

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 багаторівневність 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 прогностного 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 імітаційній 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". – Kremenichuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenichuk, 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", *Радіоелектроніка 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", *Радіоелектроніка та інформатика*, № 2(85), С. 54–60, 2019.
- [4] И. В. Шевченко, И. Г. Оксанич, и И. С. Конох, "Модель и метод динамического формирования исполнительных структур в роботизированных организационно-технических системах", *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, вип. 5 (118), с. 103–109, 2019.
- [5] И. В. Шевченко, и И. Г. Оксанич, "Концептуальное моделирование организационно-технических систем", *Збірник наукових праць Національного університету 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] И. 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 подхода", *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 многоуровневых оценок качества производственных процессов", *Нові технології. Науковий вісник КВЕІТУ*, № 3 (13), с. 89–94, 2006.
- [17] I. Lutsenko, E. Fomovskaya, I. Konokh, and I. Oksanych, "Development of a method for the accelerated two-stage search for an optimal control trajectory in periodical processes", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 3, iss. 2 (87), pp. 47–55, 2017. DOI: 10.15587/1729-4061.2017.103731.
- [18] I. Lutsenko, I. Oksanych, D. Prykhodko, S. Koval, O. Feoktystova, and I. Kolos, "Synthesis of the structure of functional systems of conversion class with a portional supply of initial products", *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, vol. 6, iss. 4(96), pp. 32–40, 2018. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150848.
- [19] И. А. Луценко, Е. В. Фомовская, И. Г. Оксанич, и О. Ю. Сердюк, "Разработка метода верификации критерия для оптимизации операционных процессов с распределенными параметрами", *Радиоэлектроника, информатика, управление*, вып. 3(42), pp. 161–174, 2017, DOI: 10.15588/1607-3274-2017-3-18.
- [20] I. Konokh, I. Oksanych, and N. Istomina, "Automatic Search Method of Efficiency Extremum for a Multi-stage Processing of Raw Materials", *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. Springer, Cham*, vol. 1020, pp. 225–241, 2019, DOI 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. IT-Перспектива*, Кременчук, 2020, с. 21–23.
- [27] І. Г. Оксанич, та П. Д. Савушкін, "Діагностування ситуацій та інформаційна підтримка процесів адаптації виконавчих структур організаційно-технічних систем", на *VI Міжнарод. наук.-практ. конф. Інформаційні технології та взаємодії*, Київ, 2019, с. 155–159.
- [28] І. Г. Оксанич, та І. В. Шевченко, "Информационная модель многофазного

обслуговування 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 технології*, Харків, 2019, с. 100–101.
- [31] I. Oksanych, I. Lutsenko, S. Koval, and N. Rylova, "Modeling a convertor-class interactive system", in *IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology ELNANO-2019*, Kyiv, 2019, pp. 50–53.
- [32] І. Г. Оксанич, "Розробка методу оптимізації для оперативної адаптації стратегії управління чергами", на *VI Всеукр. наук.-практ. конф. IT-Перспектива*, Кременчук, 2019, с. 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] І. 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 Існуючі 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 Мета модель онтології діяльності організаційно-технічної системи.....	104
2.1.5 Мета модель онтології системи управління.....	108
2.1.6 Перший рівень конвергенції онтологій.....	110
2.1.7 Мета модель 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.....	
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.....	
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.

РЕ – 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 розподіленості 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 можливість узагальнювати інформацію та приймати адекватні рішення, а, з другого боку, створює дуже велику інерційність, у тому числі, інерційність щодо швидкості зміни складу виконавчих структур. Але саме тут є резерви підвищення ефективності, оскільки будь-який бізнес-процес створює потік заявок на виконання бізнес-операцій. Розподіл заявок між автоматизованими робочими місцями відбувається, найперше, відповідно до бізнес-логіки, але при цьому – з урахуванням 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

мультіагентних технологій. Сучасні підходи до управління ресурсами, які можуть бути реалізовані на основі мультіагентних 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, М. 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, містить 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).

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", *Радіоелектроніка 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", *Радіоелектроніка та інформатика*, № 2(85), С. 54–60, 2019.
- [4]И. В. Шевченко, И. Г. Оксанич, и И. С. Конох, "Модель и метод динамического формирования исполнительных структур в роботизированных организационно-технических системах", *Вісник КрНУ імені Михайла Остроградського*, вип. 5 (118), с. 103–109, 2019.
- [5]И. В. Шевченко, и И. Г. Оксанич, "Концептуальное моделирование организационно-технических систем", *Збірник наукових праць Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова*, № 1(475), с. 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 подхода", *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 многоуровневых оценок качества производственных процессов", *Нові технології. Науковий вісник КУЕИТУ*, № 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*, вып. 3(42), pp. 161–174, 2017, DOI: 10.15588/1607-3274-2017-3-18.
- [20] I. Konokh, I. Oksanych, and N. Istomina, "Automatic Search Method of Efficiency Extremum for a Multi-stage Processing of Raw Materials", *Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making*. Springer, Cham, vol. 1020, pp. 225–241, 2019, DOI 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. Нанівпровідникові 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. IT-Перспектива*, Кременчук, 2020, с. 21–23.
- [27] І. Г. Оксанич, та П. Д. Савушкін, "Діагностування ситуацій та інформаційна підтримка процесів адаптації виконавчих структур організаційно-технічних систем", на *VI Міжнарод. наук.-практ. конф. Інформаційні технології та взаємодії*, Київ, 2019, с. 155–159.
- [28] І. Г. Оксанич, 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 технології*, Харків, 2019, с. 100–101.
- [31] I. Oksanych, I. Lutsenko, S. Koval, and N. Rylova, "Modeling a convertor-class interactive system", in *IEEE 39th International Conference on Electronics and Nanotechnology ELNANO-2019*, Kyiv, 2019, pp. 50–53.
- [32] І. Г. Оксанич, "Розробка методу оптимізації для оперативної адаптації стратегії управління чергами", на *VI Всеукр. наук.-практ. конф. IT-Перспектива*, Кременчук, 2019, с. 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] І. Oksanyuch, "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. Методологические 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, Россия: 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. Кветний, О.І. Михальов, та А.В. Усов, *Моделювання та оптимізація 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: УНІВЕРСУМ-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. Gibbs, "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 технології 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. Сабилов "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](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 бизнеса: 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, процессы*. 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, iss. 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 технологии*, 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. Garcia-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](https://doi.org/10.1016/j.protcy.2012.09.047). 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] Ouahim 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. Buseti "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*, вып. 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. Растрин, *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] Н. 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 быстроедействие 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. Невolina, 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: УНІВЕРСУМ, 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 МАР-потоке событий при непродлеваемом 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 МАР-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. Жернов, "Многолинейные системы с отказами и равновероятным распределением заявок", *Информационные процессы*, том 13, № 1, с. 19–34, 2013.
- [240] Ю. В. Жернов, та К. Ю. Жернов, 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. Гайденок, "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. Дожди́ков, "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. Verschuere *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 телемеханика*, 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", *УСМ*, № 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*, вип. 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 activity", *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. Кошкарлова, "Модель алгоритмического представления бизнес-процесса", *Наука и образование: Электронное научно-техническое издание*, №1, с. 150–158, 2014.

