усіх типів λ=0,8.

Досліджено також динаміку середніх завантажень по АРМ для адаптованої і неадаптованої стратегії. На рис. 6.18 показані зміни середнього завантаження при середньому значенні відносної інтенсивності загального потоку заявок. Оптимізована за параметрами стратегія управління чергами дозволяє згладити пікові навантаження і зменшити дисперсію середнього завантаження. Для оптимізованої стратегії дисперсія середнього завантаження склала 0,059. Для неоптимізованої стратегії дисперсія середнього завантаження склала 0,090.

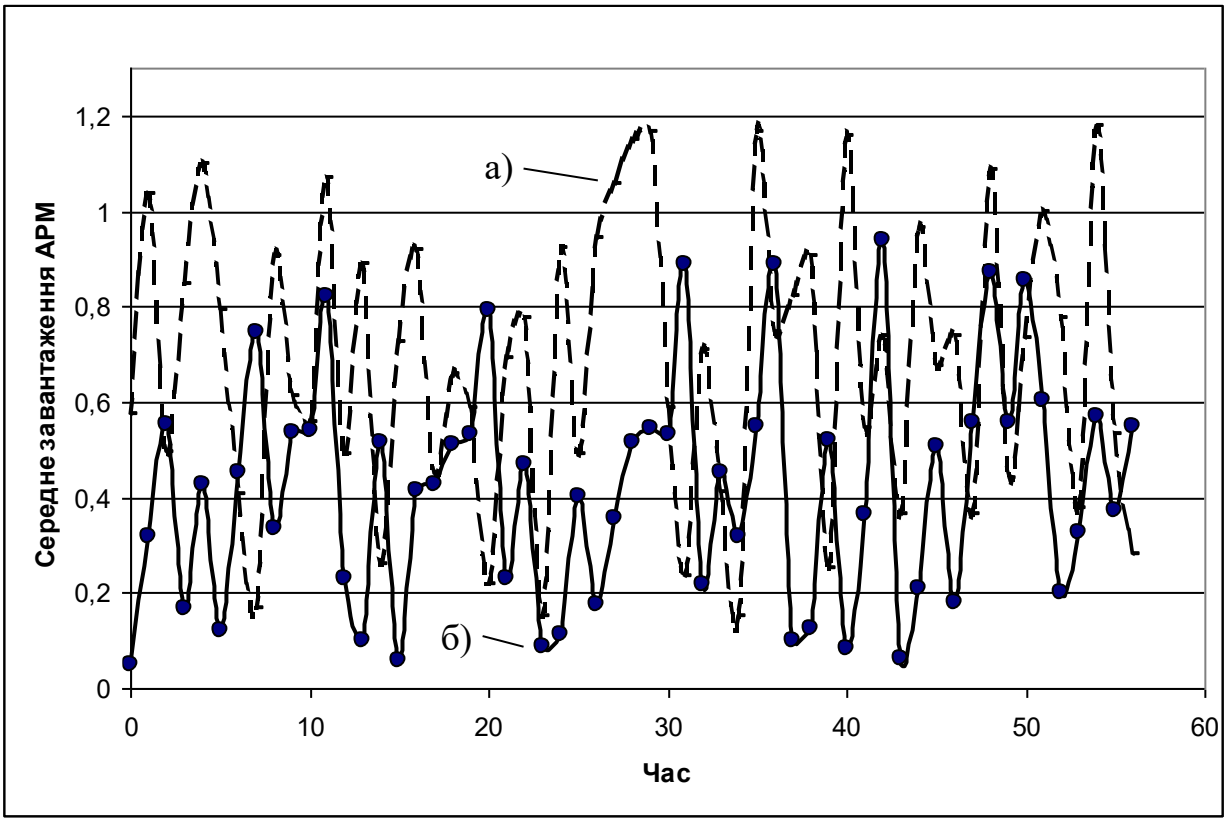

Рисунок 6.18 – Графік динаміки середнього завантаження в часі для інтенсивності загального потоку λ=0,5:

а) – для стратегії, що не є оптимізованою;

б) – для стратегії, що оптимізована.

Через нерівномірний по інтенсивності і складу потік заявок окремі АРМ можуть виявитися перевантаженими, незважаючи на оптимізацію стратегії управління чергами (блукаючі 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 компетентності з проблемних класів заявок.

На рис. 6.19 показана діаграма відносних витрат за критерієм (4.8). Критерій відображає відношення сумарних витрат на усі автоматизовані операції певного бізнес-процесу до витрат на ти ж операції, якщо їх виконує людина, без помилок і за нормою часу. Представлено чотири варіанти – перший

стовпчик діаграми показує відносні витрати без участі ботів та без динамічної маршрутизації. Другій стовпчик показує витрати за участю ботів якщо стратегія керування чергами не оптимізована. Третій стовпчик показує витрати, якщо стратегія керування чергами оптимізована. Четвертий стовпчик показує витрати, якщо застосовується балансування по компетентностям за рахунок зміни порогу рівню компетентності. Видно, що розроблені методи допомагають підвищити ефективність функціонування ОТС.

Рисунок 6.19 – Відносні сумарні витрати на виконання бізнес-процесу:

1 – відносні витрати без участі ботів та без динамічної маршрутизації;

2 – витрати при участі ботів якщо стратегія керування чергами не оптимізована;

3 – витрати, якщо стратегія керування чергами оптимізована;

4 – витрати, якщо застосовується попереднє балансування по компетентностям за рахунок зміни порогу рівню компетеностей.

Діаграма, що ілюструє зміни середнього числа заявок в чергах, показана на

рис. 6.20. Під номерами 1, 2, 3 і 4 відповідно, показано середню довжину черг для:

– ОТС без динамічної маршрутизації і без участі ботів;

– з динамічною маршрутизацією без оптимізації стратегії;

– динамічної маршрутизації з оптимізацією стратегії при розбалансі компетенцій;

– динамічної маршрутизації з балансуванням за компетентностями.

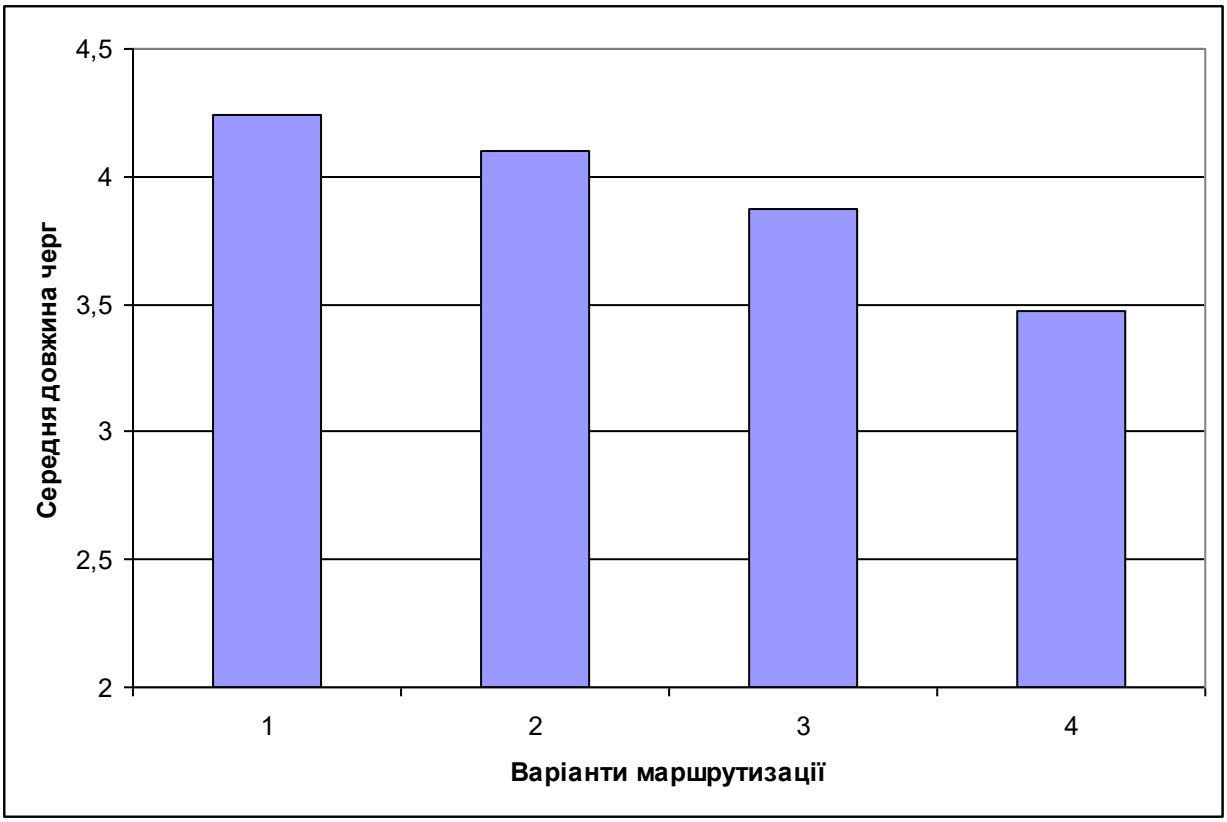

Рисунок 6.20 – Середня довжина черг:

1 – ОТС без динамічної маршрутизації і без участі ботів;

2 – з динамічною маршрутизацією без оптимізації стратегії;

3 – для динамічної маршрутизації з оптимізацією стратегії при розбалансі компетентностей;

4 – для динамічної маршрутизації з балансуванням за компетентностями.

За результатами дослідження властивостей автоматизованої ОТС з динамічним розподілом виконавчих ресурсів встановлено наступне:

1. При збільшенні навантаження на систему ($\rho_{сер}$ і ρ_{max}) має відбуватися індивідуальне зниження порога компетентнотсей по критичним на даний момент класами заявок. В цьому випадку, вдається стабілізувати завантаження $\rho_{сер}$ до того моменту, поки зниження компетентності не почне позначатися на пропускній здатності окремих АРМ через збої і помилки.

2, При збільшенні порога вартості затримок CD_{max} кількість слабо контрольованих АРМ збільшується, що призводить до збільшення дисперсії часу очікування.

3. При збільшенні порога компетентності в будь-якій групі (UG1, UG2) звужується вибір АРМ і може зрости завантаження ρ_{max} для окремих АРМ. Щоб уникнути перевантажень, необхідно контролювати всі АРМ по значенню ρ_n. Чим менше вартість затримки для i-ї заявки CD_i, тим менше може бути компетентність h-агента.

4. Оскільки в реальній ОТС рівні компетентностей у співробітників різні, періодично виникають «блукаючі» вузькі місця. Чим нерівномірніший рівень компетентностей по АРМ, тим ймовірніше виникатимуть вузькі місця через брак компетентностей.

5. Якщо балансування за компетенцтностями проведено на етапі планування БП, то критичні ситуації типу:

– багато заявок одного класу і компетентних АРМ не вистачає;
– АРМ недовантажено, через те, що йдуть БО поза його компетенцією, можуть виникати тільки через адміністративні збої в роботі ОТС.

6. «Блукаючі» вузькі місця можна відстежувати як точки в координатах операційного простору ОТС. Для цього створюється таблиця обліку вузьких місць, в якій враховуються: номера БП, номера БО, номера АРМ і поточні рівні компетентності даних АРМ по критичним класам БО.

7. Кваліфікація співробітників по даному класу БО повинна забезпечувати вільне володіння матеріалом для здійснення періодичного контролю процесу

виконання БО, яка здійснюється ботом.

8. Один співробітник може забезпечувати одночасний контроль кількох БО, що підвищує продуктивність ОТС в цілому.

9. Експерименти з імітаційною моделлю показали можливість зниження втрат очікування при реалізації методу адаптації стратегії управління чергами. Для адаптації стратегії необхідно мати таблицю рішень, яка побудована за результатами імітаційних експериментів з урахуванням особливостей ОТС.

6.5 Впровадження системи моніторингу та диспетчеризації в департаменті керування персоналом

В даному підрозділі розглядається застосування розробленої методології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в тих практичних додатках, для яких характерна апріорна і/або поточна критеріальна невизначеність і повторюваність ситуацій вибору. У перелік проектно-дослідницьких робіт увійшли наступні: обстеження ОТС, аналіз системних вимог, проектування архітектури, детальне проектування, кодування і тестування, інтеграція компонентів, експертне оцінювання співробітників для встановлення рівня компетентностей по виконуваних в ОТС БО, інсталяція і дослідна експлуатація системи.

На етапі обстеження ОТС встановлено зміст функцій ОТС управління персоналом, які беруться до уваги:

1. Відділ планування персоналу:

– визначає потреби в кадрах на конкретний період часу;
– проводить оцінку майбутніх потреб у персоналі;
– проводить оцінку пропозиції робочої сили на основі аналізу поточних ресурсів з урахуванням втрат за рахунок плинності кадрів;
– розробляє план дій щодо запобігання прогнозної нестачі або надлишку робочої сили.

2. Відділ набору персоналу і адаптації:

– здійснює взаємозв'язок із зовнішніми джерелами, що забезпечують кадрами організацію: кадрові агентства, служби зайнятості та ін.;

– проводить аналіз внутрішніх джерел відбору персоналу;

– організовує підбір і відбір персоналу (проведення професійної орієнтації, розробка і проведення процедури відбору; укладення трудового договору);

– здійснює введення в посаду нових працівників;

– проводить роботу по організації успішної адаптації персоналу;

– веде співбесіду з тими що звільняються.

3. Відділ стимулювання та соціального захисту:

- проводить аналіз посадових обов'язків;

– здійснює класифікацію робіт і їх тарифікацію;

– розробляє систему оплати праці і преміювання (спільно з планово-фінансовим відділом);

– створює соціальну інфраструктуру організації (колективне добровільне страхування, надання соціальних пільг; пенсійне забезпечення; виплата компенсацій при звільненнях; організація харчування і відпочинку працівників та ін.);

– формує і супроводжує корпоративну культуру в організації.

4. Відділ досліджень по персоналу:

– проводить вивчення питань кадрової політики;

– обстежує стан морально-психологічного клімату в організації;

– розробляє правила, процедури проведення робіт з управління персоналом, а також форми документообігу;

– готує довідкові матеріали.

5. Відділ професійного навчання і розвитку персоналу:

– організовує систематичне професійне навчання і контролює його;

– укладає договори на підготовку персоналу з навчальними закладами та центрами;

– організовує періодичне підвищення кваліфікації персоналу;
– організовує по мірі необхідності професійну перепідготовку персоналу;
– веде облік і статистику професійного навчання персоналу;
– формує кадровий резерв і проводить роботу з ним;
– планує і контролює розвиток ділової кар'єри працівників.

6. Відділ соціально-трудових відношень:

– вирішує правові питання з усіх функцій управління персоналом;
– здійснює узгодження локальних нормативних і розпорядчих документів;
– проводить роботу по вирішенню конфліктів (виробничих і особистісних);
– бере участь в розробці колективних договорів і угод;
– сприяє розвитку зв'язків і відношень між адміністрацією і персоналом;
– взаємодіє з профспілками.

7. Відділ оцінки та контролю:

– розробляє методики оцінки на кожен етап роботи персоналу;
– проводить оцінку при наступних етапах: відборі кандидатів на вакантну посаду; закінчення випробувального терміну; поточної оцінки роботи; просуванні в кар'єрі; необхідності в навчанні; формуванні кадрового резерву;
– організовує аудит персоналу;
– організовує атестацію робочих місць і умов праці;
– розробляє критерії оцінки ефективної роботи служби управління персоналом.

Кожна з цих груп функцій може бути розбита на підфункції і операції. Відповідно, в рамках даної роботи підфункції реалізуються як БП, а операції – як БО. Під час проведення підготовчих робіт по автоматизації ОТС необхідне детальне розчленування кожної функції на підфункції, а підфункції – на операції.

При розробці СМД увагу було сконцентровано на часто повторюваних, рутинних процесах кадрової служби, таких як підбір, прийом і звільнення співробітників, формування графіка відпусток, організація відряджень.

6.5.1 Опис основних бізнес-процесів департаменту

HR-департамент вирішує три основні завдання – найм персоналу, супровід роботи і звільнення співробітників. У великих компаніях сюди додаються процеси планування кадрової політики – скільки людей необхідно підприємству, і коли вони будуть потрібні з урахуванням зростання компанії. У зону відповідальності кадрової служби також входить група завдань з обліку кадрів / вакансій і кадровому документообігу. Саме по тих процесах було сформовано технологічні карти, сценарії бізнес-операцій та словники ключових словосполучень та аспектів, що у сукупності зі сценарієм БО складають компетенції b-агентів. Окрім цього довелося узгоджувати регламент процедур електронного документообігу.

6.5.1.1 Найм персоналу

Бізнес-процес найму персоналу можна розбити на кілька складових. Це підбір претендентів, який включає формування заявки на пошук співробітника, пошук і випробування кандидатів. До процедур найму відносять оформлення затвердженого кандидата в штат і наступні процедури по адаптації і навчання нового співробітника.

Сукупність процесів найму персоналу.

Модель типового маршруту найму персоналу, включає такі етапи:

– подача і узгодження заявки на пошук співробітників за новою вакансії
– відправка заявки на узгодження керівнику;
– організація пошуку кандидатів;
– організація співбесіди з кандидатом;
– узгодження з керівником кандидатури, яка пройшла співбесіду;
– оформлення співробітника на роботу.

Необхідно внести дату та час співбесід в календарі фахівців (попередньо їм буде відправлено на погодження час зустрічі), відправити тестове завдання на

розгляд відповідальним співробітникам. За підсумками випробувань керівники оцінюють кандидатуру – це дозволяє швидко зібрати думки про претендента і прийняти об'єктивне рішення з працевлаштування.

6.5.1.2 Управління відпустками і періодами відсутності

Автоматизація процесів узгодження планових і непередбачених відсутностей співробітників на робочому місці має на увазі можливість для співробітника запустити процес узгодження відсутності. Система повинна автоматично повідомити керівника і перебудувати маршрути бізнес-процесів.

При цьому сам співробітник отримає завдання роздрукувати заяву на фактичний період відсутності. Заява має бути генерованою і прикріпленою до задачі. Документ потрібно підписати і занести оригінал до відділу кадрів. Щоб забезпечити дотримання цієї вимоги, термін виконання завдання обмежений.

Окремим складним завданням є формування щорічного графіка планових відпусток. У цьому процесі задіяно багато виконавців. Бізнес-процес передбачає відправлення співробітникам повідомлення про необхідність спланувати дати відпусток. Ліміти днів відпустки система має розраховувати автоматично. Система має акумулювати дані по всім співробітникам компанії, перевіряти заплановані дати на можливість перетинів з фахівцями, що «заміщають». У разі збігу дат, співробітників сповіщають про необхідність скорегувати дати відпустки. Відомості по відпустках затверджуються на рівні керівників відділів і надходять в кадрову службу для формування зведеного графіка відпусток.

Система має автоматично перевіряти графік відпусток і виявляти співробітників, які виходять у відпустку в найближчі два тижні. Вони отримують відповідні повідомлення з проханням оформити і передати заяву на відпустку в кадрову службу, або скорегувати дати відпустки.

У невеликих компаніях, що не становлять щорічний графік відпусток, для ефективного управління буває досить автоматизувати процес подачі та узгодження заяви на відгул або відпустку, з подальшою передачею в кадрову

службу.

Для зручності керівників відділів, менеджерів проектів система надає зведений звіт – хто із співробітників відсутній на робочих місцях, в який час і з яких причин.

Окремо розглянуто питання документування роботи з кадрами – обробка, видача і зберігання відповідних документів, підготовка звітів, узгодження документів. Це обумовило розгляд базових операцій електронного документообігу як складових частин багатьох БП.

6.5.2 Класифікація бізнес-процесів та бізнес-операцій

При формуванні b-компетенцій і баз даних (включаючи дані про компетентності співробітників) при початковому впровадженні СМД були прийняті до уваги такі класи бізнес-процесів:

Клас А. Прийом на роботу (заповнення вакансії)

БО1. Підбір кандидата part_1.

БО1. Підбір кандидата part_2.

Клас В Співбесіда з кандидатом.

БО1 Співбесіда з кандидатом.

Клас С Переведення.

БО1 Оформлення наказу (Базова).

БО2 Узгодження наказу (Базова).

БО3 Затвердження наказу (Базова).

Клас D Звільнення.

БО1 Оформлення наказу (Базова).

БО2 Узгодження наказу (Базова).

БО3 Затвердження наказу (Базова).

Клас Е Облік робочого часу.

БО1 Накопичення даних за період (Базова).

БО2 Формування звітів (Базова).

Клас F Складання графіка відпусток.

БО1 Накопичення даних за період (Базова).

БО2 Формування графіку (Базова).

БО3 Коригування графіку (Базова).

БО4 Узгодження наказу (Базова).

БО5 Затвердження наказу (Базова).

Отже, маємо декілька так званих базових БО, які застосовуються у різних БП і є стандартними для системи електронного документообігу підприємства (СЕДО). Для деяких базових БО необхідно узгодити регламент виконання, оскільки дані цих БО циркулюють у СЕДО підприємства.

6.5.3 Розробка узгодженого регламенту виконання базових бізнес-операцій документообігу

Як було сказано в п.п. 6.6.1, базові БО зв'язують процеси, що відбуваються в СМД із системою документообігу підприємства. Тому необхідно складати регламент базових БО таким чином, щоб задовольнити з одного боку вимоги бізнес-логіки підприємства, а з іншого боку – вимоги, які накладає функціонування СМД, де співробітник ОТС працює з програмним b-агентом.

6.5.3.1 Базова БО «Візування та погодження проектів електронних документів»

Частину електронних документів, які є результатом виконання вказаних вище БО, необхідно візувати та погоджувати. Тому у регламенті цьому процесу приділяється увага. Електронні документи супроводжуються реєстраційно-моніторинговою карткою (РК). Це картка в електронній формі, що містить вичерпну інформацію про створення, одержання, проходження, виконання, відправлення, зберігання та знищення документа незалежно від форми його створення.

Погодження проекту електронного документа полягає у його візуванні уповноваженими особами, зазначеними в РК. Погодження забезпечується системою електронного документообігу підприємства на підставі сформованого переліку погоджувачів, зазначених у РК. Зв’язок СМД з системою електронного документообігу здійснюється через відповідний API.

Уповноважені особи інших структурних підрозділів за фактом надходження до них через систему електронного документообігу підприємства проекту електронного документа беруть участь у його опрацюванні в частині, що стосується їх компетенції шляхом додавання коментарів у відповідні поля РК. Тому необхідно, щоб дані про тих осіб були доступними у процесах СМД.

Погоджувач, яким отримано проект електронного документа, повинен його погодити або повернути із вмотивованими зауваженнями та пропозиціями протягом строків, визначених інструкцією з діловодства підприємства. Якщо дана БО виконується СМД, у лог БО заносяться усі дані щодо часу, впродовж якого здійснюється розгляд і погодження документу.

Інформація про погодження, відхилення або повернення автоматично вноситься до РК, а також до логу БО, якщо дана БО виконується у СМД. Погодження та підписання проекту електронного документа здійснюється у такому порядку:

– проект електронного документа спочатку візується його автором (керівником підрозділу та уповноваженими особами інших структурних підрозділів підприємства, зазначеними в БО і в маршруті документа (в РК);

– далі проект електронного документа візується заступником керівника підприємства, який координує роботу структурного підрозділу, відповідального за підготовку проекту електронного документа;

– у разі погодження проектів наказів (розпоряджень) в електронній формі проект наказу (розпорядження) візується уповноваженим представником юридичної служби за результатами проведення юридичної експертизи;

– проект електронного документа візується всіма посадовими особами

(погоджувачами), наявність візи яких передбачено в сценарії БО і, відповідно у РК, при цьому візування проекту електронного документа не затверджує зазначений документ;

– проект підписується керівником (підписувачем), який затверджує електронний документ.

Не погоджений у відповідному порядку проект електронного документа не передається на підписання (затвердження). СМД фіксує таку подію, як ситуацію, яку треба обробляти на рівні менеджера ОТС.

За необхідністю, свою позицію щодо опрацьованого проекту електронного документа уповноважена особа викладає у відповідному полі РК.

Якщо виконавець вносить редакційні правки до проекту електронного документа система електронного документообігу:

– зберігає поточну версію проекту електронного документа (без редакційних правок) з усіма накладеними на неї електронними цифровими підписами (що підтверджуються) в архіві версій проекту електронного документа;

– створює нову версію проекту електронного документа (без електронних цифрових підписів), яка стає поточною версією проекту електронного документа і до якої зберігаються всі внесені редакційні правки. При складанні технологічної карти БП для СМД аналітик повинен врахувати цю ситуацію як альтернативний потік подій.

Усі версії проекту зберігаються в архіві версій в реєстраційно-моніторинговій картці. Редагування версій, збережених в архіві реєстраційно-моніторингової картки блокується. Редагування поточної версії блокується після затвердження документа.

За рішенням керівника підприємства, визначеного в інструкції з діловодства підприємства, погодження проекту електронного документа (за виключенням наказів керівника підприємства) може здійснюватися у такому

порядку:

– проект електронного документа візується його автором, після чого система електронного документообігу автоматично одночасно надсилає його на ознайомлення керівнику підпорядкованого підрозділу та керівнику структурного підрозділу (відповідального підрозділу), заступнику керівника підприємства, який координує роботу відповідального підрозділу, та уповноваженим особам інших структурних підрозділів підприємства, зазначених в РК;

– погоджувач, зазначений в РК, протягом строку, визначеного згідно з інструкцією з діловодства підприємства та технологічної карти БП залежно від обсягу та/або виду документа, має ознайомитися з проектом електронного документа та у разі наявності зауважень вносить їх до проекту електронного документа;

– якщо погоджувач протягом зазначеного в РК строку не погодив та не вніс зауважень до проекту електронного документа, система електронного документообігу автоматично вносить до реєстраційно-моніторингової картки інформацію про перевищення строку погодження, та надсилає погоджувачу попередження про невиконання роботи. Ця подія фіксується у СМД.

У разі погодження проекту електронного документа уповноважена особа іншого структурного підрозділу, зазначеного в РК, візує проект електронного документа.

Після візування всіма зазначеними в РК погоджувачами система електронного документообігу підприємства автоматично надсилає проект електронного документа на підписання зазначеному в РК підписувачу.

Процедура погодження проекту електронного документа контролюється його автором (виконавцем), а у разі його відсутності особою, яка виконує його обов’язки. У СМД повинні зберігатися дані про заступників.

Погоджений проект електронного документа автоматично передається наступному погоджувачу згідно з переліком погоджувачів та підписувачів, зазначених у РК. Черговість надання права погодження система електронного

документообігу визначає автоматично за правилами, які зафіксовано в окремій таблиці системи.

У разі внесення будь-яких редакційних правок до проекту електронного документа система електронного документообігу підприємства автоматично відкликає його з погодження та повертає проект електронного документа автору. Ця подія фіксується у СМД як альтернативна ланка.

Автор проекту електронного документа після повернення йому відхиленого проекту документа здійснює його доопрацювання, за результатами якого:

– приймає (повністю або частково) надані зауваження, пропозиції, редакційні правки та надсилає на повторне погодження нову версію проекту електронного документа;

– вмотивовано відхиляє надані зауваження та пропозиції із зазначенням підстав у відповідному коментарі, що вноситься до реєстраційно-моніторингової картки, з накладанням електронного цифрового підпису автора проекту, після чого повертає проект електронного документа на погодження у попередній його редакції без необхідності його перевізування погоджувачами, якими проект було погоджено. Ця подія фіксується у СМД як альтернативна ланка.

Проект електронного документа вважається погодженим та може бути підписаний лише після того, як його буде завізовано всіма погоджувачами, зазначеними в РК.

6.5.3.2 Базова БО «Підписання проектів електронних документів»

Посадові особи є підписувачами проектів електронних документів в межах своїх повноважень. Підписувачі проектів електронних документів, що надсилаються підприємствам, установам та організаціям, які не належать до державного сектору економіки, громадянам, визначаються інструкцією з діловодства підприємства. У базі даних СМД повинна зберігатися інформація щодо повноважень підписувачів.

Уповноважена особа служби керівника:

– перевіряє проект електронного документа на предмет його відповідності вимогам щодо підготовки відповідних проектів;

– перевіряє дійсність усіх накладених на проект електронного документа електронних цифрових підписів;

– визначає проект електронного документа відповідним для передавання його на підписання керівнику підприємства та у разі визначення його таким візує проект та передає його керівнику підприємства на підпис;

Після підписання документа керівником підприємства в електронній формі він автоматично реєструється та надсилається через електронну пошту.

Відхилений підписувачем проект повертається системою електронного документообігу підприємства його автору із зазначенням вмотивованої причини відхилення. Цю подію СМД фіксує у логах БО.

Отже базові бізнес-операції «Погодження електронного документа» та «Підписання проектів електронних документів» вимагають узгодженої взаємодії між СЕДО та СМД.

6.5.4 Етапи підготовки сценарію БО і компетенції ботів

Після визначення класу БП і класу БО, аналітик за допомогою спеціального програмного модуля створює технологічну карту (ТК), по якій на наступному етапі програма-інтерпретатор створює сценарії і b-компетенції для описаних в карті БО. При цьому кожна БО поділяється на мікрооперації (МО). На рис. 6.21 показано інтерфейс модуля створення ТК та сценарію БО.

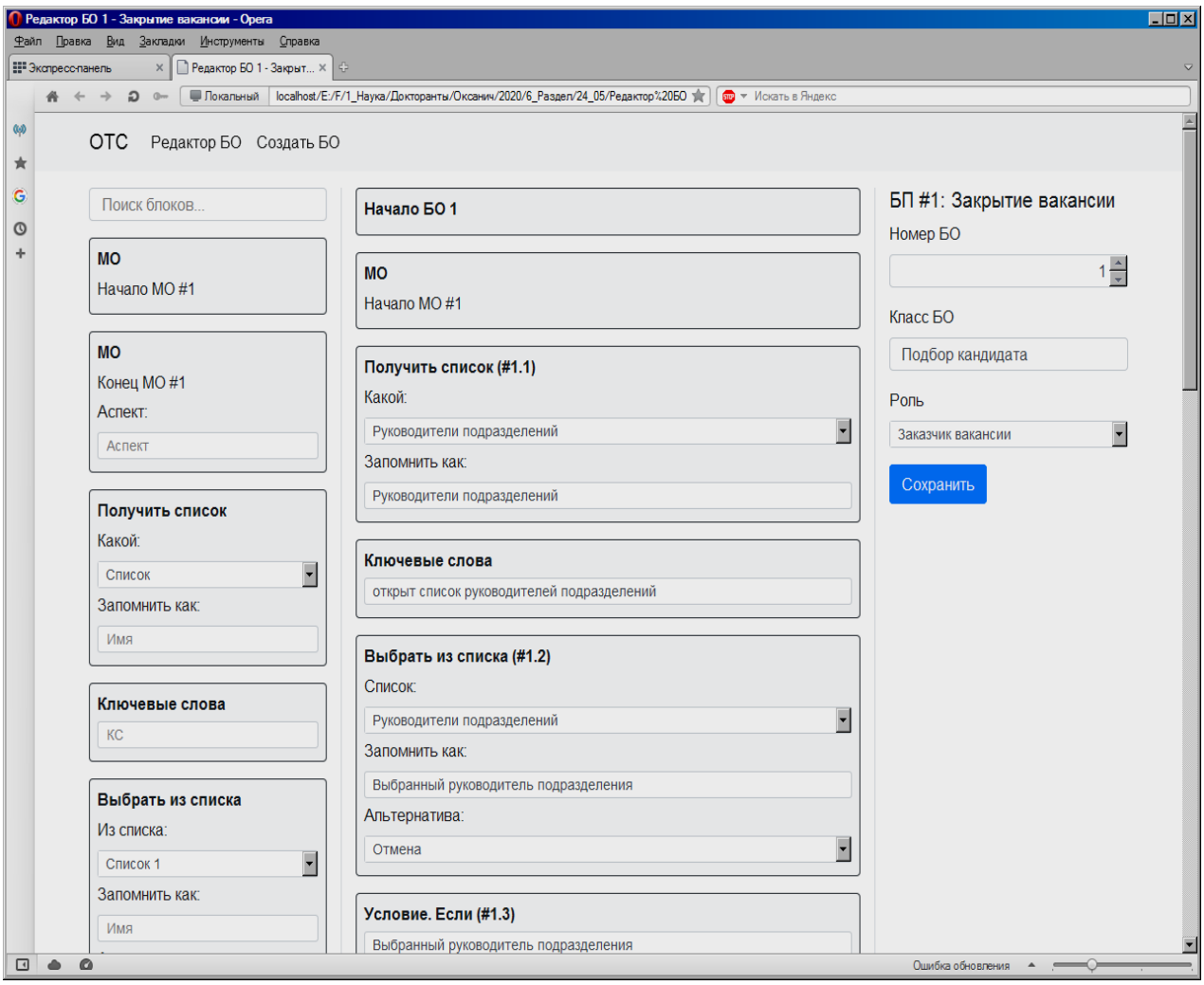

Рисунок 6.21 – Інтерфейс модуля створення ТК та сценарію БО

Розглянемо етапи підготовки сценарію на прикладі процесів в департаменті управління кадрами.

Технологічна карта БП «Закриття вакансії»

1. Бізнес-процес «Закриття вакансії».

Ролі:

1. Замовник вакансії – ЗВ;

2. Керівник – К;

3. Співробітник HR – CHR.

4. Бот.

БО1. **Підбір кандидата part_1**

Клас даної БО передбачає наявність ролей «ЗВ», «К», «CHR», «Бот».

Відбувається діалог програми (Пр) і аналітика (Ан).

Аналітик натискає кнопку Пуск (початок роботи).

Пр: МО.1. введіть події.

Ан:

МО1.1. ЗВ запитує список керівників підрозділів.

Бот відкриває список керівників підрозділів.

КС: відкритий список керівників.

МО1.2. ЗВ вибирає зі списку керівника підрозділу.

Ан: натискає кнопку Альтернативні гілки.

МО1.3 Скасування операції.

Ан: натискає кнопку Кінець МО.

Пр: введіть аспект.

Ан: вводить в поле КС аспект: список керівників.

Пр: введіть максимальну тривалість операції.

Ан: 30 хв.

Ан: натискає кнопку Продовжити.

Пр: МО.2. введіть події.

Ан:

МО.2.1. ЗВ запитує шаблон заявки на закриття вакансії.

Бот відкриває шаблон заявки. КС: відкритий шаблон заявки.

МО.2.2. ЗВ заповнює шаблон заявки і фіксує готовність.

МО.2.3. Бот відправляє заповнену заявку на затвердження керівнику.

КС: заявка відправлена на затвердження.

Ан: натискає кнопку Альтернативні гілки.

МО2.4 Скасування операції. Перехід на МО1.

Ан: натискає кнопку Кінець МО.

Пр: введіть аспект.

Ан: вводить в поле КС аспект: заявка на закриття вакансії.

Пр: введіть максимальну тривалість операції.

Ан: 30 хв.

Ан: натискає кнопку Продовжити.

Пр: МО.3. введіть події.

Ан:

МО3.1. К розглядає заявку і дає висновок.

МО3.1.1. Висновок Погоджено. Бот відправляє заявку CHR.

КС: заявка відправлена CHR.

Ан: натискає кнопку Альтернативні гілки.

МО3.1.2. Висновок Не погоджено. Бот відправляє заявку ЗВ.

КС: заявка відправлена ЗВ на доопрацювання. Перехід на МО2.2.

Ан: натискає кнопку Кінець МО.

Пр: введіть аспект.

Ан: вводить в поле КС аспект: узгодження заявки з керівником.

Пр: введіть максимальну тривалість МО.

Ан: 60 хв.

Ан: натискає кнопку Продовжити.

Пр: МО.4. введіть події.

Ан:

МО.4.1. CHR відкриває заявку і зберігає її.

CHR готує список кандидатів поза даної БО.

Ан: натискає кнопку Кінець МО.

Пр: введіть аспект.

Ан: вводить в поле КС аспект: список кандидатів.

Ан: натискає кнопку Кінець БО.

БО2. **Підбір кандидата part_2**

Клас даної БО передбачає наявність ролей «ЗВ», «CHR», «Бот».

Аналітик натискає кнопку Пуск (початок роботи).

Пр: МО.1. введіть події.

Ан:

МО1.1. За результатами співбесіди CHR визначає обраного кандидата і направляє ЗВ довідку про кандидата. Бот передає довідку ЗВ.

МО1.2. ЗВ розглядає довідку і кандидатуру.

Ан: натискає кнопку Альтернативні гілки.

МО1.2.1. Кандидатура узгоджена. Бот відправляє CHR повідомлення.

КС: Кандидатура узгоджена ЗВ.

Бот переходить в точку Кінець БО.

МО1.2.2. Кандидатура не узгоджена. Бот відправляє CHR повідомлення.

КС: вакансію не зачинено. Перехід на МО1.1.

Ан: натискає кнопку Кінець МО.

Пр: введіть аспект

Ан: вводить в поле КС аспект: узгодження кандидатури з ЗВ

Пр: введіть максимальну тривалість МО

Ан: 20 хв

Ан: натискає кнопку Кінець БО.

Ан: натискає кнопку Кінець БП.

Бізнес-процес «Співбесіда»

Клас БП передбачає наявність ролей:

– Замовник вакансії «ЗВ»;
– Той, хто затверджує «ЗТ»;
– Той, хто проводить співбесіду «Сб»;
– Співробітник ОК «CHR»;
– Бот.

БО1. Співбесіда з кандидатом.

Ан: Пуск.

Пр: МО.1. введіть події.

Ан:

МО1.1. CHR вибирає зі списку кандидата і призначає дату співбесіди. Бот

створює подія в календарі для CHR і для Сб.

Бот оповіщає Сб.

КС: співбесіда_дата _кандидат_імя.

МО1.2. Сб проводить співбесіду. Фіксує результат.

Бот фіксує результат.

Ан: натискає кнопку Альтернативні гілки.

МО1.2.1 Сб фіксує негативний результат співбесіди.

Бот фіксує подія "негативний результат співбесіди".

КС: результат_подія_негативний.

Перехід до МО1.1.

МО1.2.2 Сб фіксує позитивний результат співбесіди.

Бот фіксує подія "позитивний результат співбесіди".

КС: результат_ подія_позитивний. Перехід до МО2.

Ан: натискає кнопку Кінець МО.

Пр: введіть аспект.

Ан: вводить в поле КС аспект: Результат співбесіди.

Пр: введіть максимальну тривалість МО.

Ан: «не регламентоване».

Ан: натискає кнопку Продовжити.

Пр: МО.2. введіть події.

Ан:

МО2.1. Бот пересилає довідку про кандидата з результатом співбесіди ЗВ.

КС: довідка кандидат_ ім'я відправлено ЗВ.

МО2.2. ЗВ розглядає довідку і кандидатуру.

Ан: натискає кнопку Альтернативні гілки.

МО2.2.1. Кандидатура узгоджена. Бот відправляє CHR повідомлення.

КС: кандидатура погоджена з ЗВ.

Бот відправляє довідку з результатами узгодження ЗТ.

Перехід в МО3.

МО2.2.2. Кандидатура не узгоджена. Бот відправляє CHR повідомлення.

КС: кандидатура не узгоджена з ЗВ.

Перехід на МО1.1.

Ан: натискає кнопку Кінець МО.

Пр: введіть аспект.

Ан: вводить в поле КС аспект: узгодження з ЗВ.

Пр: введіть максимальну тривалість МО.

Ан: 40 хв.

Ан: натискає кнопку Продовжити.

Пр: МО3. введіть події

Ан:

МО3.1. ЗТ розглядає довідку про кандидата.

Ан: натискає кнопку Альтернативні гілки.

МО3.1.1. Кандидатура затверджена. Бот відправляє CHR повідомлення.

КС: кандидатуру затверджено.

Перехід на Кінець БО.

МО3.1.2. Кандидатура не затверджена. Бот відправляє CHR повідомлення.

КС: кандидатуру не затверджено.

Перехід на МО1.1.

Ан: натискає кнопку Кінець МО.

Пр: введіть аспект.

Ан: вводить в поле КС аспект: твердження кандидата.

Пр: введіть максимальну тривалість МО.

Ан: 60 хв.

Ан: натискає кнопку Кінець БО.

Ан: натискає кнопку Кінець БП.

Програма інтерпретує введені дані в сценарій БО. Ключові слова імпортуються в файл сценарію і служать мітками при логуванні процесу

виконання БО і контролі виконання з боку монітора. Приклад сценарію наведено в додатку Б.

6.6 Загальні результати впровадження системи моніторингу та диспетчеризації

СМД було впроваджено у службі керування персоналом ПрАТ «Науково-технічний центр «Інформаційні системи». Склад впровадження:

– модуль «Підготовка процесів», що забезпечує заповнення технологічних карт бізнес-процесів підрозділу та сценаріїв виконання процесів та операцій;

– модуль «Диспетчер», що забезпечує запуск бізнес-процесів, розподіл бізнес-операцій по робочих місцях, ведення обліку завантаженості робочих місць, ранжування черг, діагностику ситуацій на робочих місцях та розрахунок витрат робочого часу, ведення бази даних по кожному бізнес-процесу;

– модуль «Моніторинг», що забезпечує контроль виконання бізнес-операцій на робочих місцях, контроль функціонування програмних агентів, підключення баз компетенцій відповідно до класу операцій, звітування перед диспетчером підрозділу;

– модуль «Виконавець», що забезпечує автоматизоване виконання бізнес-операцій, комунікацію з персоналом, що відповідає за певні операції у підрозділі, комунікацію з програмним агентом-монітором.

У таблиці 6.8 показано фрагмент таблиці результатів оптимізації стратегії керування чергами у департаменті керування персоналом.

Таблиця 6.8 – Фрагмент таблиці результатів оптимізації стратегії керування чергами у департаменті керування персоналом

№	Кількість БП	Відносна середня інтенсив-ність λ_c	Відносне значення завантажено-сті, ρ	Ступінь узгодженості розподілу БО	X_1	X_2
1	1	0,12	0,17	1,0	0,87	0,44
2	1	0,12	0,18	1,0	0,87	0,44
3	2	0,31	0,23	1,0	0,84	0,44
4	2	0,33	0,28	1,0	0,82	0,44
5	2	0,36	0,28	1,0	0,79	0,44
6	3	0,41	0,32	0,9	0,79	0,42
7	4	0,48	0,35	0,87	0,74	0,42
8	4	0,48	0,35	0,85	0,74	0,41
9	4	0,48	0,37	0,85	0,72	0,42
10	4	0,53	0,44	0,9	0,75	0,35
11	4	0,44	0,45	0,9	0,74	0,38
12	4	0,44	0,45	0,9	0,72	0,40
13	5	0,64	0,57	0,76	0,72	0,36
14	5	0,67	0,57	0,9	0,70	0,37
15	5	0,77	0,62	0,82	0,70	0,35
16	5	0,79	0,65	0,84	0,68	0,35

За результатами досліджень виявилося, що у ОТС департаменту керування персоналом скоротився середній час виконання операцій та зменшився час очікування у чергах на виконання операцій (рис. 6.22). Позитивний ефект від впровадження СМД забезпечується за рахунок скорочення вартості затримок при виконанні бізнес-процесів, скорочення втрат часу на підготовку підсумкових форм і управлінських рішень, та скорочення часу зайнятості персоналу на виконанні рутинних операцій.

Сумарний економічний ефект від впровадження вказаних підсистем за період з 10.08.2019 р. по 5.02.2020 р. склав 58.4 тис. грн., що підтверджено актом впровадження.

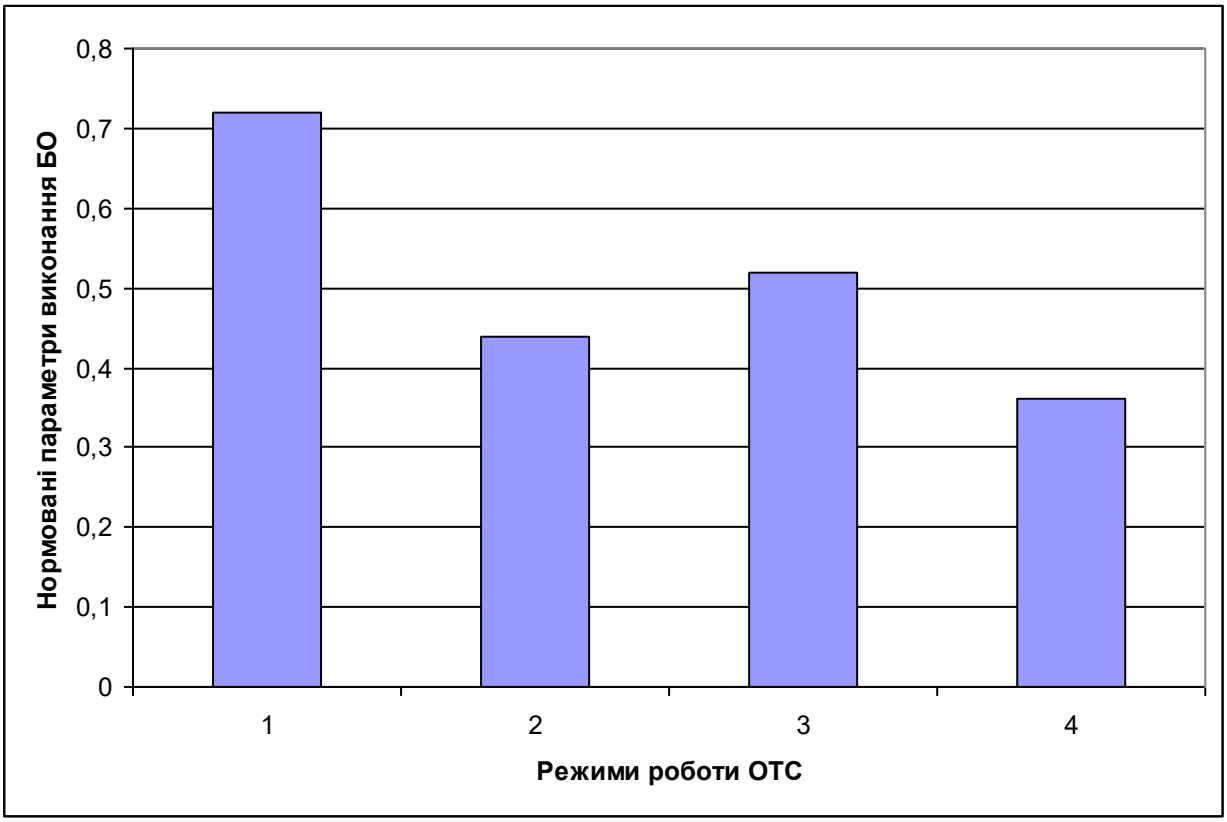

Рисунок 6.22 – Порівняння параметрів виконання бізнес-операцій в ОТС керування персоналом:

1 – середній час виконання БО без застосування СМД;

2 – середній час виконання БО із застосуванням СМД;

3 – середній час очікування заявки на виконання БО без застосування СМД;

4 – середній час очікування заявки на виконання БО із застосуванням СМД.

Впровадження СМД також відбулося у Випробувальному центрі продукції вагонобудування державного підприємства «УкрНДІВ». У складі впровадження – програмні модулі, що забезпечують раціональний розподіл завдань з урахуванням пріоритетності робіт, завантаженості та компетентностей виконавців. Програмні модулі 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.

В період з 04.10.2019 по 27.03.2020 при експлуатації програмного забезпечення за рахунок підвищення ефективності оперативного управління випробуваннями середній час виконання завдань скоротився на 15,2%.

Таким чином, застосування програмного забезпечення, що реалізує динамічне формування виконавчих груп, дозволило підвищити ефективність роботи Випробувального центру продукції вагонобудування ДП «УкрНДІВ».

Програмні модулі моніторингу та маршрутизації пройшли випробування та рекомендовані до впровадження у системі електронного документообігу виконкому м. Кременчука (акт випробувань від 27.11.2018 р.).

Результати дисертаційних досліджень у вигляді системи моніторингу та диспетчеризації виробничого процесу впроваджено на ООО «Статус», яке спеціалізується у виробництві установок типу «Редмет-30» і «Редмет-60» для виготовлення кремнію, устаткування для переробки плат радіоелектронної техніки, вакуумних печей нестандартних конструкцій.

Програмне забезпечення, що встановлено, здійснює оптимальний розподіл виробничих завдань з урахуванням їх пріоритетності, завантаження збиральних бригад та спеціалістів, які мають різні компетентності. Програмні модулі виконують:

– ведення бази даних по завантаженості виконавців і оперативних даних з виконання завдань;

– моніторинг часу виконання завдань;

– розрахунок витрат часу і завантаження виконавців;

– динамічну корекцію планів виконання завдань з урахуванням поточної ситуації.

З початку експлуатації програмного забезпечення за рахунок підвищення ефективності оперативного управління виробництвом скоротилися витрати часу на планування та перепланування робіт. Час виконання завдань скоротився у середньому на 14,3%.

Результати дисертаційного дослідження також впроваджено в навчальний процес у Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського.

Висновки до розділу 6

1. Реалізовано інформаційну технологію динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС, а саме:

– розроблено структуру комплексу функціональних задач і структуру системи моніторингу і диспетчеризації, зокрема загальну структуру СМД 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.

– розроблено імітаційну модель для дослідження властивостей системи з динамічною маршрутизацією бізнес-процесів і оптимізації стратегії керування чергами, та описано користувальницький інтерфейс програмного модулю підсистеми диспетчеризації та моделювання.

– наведено результати експериментів на імітаційній моделі, в ході яких доведено працездатність та ефективність системи моніторингу і диспетчеризації бізнес-процесів на основі методів і моделей динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС.

2. Систему моніторингу і диспетчеризації бізнес-процесів впроваджено в ОТС департаменту керування персоналом ПрАТ «Науково-технічний центр «Інформаційні системи». Зокрема виконано:

– опис основних бізнес-процеси HR-департаменту;
– класифікацію бізнес-процесів та бізнес-операцій;
– розроблено узгоджений регламент виконання базових бізнес-операцій документообігу «Візування та погодження проектів електронних документів» та «Підписання проектів електронних документів»;
– описано етапи підготовки сценарію БО і компетенції b-агентів.

3. За результатами досліджень виявилося, що у ОТС департаменту керування персоналом скоротився середній час виконання операцій та зменшився час очікування у чергах на виконання операцій. Позитивний ефект від впровадження СМД забезпечується за рахунок скорочення вартості затримок при виконанні бізнес-процесів, скорочення втрат часу на підготовку підсумкових форм і управлінських рішень, та скорочення часу зайнятості персоналу на виконанні рутинних операцій.

Сумарний економічний ефект від впровадження вказаних підсистем за період з 10.08.2019 р. по 5.02.2020 р. склав 58.4 тис. грн., що підтверджено актом впровадження.

4. Впровадження СМД також відбулося у Випробувальному центрі продукції вагонобудування державного підприємства «УкрНДІВ». У складі впровадження – програмні модулі, що забезпечують раціональний розподіл завдань з урахуванням пріоритетності робіт, завантаженості та компетентностей виконавців. Програмні модулі 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.

В період з 04.10.2019 по 27.03.2020 при експлуатації програмного забезпечення за рахунок підвищення ефективності оперативного управління випробуваннями середній час виконання завдань скоротився на 15,2%.

Таким чином, застосування програмного забезпечення, що реалізує динамічне формування виконавчих груп, дозволило підвищити ефективність роботи Випробувального центру продукції вагонобудування ДП «УкрНДІВ».

Програмні модулі моніторингу та маршрутизації пройшли випробування та рекомендовані до впровадження у системі електронного документообігу виконкому м. Кременчука (акт випробувань від 27.11.2018 р.).

Результати роботи у вигляді системи моніторингу та диспетчеризації виробничого процесу впроваджено також на ООО «Статус», яке спеціалізується на виготовленні установок типу «Редмет-30» і «Редмет-60» для виробництва кремнію, устаткування для переробки плат радіоелектронної техніки, вакуумних печей нестандартних конструкцій. Програмне забезпечення, що встановлено, виконує оптимальний розподіл завдань з урахуванням їх пріоритетності та рівня завантаження збиральних бригад і спеціалістів, які мають різні компетентності. Програмні модулі здійснюють ведення бази даних по завантаженості виконавців і оперативних даних з виконання завдань, моніторинг часу виконання завдань, розрахунок витрат часу і завантаження виконавців, динамічну корекцію планів виконання завдань з урахуванням поточної ситуації. З початку експлуатації програмного забезпечення за рахунок підвищення ефективності оперативного управління виробництвом скоротилися витрати часу на планування та перепланування робіт. Час виконання завдань скоротився у середньому на 14,3%.

Результати дисертаційного дослідження також впроваджено в навчальний процес у Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського.

Основні наукові результати розділу 6 опубліковано в роботах [1], [5], [7], [22], [26].

ВИСНОВКИ

В дисертації поставлено та вирішено актуальну науково-прикладну проблему – створення методологічних засад і відповідних технологічних засобів динамічного розподілу виконавчих ресурсів в організаційно-технічних системах під час виконання множини бізнес-процесів.

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 удосконалення методології та технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів при виконанні потокових процесів в умовах мінливих умов внутрішнього та зовнішнього середовища. Це дозволило сформувати мету і завдання дослідження.

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

– запропоновано концептуальну онтологічну модель проблемної області синтезу структури керованої виконавчої системи, що дає теоретичні передумови вирішення завдання оптимального формування виконавчих груп в рамках організаційно-технічних систем та забезпечує вкладеність і багаторівневість при синтезі безперервних і дискретних керованих систем;

– удосконалено методологію створення інформаційної технології 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 логічних, математичних, функціональних моделей і методів, які становлять у своїй сукупності і взаємозв'язку потрібну інформаційну технологію.

– створено концепцію узагальненої структури системи управління виробничого класу, яка передбачає використання вкладеного матричного опису зв'язків між елементами системи і агентного підходу, в якому множину агентів розділено на підмножини по функціях виконання, моніторингу та диспетчеризації бізнес-процесу і контролю його якості. Це дає теоретичну основу для побудови множини автоматичних і ергатичних систем з динамічним формуванням виконавчих структур в різних предметних областях.

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

3. Синтезовано структурні, динамічні, інформаційні моделі, а також методи, що складають основу інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в автоматизованих організаційно-технічних системах. У тому числі:

– 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.

– 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.

– розроблено елементи інформаційної технології формування компетенцій програмних агентів в автоматизованій ОТС, а саме:

а) модель спеціалізованого сервісу організаційно-технічної системи, яка заснована на використанні програмного агента і включає модель агента, модель компетенції агента, комплекс моделей інтерпретації природномовних словосполучень і базу знань, що дозволяє будувати контрольовану багатоагентну систему для виконання бізнес-процесів, яка швидко адаптується до нових бізнес-операцій;

б) комплекс моделей формування компетенції програмного агента, який містіть модель анкетної мови, концептуальну та формальну модель інтерпретації словосполучень, модель визначення найбільше значимих аспектів бізнес-операції та базу знань, що дозволяє швидко формувати різні компетенції агентів з мінімальним використанням мов програмування.

– створено модель взаємодії агентів на трьох рівнях в складі автоматизованої ОТС, яка враховує множину функцій виконання, моніторингу та диспетчеризації та відношення 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.

– розроблено комплекс критеріїв оцінки ефективності бізнес-операцій і бізнес-процесів, що реалізуються спільно людиною та програмним агентом. В комплексі враховані окремі вартісні оцінки часу функціонування людини і програмного агента 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.

– розроблено метод динамічного розподілу заявок по функціональних вузлах при виконанні бізнес-процесів в організаційно-технічній системі, який

передбачає 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 час надходження бізнес-задач.

– розроблено адаптивну стратегію управління чергами в автоматизованих організаційно-технічних системах, яка враховує в якості ознак ступінь інтенсивності потоку заявок, ступінь компетентності 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.

– розроблено метод адаптації стратегії управління чергами в автоматизованій 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.

– розроблено формальні моделі розпізнавання ситуацій і правила прийняття рішень для усунення критичних ситуацій на рівні монітора робочих місць та на рівні диспетчера автоматизованої 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 якість та надійність виконання бізнес-процесів.

4. Створено методологічно обґрунтовану інформаційну технологію динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС, в яку 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. Це дає можливість комплексної автоматизації та роботизації процесів в організаційно-технічних системах та підвищення ефективності праці в цілому.

5. Реалізовано інформаційну технологію динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС, а саме:

– розроблено структуру комплексу функціональних задач і структуру системи моніторингу і диспетчеризації, зокрема загальну структуру СМД та архітектуру програмного комплексу СМД;

– визначено функції складових частин комплексу, до якого входять модуль монітора для взаємодії з АРМ, модуль монітора для обслуговування черги БО, модуль монітора для обліку 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;

– розроблено імітаційну модель для дослідження властивостей системи з динамічною маршрутизацією бізнес-процесів і оптимізації стратегії керування чергами та описано користувальницький інтерфейс програмного модулю підсистеми диспетчеризації;

– наведено результати експериментів на імітаційній моделі, в ході яких доведено працездатність та ефективність системи моніторингу і диспетчеризації бізнес-процесів на основі методів і моделей динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС.

6. Проведено дослідження ефективності застосування теоретичних та практичних результатів роботи в задачах управління конкретними об’єктами з метою підвищення якості їх функціонування. Запропоновані методи та моделі були використані в задачах автоматизації управління департаменту керування персоналом ПрАТ «Науково-технічний центр «Інформаційні системи». Сумарний економічний ефект від впровадження системи

моніторингу та маршрутизації за звітний період склав 58,4 тис. грн.

Систему моніторингу та диспетчерізації впроваджено у випробувальному центрі державного підприємства «УкрНДІВ». Проведена перевірка підтвердила адекватність запропонованих в роботі моделей та ефективність застосування розроблених методів. Середній час виконання завдань скоротився на 15,2%.

Програмні модулі моніторингу та маршрутизації пройшли випробування та рекомендовані до впровадження у системі електронного документообігу виконкому м. Кременчука (акт випробувань від 27.11.2018 р.).

Результати роботи у вигляді системи моніторингу та диспетчеризації виробничого процесу впроваджено також на ООО «Статус», яке спеціалізується на виготовленні установок типу «Редмет-30» і «Редмет-60» для виробництва кремнію, устаткування для переробки плат радіоелектронної техніки, вакуумних печей нестандартних конструкцій. Програмне забезпечення, що встановлено, здійснює оптимальний розподіл завдань з урахуванням їх пріоритетності та рівня завантаження збиральних бригад і спеціалістів, які мають різні компетентності. З початку експлуатації програмного забезпечення за рахунок підвищення ефективності оперативного управління виробництвом скоротилися витрати часу на планування та перепланування робіт. Час виконання завдань скоротився у середньому на 14,3%.

Матеріали дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського.

Отримані результати підтверджено актами впровадження.

7. Аналіз всіх результатів дослідження та впровадження дозволяє стверджувати, що на основі реалізованих у межах інформаційної технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС досягнуто адекватні розв’язки задач, що поставлені у дисертаційної роботі. Одержані теоретичні результати відкривають можливість науково обґрунтованого розв’язання актуального кола прикладних задач, пов’язаних з автоматизацією обробки

потокових бізнес-процесів на основі методологічно обґрунтованої технології динамічного розподілу виконавчих ресурсів в ОТС.

Таким чином, поставлена проблема в дисертаційній роботі вирішена, мета дослідження досягнута. В якості можливого напряму продовження дослідження може виступити розробка методів підвищення гнучкості компетенцій програмних агентів, що виконують бізнес-операції та удосконалення програмних засобів синтезу таких компетенцій для спрощення роботи аналітиків при автоматизації управління складними системами.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[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", *Радиоелектроніка та інформатика*, №4 (87), с. 61–68, 2019.

[3] И. Г. Оксанич, И. В. Шевченко, и Ю. А. Краснопольская, "Отображение описания бизнес-процесса в операционное пространство организационно-технической системы", *Радіоелектроника 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 Национального университету кораблестроения имени адмирала Макарова*, № 1(475), с. 174–180, 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: https://doi.org/10.32434/2521-6406-2019-6-2-51-57.

[7] І. Г. Оксанич, О. П. Слюсаренко, та І. В. Шевченко, "Формування компетенцій агентів у багатоагентній системі, орієнтованій на виконання бізнес-операцій", *Вісник Вінницького політехнічного інституту,* № 6 (147), с.

91–98, 2019. DOI: https://doi.org/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 похода", *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*, т. 30 (69), ч. 1, № 5, с. 132–137, 2019. DOI: https://doi.org/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. A. Lucenko, S. S. Koval', I. G. Oksanich, O. Ju. Serdjuk, and A. V. Kolomic, "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 многоуровевых оценок качества производственных процессов", *Нові технології. Науковий вісник КУЕІТУ,* № 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", *Радиоэлектроника, информатика, управление*, 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, v*ol. 1020, pp. 225–241, 2019, DOI https://doi.org/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] І. 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, 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] І. Г. Оксанич "Етапи і основні принципи методології синтезу виконавчих структур", на *VI Міжнарод. наук.-практ конф. Напівпровідникові матеріали, інформаційні технології та фотовольтаїка,* Кременчук, 2020, с. 80–81.

[26] І. Г. Оксанич, "Комплекс моделей формування компетенції інтелектуального агента", на *VII Всеукр. наук.-практ. конф. ІТ-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, та І. 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, та І. 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, та І. В. Шевченко, "Структурные модели бизнес-процесса и бизнес-операции", на *VIII Міжнарод. наук.-техн. конф. Інформаційні системи і технологі,* 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. 20–21.

[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, та І. В. Шевченко, "Концептуальна модель задачі структурної адаптації керованої системи", на *V Міжнарод. наук.-практ. конф.*

Напівпровідникові 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.

[39] В. Н. Садовский, *Основания общей теории систем*. Москва, Россия: Наука, 1974.

[40] Э. Г. Юдин, *Системный подход и принцип деятельности. Методологичесике проблемы современной науки*. Москва, Россия: Наука. 1978.

[41] А. И. Уемов, *Системный подход и общая теория систем*. Москва, Россия: Мысль, 1978.

[42] М. Месарович, и Я. Такахара, *Общая теория систем: математические основы*. Москва, Россия: Мир, 1978.

[43] Ю. Г. Федулов, и А. Б. Юсов, *Теория систем*. Москва-Берлин, Россия-ФРГ: Директ-Медиа, 2015.

[44] О. Н. Граничин, и В. И. Кияев, *Информационные технологии в управлении*. Москва, Россия: INTUIT, 2008.

[45] В. С. Анфилатов, А. А. Емельянов, и Л. В.Кукушкин, *Системный анализ в управлении*. Москва, Россия: Финансы и статистика, 2003.

[46] Ю. А. Шрейдер, и А. А. Шаров, *Системы и модели*. Москва, Россия: Радио и связь, 1982.

[47] Дж. Клир, *Системология. Автоматизация решения системных задач*. Москва, Россия: Радио и связь, 1990.

[48] П. М. Попов, и Ф. Е. Ляшко, *Оптимальное управление в ходе эволюционного развития процессов и систем : учебное пособие*. Ульяновск, Росссия: УлГТУ, 2000.

[49] В. И. Межуев, "Принципы создания и применения предметно-ориентированных методологий", *Вісник Хмельницького національного*

університету , № 5, с. 194–199, 2010.

[50] Р. М. Юсупов, и В. П. Заболотский, *Концептуальные и научно-методологические основы информатизации.* Санкт-Петербург, Россия: Наука, 2009.

[51] М. В. Бастриков, и О. П. Пономарев, *Информационные технологии управления.* Москва, Россия: ЭКСМО, 2002.

[52] Б. Г. Тамм, М. Э. Пуусепп, и Р. Р. Таваст, *Анализ и моделирование производственных систем.* Москва, Россия: Финансы и статистика, 1987.

[53] Н. П. Бусленко, *Моделирование сложных систем*. Москва, Россия: Наука, 1978.

[54] А. К. Дмитриев, и П. А. Мальцев, *Основы теории построения и контроля сложных систем.* Львов, Украина: Энергоатомиздат, 1988.

[55] В.М. Дубовой, Р.Н. Квєтний, О.І. Михальов, та А.В. Усов, *Моделювання та оптимизація систем: підручник*. Вінниця, Україна: ПП «ТД «Едельвейс», 2017.

[56] В.М. Дубовой, та О.В. Глонь, *Моделювання систем керування в умовах невизначеності : монографія*. Вінниця, Україна: УНИВЕРСУМ-Вінниця, 2004.

[57] С. В. Миронов, и А. М. Пищухин, *Метасистемный подход в управлении: монография*. Оренбург, Россия: ГОУ ОГУ, 2004.

[58] М. Е. Федосовский, "Разработка и развитие методологических положений автоматизированного проектирования на базе методов математической теории категорий", *Кибернетика и программирование*, № 3, с. 10–22, 2017. DOI: 10.25136/2306-4196.2017.3.23087

[59] S. D. Gibs, "Conceptual modelling end office information systems. Office automation", Springer Verlag, pp. 223–326, 1985.

[60] В. М. Глушков, *Введение в АСУ*. Киев, Украина: Техніка, 1974.

[61] А. А. Павлов, и С. Ф. Теленик, *Информационные технологии и алгоритмизация управления*. Киев, Украина: Техніка, 2002.

[62] В. А. Лелюк, *Совершенствование бизнес-систем. Методы,*

инструментарий, опыт : учебн. пособие. Харьков, Украина: ХНАГХ, 2011.

[63] Ю. И. Рогозов, "Системный подход к созданию метода разработки информационных объектов на основе метамоделей", *Информатизация и связь*, №7, с. 57–62, 2011.

[64] В. В. Бескоровайный, "Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем", *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*, №. 120, с. 29–37, 2002.

[65] В. П. Тарасик, *Математическое моделирование технических систем*. Москва, Россия: ДизайнПРО, 2004.

[66] А. А. Тимченко, *Основи системного проектування та аналізу складних об'єктів: Кн. 1. Основи САПР та системного проектування складних об'єктів*. Київ, Україна: Либідь, 2000.

[67] S. J. Leemans, D. Fahland, and W. M. Aalst, "Discovering Block-Structured Process", *Petri nets*, pp. 311–329, 2013.

[68] Marco Rospocher, Chiara Ghidini, and Luciano Serafini. "An ontology for the Business ProcessModelling Notation", *Frontiers in Artificial Intelligence and Applications*. vol. 267: Formal Ontology in Information Systems, pp. 133–146, 2015. DOI: 10.3233/978-1-61499-438-1-133

[69] Pedram Bahramnejad, Seyyed Mehran Sharafi, and Akbar Nabiollahi. "A Method for Business Process Reengineering Based on Enterprise Ontology", *International Journal of Software Engineering & Applications*, vol. 6, iss. 1, pp. 25–39, 2015. DOI: https://doi.org/10.5121/ijsea.2015.6103

[70] Mansoor Hussain, Muhammad Saleh, Sajjad Akbar, and Jan Zeb. "Factors Affecting Readiness for Business Process Reengineering-Developing and Proposing a Conceptual Model", *European Journal of Business and Management*, vol. 6, no. 1, pp. 55–60, 2014.

[71] Г. В. Дружинин, *Анализ эрготехнических систем*. Москва, Россия: Энергоатомиздат, 1984.

[72] А. Зигель, и Дж. Вольф, *Модели группового поведения в системе человек-*

машина с учетом психосоциальных и производственных факторов. Москва, Россия: Мир, 1973.

[73] В. В. Павлов. *Начала теории эргатических систем*. Киев, Украина: Наук. думка, 1975.

[74] С. П. Никаноров, Н. К. Никитина, и А. Г. Теслинов, *Введение в концептуальное проектирование АСУ: анализ и синтез структур (монография)*. Москва, Россия: Концепт, 2007.

[75] Г. П. Щедровицкий, "Идея деятельности и деятельностный подход", *Философия России второй половины XX века*, с. 440–541, 2010.

[76] В. А. Лефевр, *Рефлексия*. Москва, Россия: «Когито-Центр», 2003.

[77] О. М. Горбань, *Системний аналіз та проектування комп'ютерних інформаційних систем: навчальний посібник.* Запоріжжя, Україна: ГУ "ЗІДМУ", 2004.

[78] Pierre Vigneras, *Why BPEL is not the holy grail for BPM*. Доступно: https://www.infoq.com/articles/bpelbpm/. Дата звернення: Лютий, 20, 2019.

[79] В. М. Гужва, *Інформаційні системи і технологи на підприємствах*. Київ, Україна: КНЕУ, 2001.

[80] О. В. Виноградова, *Реинжиниринг бизнес-процессов в современном менеджменте: монография*. Донецк,Украина: ДонГУЭТ им. М. Туган-Барановского, 2005.

[81] И. В. Войнов, С. Г. Пудовкина, и А. И. Телегин, *Моделирование экономических систем и процессов. Опыт построения ARIS-моделей : монография*. Челябинск, Россия: Изд. ЮУрГУ, 2002.

[82] М. Хаммер, и Д. Чампи, *Реинжиниринг корпорации. Манифест революции в бизнесе*. Москва, Россия: Манн, Иванов и Фербер, 2011.

[83] Ф. Ф. Хамидуллин, А. К. Шалабанов, и И. З. Сабиров "Оптимизация бизнес-процессов", *Вестник ТИСБИ*, № 3. С. 5–16, 2012.

[84] М. Г. Доррер, "Алгоритм преобразования моделей бизнес-процессов в одноцветные сети Петри", *Вестник СибГТУ*, № 2, С. 10–18, 2010.

[85] K. Vergidis, A. Tiwari, and B. Majeed "Business process analysis and optimization: Beyond ", *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics. Part C (Applications and Reviews)*, vol. 38, no. 1, pp. 69–82, 2008. DOI: https://doi.org/10.1109/tsmcc.2007.905812.

[86] M. Wibig, "Dynamic programming and genetic algorithm for business processes optimization", *International Journal of Intelligent Systems and Applications*, vol. 5, no. 1, pp. 44–51, 2013. DOI: https://doi.org/10.5815/ijisa.2013.01.04.

[87] M. Koubarakis, and D. Plexousakis, "A formal framework for business process modelling and design", *Information Systems*, vol. 27, iss. 5, pp. 299–319, 2002. DOI: https://doi.org/10.1016/s0306-4379(01)00055-2.

[88] Г. Н. Калянов, *CASE-технологии. Консалтинг при автоматизации бизнес-процессов*. Москва, Россия: Горячая линия-Телеком, 2000.

[89] К. Е. Самуйлов, Н. В. Серебренникова, А. В. Чукарин, и Н. В. Яркина, *Основы формальных методов описания бизнес-процессов: учеб. пособие*. Москва, Россия: РУДН, 2008.

[90] David A. Marca, and Clement L. McGowan, *IDEF0 and SADT: A Modeler's Guide*. USA: OpenProcess, Inc, 2005.

[91] Д. Марка, и К. МакГоуэн "Методология структурного анализа и проектирования SADT (Structured Analysis & Design Technique)" [Электронный ресурс]. Доступно: https://pqm-online.com/assets/files/lib/books/marka.pdf. Дата обращения: Июль 15, 2019.

[92] С. В. Черемных, *Структурный анализ систем: IDEF-технологии*. Москва, Россия: Финансы и статистика, 2001.

[93] А. В. Сериков, и Н. В. Титов, *Компьютерное моделирование бизнес-процессов*. Москва, Россия: Бурун Книга, 2007.

[94] М. В. Михелев, "Формализация бизнеса с помощью графоаналитических моделей", *«Научные ведомости БелГУ». Сер. «Информатика»*, №1(56), вып. №9/1, с. 86–94, 2009.

[95] А. Н. Калашян, и Г. Н. Калянов, *Структурные модели бинеса: DFD-*

технологий. Москва, Россия: Финансы и статистика, 2003.

[96] А. В. Леоненков, *Объектно-ориентированный анализ и проектирование с использованием UML и IBM Rational Rose*. Москва, Россия: БИНОМ, Лаборатория знаний, ИНТУИТ, 2006.

[97] У. Ройс, *Управление проектами по созданию программного обеспечения. Унифицированный подход*. Москва, Россия: Лори, 2002. 424 с.

[98] К. А. Аксенов, и Н. В. Гончарова, *Моделирование и принятие решений в организационно-технических системах: учебное пособие*. Екатеринбург, Россия: Изд-во Урал. ун-та, 2015.

[99] Т. П. Подчасова, А. П. Лагода, и В. Ф. Рудницкий, *Управление в иерархических производственных структурах*, Киев, Украина: Наук, думка, 1989.

[100] Дж. Л. Гибсон, Д. М. Иванцевич, и Д. Х. Донелли *Организации: поведение, структуры, процесы.* Москва, Россия: ИНФРА-М, 2000.

[101] С. А. Петренко, "Порівняльний аналіз моделей організаційних структур підприємства", *Бюлетень Міжнародного Нобелівського економічного форуму*, том 2, № 1(3), с. 245–252, 2010.

[102] К. А. Аксенов, и Н. В. Гончарова, *Динамическое моделирование мультиагентных процессов преобразования ресурсов: монография*. Екатеринбург, Россия: ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006..

[103] Manoj Das, and Alex Yiu, *Business Process Management and WS-BPEL 2.0. What's next for SOA Orchestration?* [An Oracle White Paper]. USA: Oracle Corporation World Headquarters, 2006.

[104] Holger Voos. *Agent-Based Distributed Resource Allocation in Continuous Dynamic Systems (Chapter in Multiagent Systems)*. USA: IntechOpen, 2009. DOI: 10.5772/6593

[105] Keith Swenson, *BPEL-Grail*. [Online]. Available: https://social-biz.org/2008/10/24/bpel-grail. Accessed on: May 14, 2019.

[106] А. Дроздов, и А. Коптелов, "Использование средств описания процессов

при внедрении корпоративных информационных систем", *Проблемы теории и практики управления,* №10, с. 54–70, 2006.

[107] Tony Andrews, Francisco Curbera, Hitesh Dholakia, Yaron Goland, Johannes Klein, Frank Leymann, Kevin Liu, Dieter Roller, Doug Smith, Satish Thatte, Ivana Trickovic, and Sanjiva Weerawarana. *Business Process Execution Language for Web Services version 1.1*. BEA Systems, International Business Machines Corporation, Microsoft Corporation, SAP AG, Siebel Systems, 2003. [Online]. Available: http://xml.coverpages.org/BPELv11-May052003Final.pdf. Accessed on: May 15, 2019.

[108] OMG Document Number: dtc/2010-06-02. *BPMN 2.0 by Example*. Camunda Services GmbH. IBM Corp., Object Management Group Inc., PNA Group, SAP AG, Trisotech Inc, 2010. [Online]. Available: http://www.iet.unipi.it/m.cimino/gpa/res/_BPMN_by_example.pdf. Accessed on: July 15, 2019.

[109] Richard Braun, "BPMN Extension Profiles – Adapting the Profile Mechanism for Integrated BPMN Extensibility" in *IEEE 17th Conference on Business Informatics*, 2015. DOI: 10.1109/CBI.2015.41.

[110] Donggyu Kwak, and Jaeyoung Choi, "Design and Implementation of Rule-based BPEL System for BPEL Rule Modeling", *Journal of IKEEE*, vol. 17, ıss. 3, pp. 332–338, 2013. DOI: https://doi.org/10.7471/ikeee.2013.17.3.332

[111] Bruce Silver, *BPMS Watch: BPM Standards in Perspective*. [Online]. Available: https://www.bpminstitute.org/resources/articles/bpms-watch-bpm-standards-perspective. Accessed on: July 20, 2019.

[112] Bruce Silver, *Bpmn Method and Style with Bpmn Implementer's Guide: A Structured Approach for Business Process Modeling and Implementation Using Bpmn*. Altadena: Cody-Cassidy Press, 2019.

[113] Bruce Silver, *DMN Method and Style: A Business Pracitioner's Guide to Decision Modeling*. Altadena: Cody-Cassidy Press, 2018.

[114] Ruben Post, Koen Smit, and Martijn Zoet, "Adoption and Implementation of the

Decision Model and Notation Standard", *Journal of Advanced Management Science*. vol. 8, no. 2, pp. 49–54, 2020.

[115] I. Khodyrev, and S. Popova, "Discrete modeling and simulation of business processes using event logs", *Procedia Computer Science*, vol. 29, pp. 322–331, 2014.

[116] Martínez-Salvador Begoña, Marcos Mar, and Riaño David, "An Algorithm for Guideline Transformation: From BPMN to SDA", *Procedia Computer Science*. vol. 63. pp. 244–251, 2015. DOI: https://doi.org/10.1016/j.procs.2015.08.340

[117] Christopher Burr, Nello Cristianini, and James Ladyman, "An Analysis of the Interaction Between Intelligent Software Agents and Human" *Users Minds and Machines*, no. 28 (4), pp. 735-774, 2018. DOI:10.1007/s11023-018-9479-0

[118] H. H. Hussain, N. Wang, C. D. Buckingham, and X. C. Zhang,. "Software Agent-Centric Semantic Social Network for Cyber-Physical Interaction and Collaboration", *International Journal of Software Engineering and Knowledge Engineering*, no. 30(6), pp. 859-893, 2020. https://doi.org/10.1142/s0218194020400100

[119] А. А Назаренко, "Документационное обеспечение управления и электронный документооборот – повышение эффективности управления", *Современные технологии делопроизводства и документооборота*, № 1, с. 22–29, 2010.

[120] М. Ю. Круковский, "Методология построения композитных систем документооборота", *Математичні машини і системи*, № 1, с. 101–114, 2004.

[121] В. И. Куперштейн, *Современные информационные технологии в делопроизводстве и управлении*. Санкт-Петербург, Россия: БХВ, 1999.

[122] А. А. Кипенко "Аналитика системы электронного документооборота", *Вестник НГУ. Серия: Информационные технологи*, том 8, вып. 2, с. 69–77, 2010.

[123] L. Willcocks, M. Lacity, and A .Craig, "Robotic process automation: Strategic transformation lever for global business services", *Journal of Information*

Technology Teaching Cases, vol. 7, no. 1, pp. 17–28, 2017.

[124] Leshob Abderrahmane, Bédard Maxime, and Mili Hafedh. "Robotic Process Automation and Business Rules: A Perfect Match", in *Proceedings of the 17th International Joint Conference on e-Business and Telecommunications*, 2020. DOI: https://doi.org/10.5220/0009886701190126

[125] Dey Sourav, and Das Arindam. "Robotic process automation: assessment of the technology for transformation of business processes", *International Journal of Business Process Integration and Management*, vol. 9, iss. 3, p. 220, 2019. DOI: https://doi.org/10.1504/ijbpim.2019.100927

[126] Tom Taulli, RPA Skills (Book Chapter). *The Robotic Process Automation Handbook*. Berkeley, USA: pp. 27–51. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4842-5729-6_2

[127] Ilahi Latifa, Martinho Ricardo, and Ayachi Sonia, "Ghannouchi BPFlexTemplate: a software tool to derive flexible process model templates", *Procedia Computer Science*, vol. 121. pp. 1096–1103, 2017.

[128] G. Regev, P.Soffer, and R. Schmidt, *Taxonomy of Flexibility in Business Processes*. BPMDS, 2006.

[129] A. Bolt, M. de Leoni, and W. M. van der Aals,. "A visual approach to spot statistically-significant differences in event logs based on process metrics", in *International Conference on Advanced Information Systems Engineering*, pp. 151–166, 2016.

[130] B. F. M. van Dongen, A. K. A. de Medeiros, H. M. W. Verbeek, A. J. M. Weijters., and W. M. van der Aalst, "The ProM framework: A new era in process mining tool support" (Book Chapter in *Applications and Theory of Petri Nets*). Springer Berlin Heidelberg pp. 444–454, 2005. DOI: https://doi.org/10.1007/11494744_25

[131] A. Armas-Cervantes, P. Baldan, M. Dumas, and L. Garcıa-Banuelos, *Bp-diff: a tool for behavioral comparison of business process models. Proceedings of the BPM Demo Sessions*. 2014. [Online]. Available: http://ceur-ws.org/Vol-

1295/paper20.pdf. Accessed on: Feb. 22, 2019.

[132] Mouna Tka, and Sonia Ayachi Ghannouchi, "Comparison of Business Process Models as Part of BPR Projects", *Procedia Technology*, vol. 5. pp. 427–436, 2012. DOI: https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.09.047

[133] С. Ф. Чалый "Разработка технологии управления слабоструктурированными бизнес-процессами", *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики,* с. 63–71, 2006.

[134] Aleksandre Asatiani, and Esko Penttinen, "Turning robotic process automation into commercial success – Case OpusCapita", *Journal of Information Technology Teaching Cases*, vol. 6, no. 2, pp. 67–74, 2016. DOI: https://doi.org/10.1057/jittc.2016.5/

[135] Ana C. R. Paiva, Nuno H. Flores, Joao P. Faria, and Jose M. G. Marques "End-to-end Automatic Business Process Validation", *Procedia Computer Science*, vol. 130, pp. 999–1004, 2018.

[136] Moura Jessica Lasch de, Charao Andrea Schwertner, Lima Joao Carlos Damasceno, and Stein Benhur de Oliveira. "Test case generation from BPMN models for automated testing of Web-based BPM applications" in *17th International Conference on Computational Science and Its Applications*, 2017. pp. 1–7. DOI: https://doi.org/10.1109/iccsa.2017.7999652

[137] Ouarhim Asma, and Baïna Karim. "Towards a real-time business processes validation algorithm", *Procedia Computer Science*, vol. 148. pp. 580–589, 2019.

[138] S. Kühne, H. Kern, V. Gruhn, and R. Laue "Business process modeling with continuous validation", *Journal of Software: Evolution and Process*, vol. 22, pp. 547–566, 2010.

[139] Thao Ly Linh, Maria Maggi Fabrizio, Marco Montali, Stefanie Rinderle-Ma, and W M. P. van der Aalst, "Compliance monitoring in business processes: Functionalities, application, and tool-support", *Information Systems*, vol. 54, pp. 209–234, 2015.

[140] W. M. P. van der Aalst, M. Pesic, and H.Schonenberg, "Declarative work-

flows: balancing between flexibility and support", *Computer Science - Research and Development*, vol. 23. iss. 2. pp. 99–113, 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/s00450-009-0057-9

[141] E. Mulo, U. Zdun, and S. Dustdar "Domain-specific language for event-based compliance monitoring in process-driven SOAs", *Service Oriented Computing and Applications*, vol. 7, iss. 1, pp. 59–73, 2013.

[142] M. Pesic, and W. M. P. van der Aalst. "A declarative approach for flexible business processes management", *Business Process Management Workshop,*. pp. 169–180, 2006.

[143] S. Sadiq, G. Governatori, and K. Naimiri "Modeling control objectives for business process compliance", *International Conference on Business Process Management*, pp. 149–164, 2007.

[144] L.T. Ly, Ma S. Rinderle-, K. Göser, and P. Dadam "On enabling integrated process compliance with semantic constraints in process management systems", *Information Systems Frontiers*, vol. 14, iss. 2, pp. 195–219, 2012..

[145] L.T Ly., F.M Maggi., M. Montali, Ma S. Rinderle, and W.M.P. van der Aalst, "A framework for the systematic comparison and evaluation of compliance monitoring approaches", *IEEE Enterprise Distributed Object Computing Conference*, pp. 7–16, 2013.

[146] E.A.P. Santos, R. Francisco, A.D. Vieira., E.d.F.R. Loures, and M.A. Busetti "Modeling business rules for supervisory control of process-aware information systems", *Business Process Management Workshops*, pp. 447–458, 2012.

[147] K. Namiri, and N. Stojanovic, "Pattern-based design and validation of business process compliance", *On the Move to Meaningful Internet Systems*, pp. 59–76, 2007.

[148] R.V. Ammon, T. Ertlmaier, O. Etzion, A. Kofman, and T. Paulus, "Integrating complex events for collaborating and dynamically changing business processes", *Service-Oriented Computing Workshops*, pp. 370–384, 2010.

[149] И. В. Шевченко, Н. Н. Дымченко, и С. А. Грицаков, "Диагностика

неблагоприятных ситуаций в процессе выращивания монокристаллов полупроводников", *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського*, вип. 1 (84), с. 34–43, 2014.

[150] Н. Б. Паклин, и В. И. Орешков *Бизнес-аналитика от данных к знаниям : учебное пособие*. Санкт-Петербург: Питер, 2013.

[151] J. Boner *Reactive Microservices Architecture. Design Principles for Distributed Systems*. USA: O'Reilly, 2016.

[152] M. Richards *Microservices vs. Service-Oriented Architecture*. USA: O'Reilly, 2016.

[153] M. Richards *Microservices, AntiPatterns and Pitfalls*. USA: O'Reilly, 2016.

[154] I. Nadareishvili, R. Mitra., M. McLarty, and M. Amundsen, "Microservice Architecture. Aligning Principles, Practices, and Culture", USA: O'Reilly, 2016.

[155] В. В. Павлов, и Ю. М. Шепетуха "Внутренние и внешние конфликты в распределенных системах интеллектуального управления", *Кибернетика и вычисл. Техника*, вып. 176, с. 34–45, 2014.

[156] В. В. Павлов, Ю. М. Шепетуха, С. В. Мельников, и А. Е. Волков "Интеллектуальное управление: подходы, результаты и перспективы развития", *Кибернетика и вычисл. техника,* № 1 (187), с. 30–48, 2017.

[157] А. Н. Тихонов, А. Д. Иванников, И. В. Соловьёв, В. Я. Цветков, и С. А. Кудж *Концепция сетецентрического управления сложной организационно-технической системой*. Москва, Россия: МаксПресс, 2010.

[158] В. В. Кальниш , и А. В. Швец . "Інформаційна технологія психофізіологічного забезпечення високої надійності операторської діяльності", *Кибернетика и вычисл. техника, в*ып. 177, с. 54–67, 2014.

[159] И. И. Васильева "Эргатическая система как базовое понятие организационной психологии и психологии управления", *Организационная психологи,*. т. 7, № 1, С. 8–20, 2017.

[160] М. А. Котик, *Психология и безопасность*. Таллинн: Валгус, 1989.

[161] В. В. Павлов, *Системы человек–машина: проблемы и синтез*. К. : Вища

школа, 1987.

[162] Г. М. Зараковский, и В. В. Павлов, *Закономерности функционирования эргатических систем*. Москва, Россия: Радио и связь, 1987.

[163] Г. С. Никифоров, *Надежность профессиональной деятельности*. СПб. : Изд-во С.-Петербургского ун-та, 1996.

[164] В. П. Пошивалов, "Экспертная оценка продления срока эксплуатации сложных технических систем", *Техническая механика,* № 4. с. 122–125, 2011.

[165] В. П. Пошивалов, та Ю. Ф. Даниєв, "Оцінка працездатності складних ергатичних систем", *Вісник Академії митної служби України,* № 1(41), с.32–37, 2009.

[166] В. П. Пошивалов, Ю. Ф. Данієв, та О. В. Пошивалова, "Визначення комплексних показників надійності ергатичних систем", *Вісник Академії митної служби України,* № 1(43), с. 111–119, 2010.

[167] В. П. Пошивалов, та Даниєв Ю. Ф. "Підтвердження показників надійності функціонування ергатичних систем на основі імовірнісного моделювання", *Вісник Академії митної служби України,* № 2(44), с. 122–128, 2010.

[168] В. П. Пошивалов, та Ю. Ф. Даниєв, "Оцінка показників надійності ергатичних систем у байєсовських моделях", *Вісник Академії митної служби України,* № 2(46), с. 96–102, 2011.

[169] И. В. Соловьёв, “Проблемы исследования сложной организационно-технической системы», *Вестник МГТУ МИРЭА,* № 1 (1). с. 20–40, 2013.

[170] И. В. Соловьёв, А. Н. Тихонов, А. Д. Иванников, и В. Я. Цветков, *Основы управления сложной организационно-технической системой. Информационный аспект,* М. : МАКС Пресс, 2010.

[171] А. Н. Корнаков, "Концептуальная модель процессов информационного управления промышленной организации", *Вестник Московского государственного областного университета. Экономика,* № 2. с. 82–85, 2010.

[172] М. В. Губко, *Механизмы управления организационными системами с коалиционным взаимодействием участников,* М. : ИПУ РАН, 2003. .

[173] М. В. Губко, "Структура оптимальной организации континуума исполнителей", *Автоматика и телемеханика*, № 12, с. 116–130, 2002.

[174] П. О. Скобелев, и др. "Обзор систем адаптивного планирования производства", *Мехатроника, автоматизация, управление*, №. 11, с. 28–36, 2013.

[175] М. В. Губко, и С. П. Мишин, "Оптимальная структура системы управления технологическими связями", на *Международной научной конференции “Современные сложные системы управления»*, Старый Оскол, 2002, с. 50–54.

[176] М. В. Губко, "Модель формирования бизнес-схем в транснациональных корпорациях", *Системы управления и информационные технологии, №* 1-2(12), с. 44–48, 2003.

[177] В. Н. Бурков, *Механизмы управления: Управление организацией: планирование, организация, стимулирование, контроль*, Москва, Россия: Ленанд, 2013.

[178] В. Н. Бурков, Н. А. Кузнецов, та Д. А. Новиков, "Механизмы управления в сетевых структурах", *Автоматика и Телемеханика*, № 12, с.96–115, 2002.

[179] А. А. Воронин, та С. П. Мишин, "Алгоритмы поиска оптимальной структуры организационной системы", *Автоматика и Телемеханика*, № 5, с. 120–132, 2002.

[180] Н. М. Жигунова, "Методология улучшения деятельности организаций на основе процессного подхода", *Научно-технический сборник " Качество менеджмента и процессный подход*", Москва, Россия: ООО «НТК «Трек», 2005.

[181] А. А. Воронин, та С. П. Мишин, "Модель оптимального управления структурными изменениями организационной системы", *Автоматика и телемеханика*, № 8, с. 136–150, 2002.

[182] В. В. Репин, та В. Г. Елиферов, *Процессный подход к управлению. Моделирование бизнес-процессов*. Москва, Россия: Стандарты и качество, 2009.

[183] Д. А. Поспелов, *Ситуационное управление: теория и практика,* Москва, Россия: Наука, 1986.

[184] Л. А. Растригин, *Адаптация сложных систем,* Рига, Латвия: Зинатне, 1981.

[185] В. П. Авраменко, та С. Ю. Калистратова, "Интеллектуальные процедуры управления бизнес-процессами предприятий", *Бионика интеллекта,* № 2 (69), с. 73–76, 2008.

[186] H. David, "Why Are There Still So Many Jobs? The History and Future of Workplace Automation", *Journal of Economic Perspectives,* Vol. 29. Iss. 3. pp. 3–30, 2015.

[187] Acemoglu Daron, *Diversity and Technological Progress, The Rate and Direction of Inventive Activity Revisited,* University of Chicago Press, 2012.

[188] Е. Ю. Компан, *Надежность и быстродействие человеко-машинных систем,* Ростов, Россия: Издательство Ростовского университета, 1983.

[189] B. Dutta, and M. O. Jackson, "The Stability and Efficiency of Directed Communication Networks", *Review of Economic Design,* Vol. 5. pp. 251–272, 2000.

[190] V. Bala, and S. Goyal, "A Strategic Analysis of Network Reliability", *Review of Economic Design,* Vol. 5, pp. 205–228, 2000.

[191] А. П. Ротштейн, та П. Д. Кузнецов, *Проектирование бездефектных человеко-машинных технологий,* Київ, Україна: Техніка, 1992.

[192] M. Wooldridge, *An introduction to multiagent systems,* John Wiley & Sons, 2009.

[193] Л. И. Черняк, "От адаптивной структуры – к адаптивному предприятию", *Открытые системы,* № 9, с. 30–35, 2004.

[194] Л. В. Массель, та В. И. Гальперов, "Разработка многоагентных систем распределенного решения энергетических задач с использованием агентных сценариев", *Известия Томского политехнического университета,* т. 326, № 5, с. 45–53, 2015.

[195] В. Б. Тарасов, *От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика,* Москва, Россия: Эдиториал УРСС, 2002.

[196] И. А. Каляев, А. Р. Гайдук, та С. Г. Капустян, *Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов,* Москва, Россия: ФИЗМАТЛИТ, 2009.

[197] В. И. Городецкий, "Теория, модели, инфраструктуры и языки спецификации командного поведения автономных агентов. Обзор (Часть 1)", *Искусственный интеллект и принятие решений*, №2, С. 19–30, 2011.

[198] В. И. Городецкий, «Теория, модели, инфраструктуры и языки спецификации командного поведения автономных агентов. Обзор (Часть 2)», *Искусственный интеллект и принятие решений,* №3, с. 34–47, 2011.

[199] В. И. Городецкий, О. В. Карсаев, В. В. Самойлов, та С. В. Серебряков, "Прикладные многоагентные системы группового управления", *Искусственный интеллект и принятие решений,* № 2, с. 3–24, 2009.

[200] И. В. Шевченко, И. С. Шаповал, та Т. Д. Стаценко, "Модель взаимодействия интеллектуального агента и среды как инструмент мониторинга сложного технико-экономического процесса", *Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського,* Випуск 5 (88), с.131–135, 2014.

[201] А. В. Горохов, та А. Г. Олейник, "Использование методов системной динамики в мультиагентных моделях", *Информационные технологии в региональном развитии,* КНЦ РАН, Апатиты, 2006.

[202] M. Godinho Filho, C.F. Barco, and R.F.T. Neto, "Using Genetic Algorithms to solve scheduling problems on flexible manufacturing systems (FMS): a literature survey, classification and analysis", *Flexible Services and Manufacturing Journal*, Vol. 26, №. 3, pp. 408–431, 2014.

[203] R. Bellman, A. O. Esogbue, and I. Nabeshima, *Mathematical Aspects of Scheduling and Applications: Modern Applied Mathematics and Computer Science*, Elsevier, 2014.

[204] К. А. Аксенов, А. Л. Неволина, О. П. Аксенова, та Е. Ф. Смолий, "Мультиагентное моделирование и планирование логистики", *Современные проблемы науки и образования,* № 4, 2013. [Электронный ресурс]. Доступно: www.science-education.ru/110–9744. Дата обращения: Авг.16, 2016.

[205] M. I. Najhan, and F. H. Mohd, "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, 2019.

[206] В.М. Дубовой, та О.О. Ковалюк, *Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами*, Вінниця, Україна: УНИВЕРСУМ, 2008.

[207] В.М.Дубовой, *Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування*, Вінниця, Україна: ВНТУ, 2012.

[208] П. О. Скобелев и др. "Разработка мультиагентной системы планирования, прогнозирования и моделирования производства", *Мехатроника, автоматизация, управление,* №. 1, с. 22–30, 2014.

[209] Ph. Andon, and V. Deretsky, "Control Oriented Ontology and Process Description for Cooperation Agents in Information Retrieval", in *Sixth International Scientific Conference "Electronic Computers and Informatics ECI'2004"*, Kosice-Herlany, Slovakia, 2004, pp. 14–18.

[210] Т. А. Гаврилова, та В. Ф. Хорошевский, *Базы знаний интеллектуальных систем,* Санкт-Петербург, Россия: ПИТЕР, 2001.

[211] Л. В. Массель, та В. И. Гальперов, "Разработка многоагентной системы оценивания состояния электроэнергетических систем с использованием событийных моделей", *Наука и образование,* №9, 2015. DOI: 10.7463/ 0915. 0811180

[212] Е. Н. Кнышова, *Менеджмент: учебное пособие,* Москва, Россия: Издательство: ООО "Научно-издательский центр ИНФРА-М", 2005.

[213] В. В. Акулич, "Современные подходы к оценке эффективности деятельности организации", *Планово-экономический отдел,* № 11, с. 27–34,

2008.

[214] Г. В. Савицкая, *Анализ хозяйственной деятельности предприятия*, Москва, Россия: ИНФРА-М, 2007.

[215] А. П. Смольский, "Сбалансированная система показателей как инструмент управленческого учета и реализации стратегии организации", *Планово-экономический отдел*, № 10, с. 12–15, 2008.

[216] Г. З. Суша, "Экономическая эффективность предприятия: теория и практика", *Планово-экономический отдел*, № 4, с. 54–59, 2003.

[217] М. А. Якубович, "Проблемы оценки эффективности функционирования компаний", *Планово-экономический отдел*, №1, с. 78–81, 2005.

[218] В. С. Лосев, та Л. А. Козерод, "Оценка эффективности управления бизнес-процессами промышленного предприятия", *Вестник ТОГУ,* №1 (24), с. 167–178, 2012.

[219] Т. Котарбинский, *Трактат о хорошей работе,* Москва, Россия: Экономика, 1975.

[220] Р. Волчек, *Функционально-стоимостной анализ в управлении*, Москва, Россия: Экономика, 1986.

[221] С. С. Яковлева, та А. И. Ханыкин, "Математическая модель оценки эффективности бизнес-процесса как один из методов системного анализа", " *Экономика и социум*", №3(22), с. 1-5, 2016.

[222] Н. А. Дубинина, " Показатели оценки бизнес-процессов предприятия", *Вестник Пермского университета. Сер.* " *Экономика*", № 2(29), с. 179–191, 2016. Doi: 10.17072/1994–9960–2016–2–179–191

[223] Г. В. Дружинин, *Надежность автоматизированных производственных систем*, Москва, Россия: Энергоатомиздат, 1986.

[224] О. И. Бронштейн, та В. В. Рыков, *Об оптимальных дисциплинах обслуживания в управляющих системах*, Москва, Россия: Наука, 1967.

[225] В. В. Рыков, "Управляемые системы массового обслуживания", *Итоги науки и техн. Сер. Теор. вероятн. Мат. стат. Теор. Кибернет*, 1975.

[226] A. A. Watts, "Dynamic Model of Network Formation", *Games and Economic Behavior*, vol. 34, pp. 331–341, 2001.

[227] S. Currarini, and M. Morelli, "Network Formation with Sequential Demands", *Review of Economic Design*, vol. 5, pp. 229–250, 2000.

[228] А. М. Горцев, та А. А. Соловьев, " Смесь плотностей вероятностей в MAP-потоке событий принепродлевающемся мертвом времени", *Известия высших учебных заведений. Физика*, т. 56, № 9–2, с. 241–243, 2013.

[229] А. М. Горцев, та А. А. Соловьев, " Совместная плотность вероятностей длительности интервалов MAP-потока событий и условия его рекуррентности", *Вестник Томского государственного университета.Управление, вычислительная техника и информатика*, № 3, с. 32–41, 2012.

[230] А. М. Горцев, та И. С. Шмырин, " Оптимальная оценка параметров дважды стохастического пуассоновского потока событий при наличии ошибок в измерениях моментов наступления событий", *Известия высших учебных заведений. Физика*, т. 42, № 4, с. 19–27, 1999.

[231] А. М. Горцев, та И. С. Шмырин, "Оптимальная оценка состояний дважды стохастического потока событий при наличии ошибок в измерениях моментов времени", *Автоматика и телемеханика*, № 1, с. 52–66, 1999.

[232] Б. Н. Димитров, В. В. Рыков, та З. Л. Круглый, "Периодические пуассоновские процессы и распределения с почти отсутствующей памятью", *Автоматика и телемеханика*, № 10, с. 85–100, 2004.

[233] А. Н. Дудин, та В. П. Клименок, *Системы массового обслуживания с коррелированными потоками*, Минск, Беларусь: Изд-во БГУ, 2000.

[234] Д. В. Ефросинин, та В. В. Рыков, "К анализу характеристик производительности СМО с неоднородными приборами", *Автоматика и телемеханика*, № 1, с. 64–82, 2008.

[235] В. Н. Задорожный, *Аналитико-имитационные исследования систем и сетей массового обслуживания*, Омск, Россия: Изд-во ОмГТУ, 2010.

[236] Е. В. Мокров, та К. Е. Самуйлов, "Модель системы облачных вычислений в виде системы массового обслуживания с несколькими очередями и с групповым поступлением заявок", *T-Comm: Телекоммуникации и транспорт*, т. 7, № 11, с. 139–141, 2013.

[237] Н. Д. Введенская, Р. Л. Добрушин, та Ф. И. Карпелевич, "Система обслуживания с выбором наименьшей из двух очередей – асимптотический поход", *Проблемы передачи информации*, т. 32, № 1, с. 20–34, 1996.

[238] Yu. M. Suhov, and N. D.Vvedenskaya, "Fast Jackson Networks with Dynamic Routing", *Problems of Information Transmission*, vol. 38, No. 2, pp. 136–153, 2002.

[239] Ю. В. Жерновый, "Многолинейные системы с отказами и равновероятным распределением заявок", *Информационные процессы*, том 13, № 1, с. 19–34, 2013.

[240] Ю. В. Жерновый, та К. Ю. Жерновый, Метод потенциалов для системы M/G/1/m с активным управлением очередью, *Информационные процессы*, том 15, № 1, с. 66–77, 2015.

[241] А. В. Аленичев, "Система массового обслуживания с динамической маршрутизацией и распределением Вейбулла времени обслуживания", *Информационные процессы*, том 5, № 5, с. 432–442, 2005.

[242] А. В. Аленичев, та Н. Б. Лиханов, "Динамическая маршрутизация в системе с заявками, имеющими степенной закон распределения времени обслуживания", *Информационные процессы*, т. 5, №3, с. 213–226, 2005.

[243] В. П. Корячко, та Д. А. Перепелкин, "Математическая модель адаптивной маршрутизации в корпоративных сетях", *Информационные технологии в образовании*, с. 47–55, 2012.

[244] И. С. Поздняк, "Формирование множества допустимых маршрутов с использованием алгоритма адаптивной маршрутизации", на *XIV российской научной конференции ПГАТИ*, г. Самара, Россия, 2007, с.61–62.

[245] О. Х. Бостонов, та А. Ф. Галямов, "Интеграция и управление

организационными системами с использованием онтологий", *Вестник ВГТУ*, № 2, с. 9–12, 2012.

[246] В. Н. Кучуганов, *Концептуальное проектирование информационных систем: учебное пособие*, Ижевск, Россия: Издательство ИжГТУ, 2009.

[247] Т. А. Гаврилова, "Онтологический подход к управлению знаниями при разработке корпоративных информационных систем", *Новости искусственного интеллекта*, №2, с. 24–30, 2003.

[248] E. Hull, K. Jackson, and J. Dick, *Requirements Engineering*. Springer, 2005.

[249] I. Lutsenko, E. Vihrova, E. Fomovskaya, and O. Serdiuk, "Development of the method for testing of efficiency criterion of models of simple target operations", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 2, no. 4(80), pp. 42–50, 2016. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.60710.

[250] U. V. Anishchenka, L. I. Kul'bak, A. N. Kryuchkov, and T. S. Martinovich, "Optimization of the structure of multifunctional information systems according to the criterion of a required value of the efficiency ratio", *Automatic Control and Computer Sciences*. 2008. Vol. 42. № 4. PP. 203–209. DOI: 10.3103/S0146411608040068

[251] I. Lutsenko, "Optimal control of systems engineering. Development of a general structure of the technological conversion subsystem" (Part 2), *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1.2 (73), pp. 43–50, 2015. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.36246.

[252] I. Lutsenko, "Definition of efficiency indicator and study of its main function as an optimization criterion", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologie*, vol. 6.2(84), pp. 24–32, 2016. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.85453.

[253] I. Lutsenko, E. Vihrova, E. Fomovskaya, and O.Serduik, "Development of the method for testing of efficiency criterion of models of simple target operations", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologie*, vol. 2.4 (80), pp. 42–50, 2016. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.66307.

[254] I. Lutsenko, "Identification of target system operations. 2. Determination of the

value of the complex costs of the target operation", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 1, №2(73), pp. 31–36, 2015. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.35950.

[255] I. Lutsenko, "Identification of target system operations. Development of global efficiency criterion of target operations", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologie*, vol. 2, № 2(74), pp. 35–40, 2015. DOI: 10.15587/1729-4061.2015.38963.

[256] И. А. Луценко, "Практический подход к выбору критерия оптимального управления", *Технологический аудит и резервы производства*, № 2/1(16), с. 32–35, 2014.

[257] А. Д. Полищук, "Оптимизация оценки качества функционирования сложных динамических систем", *Межд. научно-техн. журнал «Проблемы управления и информатики»*, № 4, с. 39–44, 2004.

[258] R. Bordini, M. Fisher, and W.Visser, "Wooldridge M. Model Checking Rational Agents", *Intelligent Systems*, vol. 18, pp. 40–47, 2003.

[259] П.М. Павленко, О.В. Заріцький, та А.О. Хлевний, "Інформаційна технологія управління ефективністю промислового виробництва", *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*, №1(2), с. 24–30, 2015.

[260] О.Е. Федорович, К. О. Западня, и О. А. Гайденко, "Методы и модели исследования виртуальных производств, ориентированных на выпуск высокотехнологической продукции", *Авиационно-космическая техника и технология*, № 1(136), с. 54-59, 2017.

[261] Т. Г. Агиевич, и Ю. С. Морозова, "Оптимизация бизнес-процессов: Концептуальный подход", *Теория и практика общественного развития*, № 4, с. 224–226, 2013.

[262] К. В. Дождиков, "Оценка эффективности реинжиниринга бизнес-процессов", *Международный научно-исследовательский журнал*, № 8(27), с. 53–54, 2014. DOI: 10.18454/IRJ.2227-6017.

[263] M. Keen, A. Acharya, S. Bishop, A. Hopkins, S. Milinski, C. Nott, R. Robinson,

J. Adams, and P. Verschueren *Patterns: Implementing an SOA Using an Enterprise Service Bus.* International Business Machines Corporation, 2004.

[264] Р. В. Гребинник, и О. В. Липанов, "Моделирование SOA систем с целью оптимизации их архитектуры", *Системи обробки інформації,* вип. 4, с. 156–160, 2014.

[265] Н. А. Гонтарь, "Модель семантической сервисориентированной архитектуры", *Наукові праці ДонНТУ. Серія: "Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка",* № 1 (17), 2013.

[266] М. В. Евланов, О. Е. Неумывакина, и А. Ю. Карамышева, "Анализ возможностей применения подходов к самоорганизации отдельных сервисов в сервис-ориентированных информационных системах", *Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Сер. : Нові рішення в сучасних технологіях*, № 16, с. 22–26, 2013.

[267] Д. Хопкрофт, Р. Мотвин, и Д. Ульман, *Введение в теорию автоматов, языков и вычислений.* Москва, Россия: Вильямс, 2002.

[268] А. А. Таль, "Анкетный язык и абстрактный синтез минимальных последовательностных машин", *Автоматика и телемеханіка*, том 25, вып. 6, с. 946–962, 1964.

[269] А. Ф. Лосев, *Введение в общую теорию языковых моделей*. Москва, Россия: Эдиториал УРСС, 2010.

[270] П. И. Соснин, *Вопросно-ответное моделирование в разработке автоматизированных систем*. Ульяновск : УлГТУ, 2007.

[271] О.В. Бісікало, *Формальні методи образного аналізу та синтезу природномовних конструкцій: монографія,* Вінниця : ВНТУ, 2013.

[272] Ю. И. Лисецкий, "Проблемы построения интегрированных информационных систем с заданными свойствами", *УСиМ,* № 4, с. 23–25, 2009.

[273] Ч. Е. Р. Хоар, *Взаимодействующие последовательные процессы*. Москва, Россия: Мир. 1989.

[274] M. Raynel, and J. Helary, *Synchronization and Control of Distributed Systems and Programs*. John Wiley & Sons. 1990.

[275] K. P. Valavanis, and G. N. Saridis, "Probabilistic modeling of intelligent robotik system", *IEEE Trans. Rob.and Autom,* vol. 7, no.1, pp. 164–171, 1991.

[276] Ф. И. Андон, А. Е. Яшунин, и В. А. Резниченко *Логические модели интеллектуальных информационных систем*. К.: Наукова думка, 1999.

[277] Ф. И. Андон, Э. Г. Захарова, В. А. Резниченко, и А. Е. Яшунин *Интеллектуализация информационных систем*. *УсиМ*. 1987.

[278] В. А. Попов, и А. В. Котляров, "Метод построения интегрированной системы управления предприятием на основе принципов непрерывного улучшения бизнес-процессов", *Авіаційно-космічна техніка і технологія,* №2 (37), с.144–151, 2013.

[279] А. В. Габалин, и В. П. Разбегин "Анализ и синтез структуры Workflow-систем", на *Международной конференции Системы проектирования, технологической подготовки производства и управления этапами жизненного цикла промышленного продукта CAD/CAM/PDM,* Москва, 2011, с. 34.

[280] Е. В. Дуравкин, и Таксин Каламех Абу Джассар Амер, "Оценка эффективности распределенных информационных систем", *Системи обробки інформації, в*ип. 6, с. 41–43, 2008.

[281] И. В. Кузьмин, А. А. Явна, и В. И.Ключко, *Элементы вероятностных моделей автоматизированных систем управления*. Москва, Россия: Сов. радио, 1975.

[282] В. М. Курейчик, *Генетические алгоритмы и их применение*. Таганрог : ТРТУ, 2002.

[283] J. E. Beasley, and P. C. Chu, "A Genetic Algorithm for the Set Covering Problem", *European Journal Oper. Res*, vol. 94, iss. 2, pp. 394–404, 1996.

[284] E. Balas, and W. Niehaus, "Optimized Crossover-Based Genetic Algorithms for the Maximum Cardinality and Maximum Weight Clique Problems", *Journal of*

Heuristics, vol. 4, iss. 4, pp. 107–122, 1998.

[285] А.П. Кулаичев, *Методы и средства комплексного анализа данных*. Москва, Россия: ИНФРА-М, 2006.

[286] М. Фаудер, *Архитектура корпоративных программных приложений*. Москва, Россия: Издательский дом «Вильяме», 2008.

[287] Г. Б. Петухов, и В. И. Якулин, *Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем*. М. : AST, 2006.

[288] В. Кельтон, и А. Лоу, *Имитационное моделирование. Классика CS*. СПб: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004.

[289] Ю. И. Толуев, и Л. В. Савченко, "Возможности применения имитационного моделирования в бизнес-логистике", *Логистика: проблемы и решения*, № 4 (5), с. 38-43, 2006.

[290] Ю. И. Толуев, и К. Рихтер, "Комплексное применение имитационного моделирования при реализации концепции e-Manufacturing", *Интегрированная логистика*, № 2, с. 8–10, 2004.

[291] O. Serdiuk, "Development of criterion for comparative assessment of executive systems functional actvity", *Technology audit and production reserves*, vol. 4, iss. 3(30), pp. 40–46, 2016. DOI: 10.15587/2312-8372.2016.74866.

[292] Ю. В. Шеншинов, "Современные аспекты проектирования систем управления персоналом в промышленности", *Предпринимательство*, т. 5, с. 40–45, 2009.

[293] В. Н. Поляков, "Синтез формальных моделей языка и смысла как проблема семантической обработки естественного языка", *Научный обзор. Новости искусственного интеллекта*, № 1, с. 6–64, 1997.

[294] R. Agrawal, D. Gunopulos, and F. Leymann, "Mining Process Models from Workflow Logs", *6th International Conference on Extending Database Technology, Springer, Berlin*, vol. 1377, pp. 469–483, 1998.

[295] M. de Leoni, W.M.P. van der Aalst, and A.H.M. ter Hofstede, "Visual Support

for Work Assignment in Process-Aware Information Systems", *International Conference on Business Process Management (BPM 2008), Springer, Berlin,* vol. 5240, pp. 67–83, 2008.

[296] S. Goedertier, D. Martens, J. Vanthienen, and B. Baesens, "Robust Process Discovery with Artificial Negative Events", *Journal of Machine Learning Research,* vol. 10, pp. 1305–1340, 2009.

[297] R. S. Mans, N. C. Russell, W.M.P. van der Aalst, A. J. Moleman, and P. J. M. Bakker, "Schedule-Aware Workflow Management Systems", *Transactions on Petri Nets and Other Models of Concurrency IV. Springer, Berlin,* vol. 6550, pp. 121–143, 2010.

[298] A. Rozinat, and W.M.P. van der Aalst, "Conformance Checking of Processes Based on Monitoring Real Behavior", *Information Systems,* vol. 33(1), pp. 64–95, 2008.

[299] H. M. W. Verbeek, T. Basten, and W. M. P. van der Aalst. "Diagnosing Workflow Processes Using Woflan", *Computer Journal,* vol. 44(4), pp. 246–279, 2001.

[300] Е. И. Кошкарова, "Модель алгоритмического представления бизнес-процесса", *Наука и образование: Электронное научно-техническое издание,* №1, с. 150–158, 2014.

ДОДАТКИ

Додаток А

Список опублікованих праць за темою дисертації

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації:

[24] 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.

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

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

[27] 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.

[28] И. В. Шевченко, и И. Г. Оксанич, "Концептуальное моделирование организационно-технических систем", *Збірник наукових праць Национального университету кораблестроения имени адмирала Макарова*, № 1(475), с. 174–180, 2019.

[29] 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: https://doi.org/10.32434/2521-6406-2019-6-2-51-57.

[30] І. Г. Оксанич, О. П. Слюсаренко, та І. В. Шевченко, "Формування

компетенцій агентів у багатоагентній системі, орієнтованій на виконання бізнес-операцій", *Вісник Вінницького політехнічного інституту,* № 6 (147), с. 91–98, 2019. DOI: https://doi.org/10.31649/1997-9266-2019-147-6-91-98.

[31] 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.

[32] 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

[33] 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.

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

[35] 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.

[36] 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.

[37] I. A. Lucenko, S. S. Koval', I. G. Oksanich, O. Ju. Serdjuk, and A. V. Kolomic, "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.

[38] 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.

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

[40] 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.

[41] 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.

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

[43] 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, v*ol. 1020, pp. 225–241, 2019, DOI https://doi.org/10.1007/978-3-030-26474-1_17.

[44] 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.

[45] І. 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, DOI: 10.30929/1995-0519.2020.1.99-106

[46] 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.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

[39] 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.

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

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

[42] 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.

[43] І. Г. Оксанич, та І. 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.

[44] І. Г. Оксанич, та І. 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.

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

[46] 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.

[47] І. Г. Оксанич, "Розробка методу оптимізації для оперативної адаптації стратегії управління чергами", на *VI Всеукр. наук.-практ. конф. IT-Перспектива,* Кременчук, 2019, с. 20–21.

[48] 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.

[49] 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.

[50] 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, c. 1022–1027.

[51] 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.

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

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

Додаток Б

Документи про впровадження результатів

ЗАТВЕРДЖУЮ
Керуючий справами виконкому
міської ради
_____Р. В. Шаповалов
«29» листопада 2018 р.

АКТ ВИПРОБУВАНЬ

комплексу 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» за договором **№ 417/18 – «ІУС-ВК2/102»**

Комісія у склади:
голови – начальника відділу інформаційно-комп'ютерних технологій Рассохі І. О.,
членів: директора КП «Міськоформлення» Кригина В. С.,
заступника директора КП «Міськоформлення» Бабича Б. Ю.,
професора кафедри ІУС КрНУ, д.т.н. Шевченка І. В.

у період із 10 листопада 2018 р. по 20 листопада 2018 р. провела випробування комплексу 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» за договором **№ 417/18 – «ІУС-ВК2/102»**.

1. Мета випробувань: перевірка працездатності та відповідності розробленого програмного забезпечення умовам технічного завдання за пунктом 3.20 – «Розробка прототипу».
2. Результати випробувань :
2.1. Продемонстровано можливості програмного забезпечення за такими показниками:
– створення кабінетів користувачів;
– робота користувальницького інтерфейсу;
– завантаження даних в БД підсистеми;
– формування і реєстрація електронних документів і РК;
– пробна маршрутизація і узгодження документа;
– створення лог-файлу (історії) моніторингу процесу проходження документа.
2.2. Надано технічний опис комплексу програмних засобів–прототипів (додаток 1).

3. Висновки комісії щодо придатності програмного забезпечення в якості прототипу для розробки системи електронного документообігу міського виконавчого комітету:

3.1. Функціональність розробленого програмного забезпечення відповідає п.3.20 Технічного Завдання.

3.2. Прототип має функції маршрутизації, диспетчеризації, моніторингу проходження документів.

3.3. Прототип розроблено на базі сучасних технологій, зокрема хмарні технології.

3.4. Архітектура комплексу дозволяє його інтеграцію в систему «Електронний виконком».

3.5. Недоліками прототипу є:

відсутність функції ведення журналу реєстрації документів;

відсутність регламентації загального кінцевого строку обробки документу.

3.6. Комплекс програмних засобів–прототипів для підсистеми диспетчеризації та моніторингу системи електронного документообігу може бути використано як основу для створення повнофункціональної системи електронного документообігу. За умовою усунення вказаних недоліків комплекс може бути інтегровано в систему «Електронний виконком».

Голова комісії _____ Рассоха І. О.
(підпис)

Члени комісії

_____ Кригин В. С.
(підпис)

_____ Бабич Б. Ю.
(підпис)

_____ Шевченко І. В.
(підпис)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Голова Правління - директор
ПрАТ «Науково-технічний центр
«Інформаційні системи»
_____ О. І. Оксак
«24» 02 2020 р.

А К Т
про впровадження в виробництво результатів дисертаційної роботи
Оксанич Ірини Григорівни

Комісія у складі: голова – Райський Олександр Юхимович, директор з інформаційних технологій ПрАТ «Науково-технічний центр «Інформаційні системи», члени комісії: Мітюкова Олена Володимирівна, заступник директора з інформаційних технологій – начальник відділу корпоративних систем ПрАТ «Науково-технічний центр «Інформаційні системи», Плахута Галина Павлівна, заступник начальника відділу корпоративних систем ПрАТ «Науково-технічний центр «Інформаційні системи» склала цей акт про впровадження в виробництво розроблених Оксанич Іриною Григорівною методів, моделей та інформаційної технології динамічного формування виконавчих структур, реалізованих у вигляді підсистем «Підготовка процесів», «Диспетчер», «Моніторинг», «Виконавець» у складі першої черги системи маршрутизації бізнес-процесів керування персоналом.

Місце впровадження: служба керування персоналом ПрАТ «Науково-технічний центр «Інформаційні системи».

Склад впровадження:

– модуль «Підготовка процесів», що забезпечує заповнення технологічних карт бізнес-процесів підрозділу та сценаріїв виконання процесів та операцій.
– модуль «Диспетчер», що забезпечує запуск бізнес-процесів, розподіл бізнес-операцій по робочих місцях, ведення обліку завантаженості робочих місць, ранжування черг, діагностику ситуацій на робочих місцях та розрахунок витрат робочого часу, ведення бази даних по кожному бізнес-процесу.
– модуль «Моніторинг», що забезпечує контроль виконання бізнес-операцій на робочих місцях, контроль функціонування програмних агентів, підключення баз компетенцій відповідно до класу операцій, звітування перед диспетчером підрозділу.
– модуль «Виконавець», що забезпечує автоматизоване виконання бізнес-операцій, комунікацію з персоналом, що відповідає за певні операції у підрозділі, комунікацію з програмним агентом-монітором.

Позитивний ефект від впровадження забезпечується за рахунок скорочення вартості затримок при виконанні бізнес-процесів, скорочення на 45...50 % втрат часу на підготовку підсумкових форм і управлінських рішень, та скорочення часу зайнятості персоналу на виконанні рутинних операцій.

Сумарний економічний ефект від впровадження вказаних підсистем за період з 10.08.2019 р. по 5.02.2020 р. склав 58.4 тис. грн.

Голова комісії О. Ю. Райський

Члены комісії: О. В. Мітюкова

Г. П. Плахута

ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО «УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ ВАГОНОБУДУВАННЯ» (ДП «УкрНДІВ»)
39621, Україна, м. Кременчук Полтавської обл., вул. І. Приходька, 33, тел. (05366) 6-03-24, факс (05366) 6-10-36

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор Державного підприємства «Український науково-дослідний інститут вагонобудування», к.т.н.
О.М. Сафронов
«14» 04 2020 р.

А К Т
про впровадження у виробництво результатів дисертаційної роботи
Оксанич Ірини Григорівни

Комісія в складі: голова – Сулим А.О., к.т.н., заступник директора з наукової роботи ДП «УкрНДІВ», члени комісії: Хозя П.О., к.т.н., старший дослідник, завідувач науково-дослідної лабораторії експериментальних досліджень залізничної техніки ДП «УкрНДІВ»; Багров О.М, к.т.н., завідувач науково-дослідної групи наукових та експериментальних досліджень на статичну міцність та втому конструкцій залізничної техніки ДП «УкрНДІВ»; Простак О.І., провідний системний адміністратор системи ДП «УкрНДІВ».

Склала даний акт про впровадження у виробництво розроблених Оксанич І.Г. методу, моделей і алгоритмів динамічного формування робочих груп для виконання конструкторських та випробувальних робіт, обробки і оформлення результатів.

Місце впровадження: Випробувальний центр продукції вагонобудування ДП «УкрНДІВ».

Склад впровадження: програмні модулі підсистеми моніторингу та диспетчеризації бізнес-процесів випробування залізничної техніки.

Програмні модулі забезпечують:

- ведення обліку виконання робіт по робочих місцях, а саме – операцій планування випробувань та маршрутів випробувань, статистичної обробки результатів випробувань, формування звітів, формування розпоряджень та узгодження документації.
- моніторинг часу виконання операцій та розрахунок витрат часу;
- контроль завантаження виконавців;
- оптимальний розподіл виконавців з урахування пріоритетності робіт та компетенцій;
- оперативну корекцію розподілу завдань з урахуванням поточної ситуації.

В період з 04.10.2019 по 27.03.2020 при експлуатації програмного забезпечення за рахунок підвищення ефективності оперативного управління випробуваннями середній час виконання завдань скоротився на 15,2%.

Таким чином, застосування програмного забезпечення, що реалізує динамічне формування виконавчих груп, дозволило підвищити ефективність роботи Випробувального центру продукції вагонобудування ДП «УкрНДІВ».

Председатель комиссии — А. О. Сулим

Члены комиссии: — П. О. Хозя
О. М. Багров
О. І. Простак

ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ТОВ «Статус»

_____ В. В. Лещенко
«10» 07 2020 р.

А К Т
про впровадження результатів дисертаційної роботи
Оксанич Ірини Григорівни

Комісія у складі:

голова – Вовся А.Г., начальник виробництва ТОВ «Статус»,

члени комісії: начальник механічного цеху Кувалдін Є.В., технік-технолог Чернишов С.П.

склала даний акт про впровадження у виробництво розроблених Оксанич І.Г. моделей та алгоритмів динамічного розподілу завдань на виконання робіт зі зборки наступних видів устаткування:

- установки для виробництва кремнію типу "Редмет-30" і "Редмет-60";
- устаткування для переробки плат радіоелектронної техніки;
- вакуумні печі нестандартних конструкцій;
- розкладні меблі для офісних приміщень.

Програмне забезпечення, що встановлено, забезпечує оптимальний розподіл завдань з урахуванням їх пріоритетності, завантаження збиральних бригад та спеціалістів, які мають різні компетенції.

Програмні модулі забезпечують:

- ведення бази даних по завантаженості виконавців і оперативних даних з виконання завдань;
- моніторинг часу виконання завдань;
- розрахунок витрат часу і завантаження виконавців;
- динамічну корекцію планів виконання завдань з урахуванням поточної ситуації.

З початку експлуатації програмного забезпечення, з 10.19.2019 р. по 19.06.2020 р. за рахунок підвищення ефективності оперативного управління виробництвом скоротилися витрати часу на планування та перепланування робіт, час виконання завдань скоротився у середньому на 14,3%.

Таким чином, застосування програмного забезпечення, що реалізує динамічний розподіл завдань дозволило підвищити ефективність роботи підприємства.

Председатель комиссии А.Г. Вовся

Члены комиссии: Є.В. Кувалдін

С.П.Чернишов

ЗАТВЕРДЖУЮ
проректор КрНУ за науково-
педагогічною та методичної роботи
_____Костін В.В.
«04» _____2020 р.

А К Т
про впровадження в навчальний процес результатів дисертаційної роботи
Оксанич Ірини Григорівни

Комісія у складі:
голови: к.т.н., доцента, декана факультету електроніки та комп'ютерної інженерії Мосьпана В.О.;
членів комісії:
д.т.н., професора Притчина С.Е.,
к.т.н., доцента, Коноха І.С.

склала цей акт про впровадження в навчальний процес лекційних матеріалів і методичних вказівок щодо виконання лабораторних робіт, розроблених Оксанич І.Г. на основі результатів її дисертаційної роботи.

Місце впровадження: факультет електроніки та комп'ютерної інженерії КрНУ, кафедра автоматизації та інформаційних систем.

Склад впровадження:

- лекція «Методика побудови інформаційної технології маршрутизації документів та заявок на виконання бізнес-операцій» з курсу «Теорія автоматизованих систем контролю та управління»
- лекція «Системне проектування багатоагентної системи для роботизації бізнес-процесів» з курсу «Мультиагентні системи та технології підтримки прийняття рішень»;
- методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу "Імітаційне моделювання виробничих систем" (лабораторна робота «Моделювання керованої системи масового обслуговування»);
- методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з курсу «Технології обробки природної мови» (лабораторна робота «Програмна реалізація діалогу на анкетній мові»).

Голова комісії к.т.н., доцент Мосьпан В.О.

Члени комісії д.т.н., професор Притчин С.Е.

к.т.н., доцент, Конох І.С.