

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2019.1\(475\).24](https://doi.org/10.15589/znp2019.1(475).24)  
УДК 007.51

CONCEPTUAL MODELING  
OF ORGANIZATIONAL-TECHNICAL SYSTEMS  
КОНЦЕПТУАЛЬНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Igor V. Shevchenko

ius.shevchenko@gmail.com  
ORCID: 0000-0003-3009-8611

Iryna G. Oksanych

oksirena2017@gmail.com  
ORCID: 0000-0002-4570-711X

И. В. Шевченко

докт. техн. наук, профессор

И. Г. Оксанич

канд. техн. наук, доцент

*Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University, Kremenchuk*

*Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг*

**Abstract.** The aim of the research is to create modeling hierarchical tools for the synthesis of executive systems based on the ontology of the problem area and multi-agent approach. The object of research is the synthesis of executive structures designed to carry out business processes within the framework of organizational-technical systems. In the research process, system analysis and synthesis are used, as well as the agent representation of the executive structure elements. The results of the research is a complex of conceptual models. This complex allows to solve theoretical synthesis problems: to form a model complex with possibility to perform a formal description of a business process and a business operation into the operational space of the organizational-technical system; to create mathematical support for monitoring business processes at the level of individual workstations and at the level of organizational-technical systems. Scientific novelty consists in the following positions. 1. The conceptual ontological model of the synthesis problem area for the controlled executive system structure is proposed. Designed model is characterized by possibility of providing operations of storage, buffering, transformation, moving and functioning quality optimization in own structure and model relationships. Implemented operations are realized by maximizing the changing freedom degrees number of the material and information input parameters of products and the system. Such approach gives theoretical premises for solving the problem of forming optimal executive groups within the organizational-technical systems framework. 2. The generalized structure concept of the production class controlled system has been improved by using embedded matrix relationships description and agent approach with agents set divided on subsets agreed to their functions of inventory management, monitoring, business process regulating and quality controlling. Developed concept provides a methodological basis for building many automatic and ergatic systems for various purposes in various subject areas. The practical value of the research is to develop a model and method for the dynamic formation of executive structures in robotic organizational-technical systems; to develop models for recognizing situations and errors in performing business operations in a robotic organizational-technical system.

**Key words:** system; business process; synthesis; agent; criterion.

**Анотація.** Метою дослідження є створення модельного ієрархічного інструментарію для синтезу керованої виконавчої системи на основі онтології проблемної області та мультиагентного підходу. Об'єктом дослідження є процес синтезу виконавчих структур, призначених для виконання бізнес-процесів у рамках організаційно-технічних систем. У процесі дослідження використовуються системний аналіз і синтез, а також агентне подання елементів виконавчої структури. Результатами роботи є комплекс концептуальних моделей, який дозволяє вирішити теоретичні завдання синтезу, а саме: сформувати комплекс моделей, що дають можливість відобразити формальний опис бізнес-процесу і бізнес-операції в операційний простір організаційно-технічної системи і створити математичне забезпечення для здійснення моніторингу бізнес-процесів як на рівні окремих автоматизованих робочих місць, так і на рівні організаційно-технічних систем. Наукова новизна полягає у таких положеннях: 1. Запропонована концептуальна онтологічна модель проблемної області синтезу структури керованої виконавчої системи, яка відрізняється тим, що у складі й взаємозв'язках моделі передбачені можливості забезпечення операцій зберігання, буферизації, перетворення, переміщення і оптимізації якості функціонування за рахунок максимізації кількості ступенів свободи зміни параметрів матеріальних та інформаційних вхідних

продуктів і самої системи, що дає теоретичні передумови вирішення задачі формування оптимальних виконавчих груп у рамках організаційно-технічних систем. 2. Вдосконалена концепція узагальненої структури керованої системи виробничого класу за рахунок використання вкладеного матричного опису зв'язків та агентного підходу, в якому множини агентів поділено на підмножини за виконуваними функціями управління запасами, моніторингу, регулювання бізнес-процесу й контролю його якості, що дає методичну основу для побудови множини автоматичних і ергатичних систем різного призначення у різних предметних областях.

**Практична значимість** роботи полягає у розробці моделі та методу динамічного формування виконавчих структур у роботизованих організаційно-технічних системах; розробці моделі розпізнавання ситуацій і помилок виконання бізнес-операцій у роботизованій організаційно-технічній системі.

**Ключові слова:** система; бізнес-процес; синтез; агент; критерій.

**Аннотація.** Целью исследования является создание модельного иерархического инструментария для синтеза управляемой исполнительской системы на основе онтологии проблемной области и мультиагентного подхода. Объектом исследования является процесс синтеза исполнительских структур, предназначенных для выполнения бизнес-процессов в рамках организационно-технических систем. В процессе исследования используются системный анализ и синтез, а также агентное представление элементов исполнительской структуры. Результатами работы является комплекс концептуальных моделей, который позволяет решить теоретические задачи синтеза, а именно: сформировать комплекс моделей, которые дают возможность отразить формальное описание бизнес-процесса и бизнес-операции в операционное пространство организационно-технической системы и создать математическое обеспечение для осуществления мониторинга бизнес-процессов как на уровне отдельных автоматизированных рабочих мест, так и на уровне организационно-технических систем.

**Ключевые слова:** система; бизнес-процесс; синтез; агент; критерий.

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

При решении задач системно-методологического характера, таких как структурный анализ и синтез организационно-технических систем (ОТС) со структурной адаптацией, возникает специфическая проблема формирования обобщенных концепций, критериев и структур для обеспечения возможности создания полной системы взаимосвязанных решений на основе иерархического объединения конечного множества моделей, методов и технологий. На первых этапах системного синтеза необходимо построить основные концепции, которым подчиняются компоненты системы в иерархической структуре. Ведущую роль в этом играют, на наш взгляд, теоретико-множественные представления. Поэтому, рассматривая каждую задачу разработки модели одного из компонентов исполнительской системы, следует придерживаться иерархии описания, на верхнем концептуальном уровне которой формируется теоретико-множественная модель. Такой подход кажется естественным и позволяет структурировать решение задачи и сделать его логически прозрачным.

Конструирова методологию системного синтеза, необходимо учесть и соединить область проблем пользователей (представителей заинтересованной стороны) и область проблем выработки системных решений. Потребность в динамическом формировании исполнительских структур в рамках ОТС возникает из противоречия между требованием гарантированного выполнения множества бизнес-операций в установленные сроки и ограничениями на технологические и организационные возможности ОТС. Другими слова-

ми, пользователи видят проблему в низкой эффективности ОТС. Для устранения проблемы необходимо формировать гибкую структуру, адаптирующуюся в процессе поступления новых заявок на выполнение бизнес-операций.

Задачей работы является построение онтологической модели проблемной области с учетом как точки зрения пользователя, так и возможных системных решений абстрактного уровня.

## АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Современные ОТС в любой отрасли, как правило, имеют в своем составе множество элементов со сложной схемой взаимосвязей. В задачах синтеза оптимальных исполнительских структур, способных к адаптации при меняющихся потоках заявок, важно иметь единое формальное описание, охватывающее иерархическую структуру ОТС и множество параллельных связей. Создание такого описания является достаточно сложной задачей [1; 2]. Сложности структурного синтеза исполнительских систем связаны в первую очередь с неопределенностью условий задач проектирования, когда не полностью конкретизированы модели и алгоритмы формирования исполнительских структур [3; 4]. В идеале должна существовать некая «универсальная» метамодель, отражающая вертикальные и горизонтальные связи в системе на любом уровне иерархии [5]. Однако в процессе синтеза многоуровневых структур обычно не удается учесть все системные свойства, представленные на верхних уровнях иерархического модельного описания, что является общей проблемой. С другой

стороны, анализ последних публикаций не выявил работ, связанных с математическим моделированием исполнительных иерархических структур. Как примеры общего подхода можно привести работы [6–9], в которых задачи проектирования координационных процессов ставятся в практическом плане, хотя и с использованием известных средств моделирования, концептуальных и онтологических подходов.

### ОТДЕЛЕНИЕ НЕРЕШЕННЫХ ЧАСТЕЙ ОБЩЕЙ ПРОБЛЕМЫ

Таким образом, представляется актуальным и полезным с точки зрения задач синтеза динамически изменяющихся исполнительных структур разработать онтологический и модельный подход для представления иерархической организационно-технической системы с учетом ее функционального назначения и общих показателей качества.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью исследования является создание модельного иерархического инструментария для синтеза исполнительных систем на основе онтологии проблемной области и мультиагентного подхода.

### МЕТОДЫ, ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В процессе исследования используются системный анализ и синтез, а также агентное представление элементов исполнительных структур.

Объектом исследования является процесс синтеза исполнительных структур, предназначенных для выполнения бизнес-процессов в рамках организационно-технических систем.

Предметом исследования являются концептуальные и онтологические модели проблемной области.

### ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

#### *Описание сущностей онтологии проблемной области*

Раскроем содержание сущностей онтологии. Введем понятие операции как акта изменения естественного хода событий путем направленного преобразования продуктов: *операция* – это ограниченный во времени управляемый (направленный) процесс преобразования входных продуктов данной операции в выходные продукты, обладающие новыми потребительскими свойствами.

Бизнес-операция (БО) – это процесс преобразования менее ценных входных продуктов в более ценные выходные продукты. Поскольку реализует БО некий механизм, введём такое обобщенное кибернетическое понятие, как механизм. Механизм – это кибернетический объект, который обеспечивает решение задачи преобразования, перемещения, хранения или буферизации продуктов направленного воздействия. Разделим механизмы на следующие типы: комплексные; каналобразующие; сервисные; буферизации; хранения.

Комплексный механизм – это кибернетический объект, который обеспечивает возможность преобразования входных продуктов в определенные выходные продукты с использованием энергетических и информационных продуктов.

Каналообразующий механизм ограничивает возможность перемещения объекта в произвольном направлении, то есть создает канал перемещения.

Сервисный механизм – это комплексный механизм, который обеспечивает возможность перемещения продукта по каналобразующим механизмам.

Механизм буферизации – это каналобразующий механизм, который предназначен для количественного согласования асинхронных потоков подачи и выдачи буферизированных продуктов.

Механизм хранения – это каналобразующий механизм, который предназначен для реализации функции задержки подачи продукта на вход последующего системного механизма с целью синхронизации операционных процессов.

Любой из указанных выше механизмов может являться основой соответствующей системы (подсистемы). Соответственно, для простых систем, выполняющих только одну базовую технологическую функцию, применимы те же обозначения, что и для механизмов: система перемещения, система преобразования, система буферизации и так далее.

Введём понятие степени свободы системы. Степень свободы системы – это независимый сигнал управления, изменение которого в рамках наложенных ограничений, способствует достижению заданного количества и качества основного технологического продукта. Максимальное количество степеней свободы система может получить только тогда, когда в рамках интерактивного взаимодействия с другими системами можно независимо изменять параметры всех входных продуктов – информационных, энергетических и вещественных.

Определим управляемую исполнительную систему, как целостный объект, обеспечивающий формирование качественных и количественных параметров основного продукта в процессе взаимодействия с окружающей средой и интерактивного взаимодействия с системным окружением.

Основной признак управляемой системы проявляется в виде категории, которую можно определить, как *адаптивную целесообразность*. Если объект является управляемой системой, то в процессе реализации своего предназначения он должен обеспечивать такой режим функционирования, при котором эффективность использования ресурсов будет максимальной в данных условиях.

Для обеспечения требуемой эффективности функционирования системы необходимо ввести в онтологию понятие критерия управления – это

показатель, экстремальное значение которого является указателем для выбора определенного режима работы каждого системного механизма. Показатель эффективности должен представлять собой выражение, отображающее механизм взаимосвязи функции входа и функции выхода модели операции, результатом которого является числовое значение. В общем случае, чем выше значение такого числового параметра, тем выше эффективность операции. Для обеспечения качества выходного продукта нужен критерий качества, экстремальное значение которого является указателем потребительской ценности выходного продукта. Такой критерий составляет главную сущность модели требований с точки зрения пользователя.

С учетом введенных понятий онтологию проблемной области представим в виде:

$$O = \langle E(A), T, U(D^U), X(D^X), S(SI), Y, Z, C(D^C), Q, \eta, \psi, \varphi, \rangle, \quad (1)$$

где  $E$  – сущности проблемной области, главными из которых являются:  $BO$  – бизнес-операция (БО), подразумевающая функцию буферизации на входе, функции обработки исходного продукта и функцию буферизации готового продукта на выходе;  $CS$  – система управления бизнес-операцией;  $BOQM$  – система управления качеством БО;  $A$  – атрибуты сущностей;  $T = \{t_l, l = \overline{1, L}\}$  – множество дискретных моментов времени протекания БО;  $U = \{u_i(t) | u_i(t) \in D^{U_{io}}, i = \overline{1, I}, t \in T\}$  – множество управляющих воздействий на БО, которое может быть разделено на подмножества управлений по буферизации, основной обработке, коррекции значений режимных параметров процесса обработки;  $D^U = \{D^{U_i}, i = \overline{1, I}\}$ , области допустимых значений управляющих воздействий;  $X = \{x_j(t) | x_j(t) \in D^{X_j}, j = \overline{1, J}, t \in T\}$  – входной продукт;  $D^X = \{D^{X_j}, j = \overline{1, J}\}$  – области допустимых значений показателей качества входного продукта;  $S = \{S_t; S_t = f(S_{t-p}, U, X), U \in D^U, X \in D^X, t \in T\}$  – множество состояний БО;  $SI = \{SI_t; SI_t = \varphi(S_t), t \in T\}$  – множество параметров, характеризующих состояние целевой операции (сопутствующий информационный продукт);  $Y = \{y_m(t), m = \overline{1, M}, t \in T, y_m(t) = \eta_m(t, S), t \in T\}$  – множество результирующих целевых выходов БО (множество выходных продуктов);  $Z = \{z_n(t), n = \overline{1, N}, t \in T\}$  – множество задаваемых параметров, определяющих номинальный режим протекания БО;  $C = \{c_k(t) | c_k(t) \in D^{C_{ko}}, k = \overline{1, K}, t \in T\}$  – множество корректирующих воздействий на систему управления  $CS$  с целью улучшения качества БО, которое, в свою очередь, определяет качество выходного продукта;  $D^C = \{D^{C_k}, k = \overline{1, K}\}$ , область допустимых значений корректирующих воздействий;  $Q = \{q_g, g = \overline{1, G}\}$  – модель требований – множество показателей качества и эффективности

ОТС, зависящих от бизнес-правил предприятия и характера результата БО;  $\eta: U \times X \times S \rightarrow Y$  – отображение множества управляющих воздействий  $U$ , множества входов  $X$ , множества состояний бизнес-процесса  $S$  в множество выходов процесса  $Y$ ;  $\varphi: X \times U \times T \rightarrow S$  – отображение множества входов  $X$ , множества управляющих воздействий  $U$ , на всём интервале времени  $T$ , в котором осуществляется управление, во множество состояний  $S$ ;  $\varphi: Z \times SI \times C \rightarrow U$  – отображение множества задаваемых параметров  $Z$ , множества параметров состояний БО  $SI$  и множества корректирующих воздействий  $C$  в множество управляющих воздействий  $U$ ;  $\varphi: Q \times Y \times SI \rightarrow C$  – отображение множества целей управления качеством  $Q$ , множества целевых параметров БО  $Y$  и множества параметров состояний БО  $SI$  в множество корректирующих воздействий  $C$  на систему управления процессом, которые осуществляет система управления качеством БО  $BOQM$ .

Обобщенную структуру управляемой исполнительной системы в соответствии с выражением (1) поясняет рис. 1.

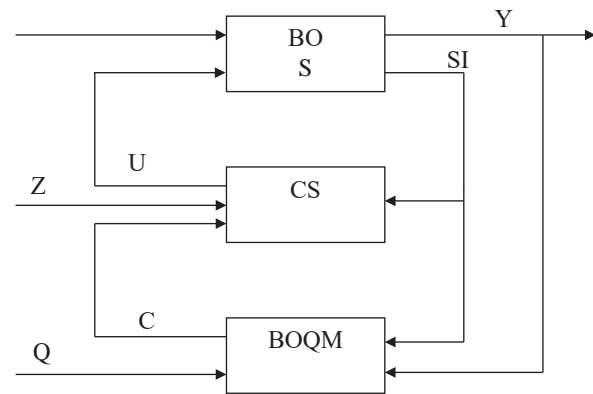


Рис. 1. Обобщенная структура исполнительной системы

Согласно изложенной концепции любая управляемая система, выполняющая функции буферизации, хранения, преобразования, перемещения, должна иметь общую структуру, показанную на рис. 1.

Такая система может иметь максимальное количество степеней свободы, поскольку в структуре модели присутствуют все необходимые элементы для независимого изменения параметров всех входных продуктов – информационных, энергетических и материальных, а также изменения параметров основного процесса.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что предложенная концептуальная онтологическая модель проблемной области, обладает универсальностью для рассматриваемого класса управляемых исполнительных систем и допускает вложенность и многоуровневость при синтезе непрерывных и дискретных управляемых систем.

Исходя из разработанной концептуальной онтологической модели, для формального описания структуры исполнительской системы разработана многосвязная вложенная матричная модель, способная отражать все множество взаимосвязей, присущих такой системе. Этот подход позволяет по мере разработки уточнять модельное описание системы без качественного изменения ее архитектуры, применять различные модели для описания различных процессов, использовать необходимые уровни детализации с сохранением общей целостности.

Примем концепцию многоагентного подхода к анализу и синтезу исполнительской системы. Функциональными задачами в любой управляемой системе, реализующей бизнес-процесс, являются задачи планирования, контроля (мониторинга), учета, регулирования, управления качеством. Отнеся задачу планирования к задачам динамического синтеза исполнительской структуры и перенеся задачу учета в задачу мониторинга, выделим в управляемой системе подсистемы мониторинга и диспетчеризации (маршрутизации). Агенты подсистемы мониторинга должны не только непрерывно отслеживать изменения текущей ситуации, но и диагностировать критические ситуации и достоверно, с расчетом на опережение, предсказывать дальнейший ход и результат контролируемого процесса. Агенты подсистемы диспетчеризации должны осуществлять распределение ресурсов, маршрутизацию заявок на выполнение БО, а также анализ критических ситуаций на уровне ОТС и оценку качества функционирования ОТС. Перечисленные группы агентов, как правило, имеют между собой перекрестные связи (информационные зависимости), что вынуждает применить матричное описание обобщенной структуры, как наиболее гибкое и логически прозрачное.

Множество входов системы разделим на три подмножества: первичные входы  $X1$  – информационные и материальные объекты, инициирующие запуск основного бизнес-процесса;  $X2$  – информационные и материальные объекты, обеспечивающие нормальное протекание бизнес-процесса – промежуточные результаты выполнения БО, стандарты, регламенты, алгоритмы выполнения действий, техническое и энергетическое обеспечение;  $X3$  – входы обратной связи, обеспечивающие систему управления данными о качестве процесса и готового продукта. На концептуальной схеме рис. 1 подмножество  $X3$  представлено каналами  $Y$  и  $SI$ .

Каждое подмножество входов обслуживается соответствующим подмножеством агентов:  $a1 \in A1$ ,  $a2 \in A2$ ,  $a3 \in A3$ , каждый из которых решает определенный круг задач по переработке информации. Агенты подмножества  $A1$  обрабатывают информацию о количестве и качестве входных материалов, определяют степень готовности бизнес-процесса к

запуску, обеспечивают управление запасами входных материалов. Агенты подмножества  $A2$  обрабатывают информацию регламента, алгоритмов, наличия ресурсов, оптимизируют их распределение в пространстве и времени, обеспечивают управление запасами ресурсов. Подмножество агентов  $a3 \in A3$ , обеспечивает контроль качества основного процесса и готового продукта и передает данные агентам подмножества  $A2$ . Каждый агент способен выполнять несколько динамических операций (композиционных функций  $U$ ), обеспечивая совместно с другими агентами выполнение конкретной БО. Структурная матрица верхнего уровня показана в табл. 1.

Таблица 1. Структурная матрица верхнего уровня

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

Зарегистрированные значения элементов подвекторов входных параметров  $X_i$ ,  $i = \overline{1, m}$  – данные, характеризующие конкретную ситуацию на объекте управления. Выходы системы  $Y_j$ ,  $j = \overline{1, n}$  – конечное множество основных и вторичных материальных и информационных продуктов, полученных при текущих значениях входных данных из множества  $X$  и состояний  $S$  основного процесса. Связи между агентами  $A_i$  и выходами  $Y_j$  осуществляют преобразующие композиционные функции  $U_{ij}$ , играющие роль функций управления для исполнительных механизмов:  $Y_j = \Phi(U_{ij})$ .

Необходимое состояние выхода  $Y_j$  обеспечивается, во-первых, конечным числом  $s_j$  – количеством активных элементов в столбце  $j$ , и, во вторых, – подмножествами и последовательностью выходных сигналов – функций  $U_{ij}$ , участвующих в формировании выхода  $Y_j$ .

Модель агента  $A_i$ , реализующего связь подвектора входных параметров  $X_i$  и функции  $U_{ij}$ , в общем случае представим отображением:

$$A_i : X_i \rightarrow U_{ij} \tag{2}$$

В общем случае каждый агент  $A_i$  может быть представлен матрицей, показанной в табл. 2. Здесь  $x_{ik}$  – элемент подвектора  $X_i$ ;  $U_{ki}$  –  $k$ -е подмножество выходов агента  $A_i$ ;  $I_{ik}$  – локальный оператор преобразования значения параметра  $x_i^j$  – в элемент композиционной функции  $U_{ki}$ .

В каждом столбце матрицы табл. 2 имеется  $g_k$  активных элементов ( $gk \leq r$ ). Отдельные операторы  $I_{ik}$  связаны между собой также, как связаны физические и/или информационные процессы, которые они отражают.

Таблица 2. Структурная матрица модели агента  $A_i$ 

Входы	Выходы агента $A_i$					
	$U_1^i$	$U_2^i$	---	$U_k^i$	---	$U_p^i$
$x_1^i$	$I_{11}$	$I_{12}$	---	$I_{1k}$	---	$I_{1p}$
$x_2^i$	$I_{21}$	$I_{22}$	---	$I_{2k}$	---	$I_{2p}$
---	---	---	---	---	---	---
$x_1^i$	$I_{11}$	$I_{12}$	---	$I_{1k}$	---	$I_{1p}$
---	---	---	---	---	---	---
$x_r^i$	$I_{r1}$	$I_{r2}$	---	$I_{rk}$	---	$I_{rp}$

Таким образом, формальную модель предложенной структуры управляемой системы можно представить в виде:

$$SS = \langle A(A1, A2, A3), X, Y, U, I, M, R1, R2, R3 \rangle, \quad (3)$$

где  $A$  – множество агентов;  $X$  – множество входов системы;  $Y$  – множество выходов;  $U$  – множество композиционных функций управления;  $I$  – множество локальных операторов преобразования;  $M$  – множество механизмов буферизации, преобразования и перемещения;  $R1 \subseteq X \times A$  – проекция множества входов на множество агентов;  $R2 \subseteq I \times A$  – проекция множества локальных операторов на множество агентов;  $R3 \subseteq A \times U$  – проекция множества агентов на множество функций управления.

В качестве агентов и механизмов можно рассматривать как персонал, так и программные модули соответствующего назначения.

Предложенная обобщенная структура управляемой системы является концептуальной кибернетической основой для построения множества управляемых систем, как эргатических, так и автоматических в различных предметных областях.

#### **Концептуальная модель задачи структурной адаптации управляемой системы**

Целесообразно функционирующая система должна обладать в пространстве и времени фундаментальными свойствами поведения: активностью и функциональным гомеостазисом – поддержанием способности к продуктивному функционированию в изменяющихся условиях. При этом необходима структурная и параметрическая адаптация системы, которая в общем случае может быть эффективна лишь в некоторой ограниченной области. Другими словами, адаптация системы должна поддерживать функциональное поведение, которое должно быть оптимальным в смысле определенных критериев качества. Для реализации адаптации необходимо решать задачи следующего плана:

1. Задача подготовки к структурной адаптации – разработка необходимого состава и связей механизмов, подсистем управления и функциональных агентов таким образом, чтобы охватить множество задач, для решения которых проектируется система, а также вариантов этих задач. Структура системы может ме-

няться в случае появления нового бизнес-процесса (БП), изменения состава ресурсов, технологии, добавления или исключения рабочих центров или рабочих мест, могут потребоваться новые алгоритмы управления, может измениться спрос на конечный продукт и/или предложение отдельных ресурсов.

2. Синтез модели структурной адаптации с учетом пункта 1.

3. Синтез алгоритмов для реализации корректирующих воздействий с целью структурной адаптации.

4. Синтез оптимальных корректирующих воздействий с целью адаптации на параметрическом уровне.

При этом функции адаптации должны быть распределены по уровням иерархии системы.

Будем рассматривать лишь дискретные моменты времени  $T=0,1,\dots,N$ , когда измеряются критерии и изменяются адаптируемые параметры объекта.

Построим модель многоагентной системы на основе соответствующей онтологии. Базовыми объектами онтологии есть активные и подчиненные сущности. Те и другие являются агентами, которым присущи определенные роли. Активные сущности (агенты) используются для координации и управления последовательности действий согласно сценарию интегральной целевой операции. Подчиненные сущности играют роли исполнительных механизмов.

Между сущностями проблемной области существуют определенные отношения, которые нужно отразить в модели. Представим концептуальную модель многоагентной системы, с учетом сказанного выше, в виде:

$$O = \langle PE(AP), AE(AA, RA, AS), SO, AR, R4, R5, R6, AL, KL, PTA \rangle, \quad (4)$$

где  $PE$  – множество подчиненных сущностей – механизмов буферизации, преобразования, перемещения;  $AP$  – множество атрибутов подчиненных сущностей;  $AE$  – множество активных сущностей;  $AA$  – множество атрибутов активных сущностей;  $RA$  функциональные роли активных сущностей, каждая из которых отождествляется с названием агента;  $AS$  – множество аспектов функционирования активных сущностей в рамках определенных ролей (компетенций агентов);  $SO$  – множество классов простых бизнес-операций в бизнес-процессах, которые реализуются в ОТС;  $R4 \subseteq SO \times AE \times AS$  – проекция множества простых операций на множество компетенций агентов и на аспекты их функционирования;  $R5 \subseteq PE \times AE$  – отношение подчиненных и активных сущностей, то есть какие из агентов формируют сигналы управления для отдельных механизмов;  $R6 \subseteq AS \times AS$  – отношение между аспектами функционирования активных сущностей (отношения  $R5$  и  $R6$  вначале вербально определяются в требованиях к системе);  $AL$  – библиотека алгоритмов реализации процессов управления в системе;  $KL$  – библиотека баз знаний для осуществ-

вления БО и процесса структурной адаптации;  $PTA$  – комплекс процедур структурной адаптации системы.

Задача структурной адаптации системы определяется выражением:

$$TA = \langle BPM, SS, OS, Q_{SA}, RS, F \rangle, \quad (5)$$

где  $BPM$  – модель бизнес-процесса, для которого необходимо адаптировать структуру ОТС;  $SS$  – множество допустимых структур (конфигураций) системы;  $OS$  – операционное пространство системы, которое включает подпространство операционного времени, подпространство бизнес-операций, подпространство ресурсов;  $Q_{SA}$  – множество критериев качества для выбора структуры;  $RS$  – множество предпочтений и структурных ограничений;  $F$  – конечное множество правил преобразования структур.

### ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Разработанный комплекс концептуальных моделей позволил решить теоретические задачи синтеза, а именно: сформировать комплекс моделей, дающих возможность отобразить формальное описание бизнес-процесса и бизнес-операции в операционное пространство организационно-технической системы и создать математическое обеспечение для осуществления мониторинга бизнес-процессов как на уровне отдельных АРМ, так и на уровне ОТС; разработать модель и метод динамического формирования исполнительных структур в роботизированных организационно-технических системах; разработать модели распознавания ситуаций и ошибок выполнения бизнес операций в роботизированной организационно-технической системе.

Несмотря на удобство использования описанных выше моделей, нужно отметить, что во избежание недопустимых упрощений в постановках задач нижних уровней требуется дальнейшее развитие методологии системного синтеза исполнительных структур, в частности, путем разработки формальных методов композиции.

### ВЫВОДЫ

Предложена концептуальная онтологическая модель проблемной области синтеза структуры управляемой исполнительской системы, отличающаяся тем, что в составе и взаимосвязях модели предусмотрены возможности обеспечения операций хранения, буферизации, преобразования, перемещения и оптимизации качества функционирования за счет максимизации количества степеней свободы изменения параметров материальных и информационных входных продуктов и самой системы, что дает теоретические предпосылки решения задачи формирования оптимальных исполнительных групп в рамках организационно-технических систем.

Усовершенствована концепция обобщенной структуры управляемой системы производственного класса за счет использования вложенного матричного описания связей и агентного подхода, в котором множество агентов разделено на подмножества по выполняемым функциям управления запасами, мониторинга, регулирования бизнес-процесса и контроля его качества, что дает методическую основу для построения множества автоматических и эргатических систем различного назначения в различных предметных областях.

### REFERENCES

- [1] Mesarovic, M.D., Takahara, Ya. (1978). General systems theory: mathematical foundations. Mir, Moscow, USSR.
- [2] Beskorovainyi, V.V. (2002). Sistemologicheskii analiz problemy strukturnogo sinteza territorialno raspredelennykh system [Systemological analysis of the problem of structural synthesis of geographically distributed systems]. *Management Information System and Devises*, Iss. 120, pp. 29–37.
- [3] Tarasik, V.P. (2004). Matematicheskoe modelirovanie tekhnicheskikh sistem [Mathematical modeling of technical systems]. DisaynPRO, Moscow, Russia.
- [4] Timchenko, A.A. (2000). Fundamentals of System Design and System Analysis of Complex Objects. Book 1: Fundamentals CAD system and design of complex objects. Lybid, Kyiv, Ukraine.
- [5] Rogozov, Yu. (2011). Sistemnyi podkhod k sozdaniiu metoda razrabotki informatsionnykh obektov na osnove metamodelei [The systematic approach to creating a method for developing information objects based on metamodels]. *Informatization and communication*, no. 7, pp. 57–62.
- [6] Leemans, S.J., Fahland, D., Aalst, W. M. van der (2013). “Discovering block-structured process models from event logs—a constructive approach”. *International conference on applications and theory of Petri nets and concurrency*, Springer, pp. 311–329.
- [7] Rospocher, M., Ghidini, Ch., Serafini, L. (2014). “An ontology for the business-process modelling notation”. *Formal Ontology in Information Systems*, Vol. 267, pp. 133–146.
- [8] Bahramnejad, P., Sharafi, S. M., Nabiollahi, A. (2015). “A method for business process Reengineering based on enterprise ontology”. *International Journal of Software Engineering & Applications*, Vol. 6, No.1, pp. 25–39.
- [9] Mansoor, H., Muhammad, S., Sajjad, A., Zeb, J. (2014). “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.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Месарович, М., Такахара, Я. (1978). Общая теория систем: математические основы. Москва : Мир, 1978. 312 с.
- [2] Бескорвайный, В. В. (2002). Системологический анализ проблемы структурного синтеза территориально распределенных систем. *Автоматизированные системы управления и приборы автоматики*. Вып. 120. С. 29–37.
- [3] Тарасик, В. П. (2004). Математическое моделирование технических систем. Москва : ДизайнПРО, 2004. 640 с.
- [4] Тимченко, А. А. (2000). Основи системного проектування та аналізу складних об'єктів: У 2-х кн. Кн. 1. *Основи САПР та системного проектування складних об'єктів*. Київ : Либідь. 272 с.
- [5] Рогозов, Ю. И. (2011). Системный подход к созданию метода разработки информационных объектов на основе мета-моделей. *Информатизация и связь*. № 7. С. 57–62.
- [6] Leemans, S. J., Fahland, D., van der Aalst, W. M. (2013). Discovering block-structured process models from event logs-a constructive approach. *In International conference on applications and theory of Petri nets and concurrency*. Springer. P. 311–329.
- [7] Marco Rospocher, Chiara Ghidini, Luciano Serafini (2014). An ontology for the business-process modelling notation. *Formal Ontology in Information Systems*. Vol. 267. P. 133–146.
- [8] Pedram Bahramnejad, Seyyed Mehran Sharafi, Akbar Nabiollahi. (2015). A method for business process Reengineering based on enterprise ontology. *International Journal of Software Engineering & Applications*. Vol. 6, No. 1. P. 25–39.
- [9] Hussain Mansoor, Saleh Muhammad, Akbar Sajjad, Jan Zeb. (2014). Factors affecting readiness for business process re-engineering-developing and proposing a conceptual model. *European Journal of Business and Management*, Vol. 6, No.1. P. 55–60.