

Научная статья

DOI: 10.15593/2224-9397/2024.1.10

УДК 004.94

Л.Е. Мистров^{1,2}, О.В. Поляков¹¹Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского
и Ю.А. Гагарина, Воронеж, Российская Федерация²Центральный филиал Российского государственного
университета правосудия, Воронеж, Российская Федерация

МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ ТРЕБОВАНИЙ К НОМЕНКЛАТУРЕ УЧЕБНО-ТРЕНАЖНЫХ ЗАДАЧ ПРИМЕНЕНИЯ СЛОЖНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Одним из определяющих вопросов подготовки специалистов по эксплуатации сложных технических объектов является обоснование учебно-тренажных задач для выработки обучающимися управляющих решений, вытекающих из анализа построения и способов применения объектов в интересах обеспечения действий организационно-технических систем в различных формах операций. Учебно-тренажная задача представляет различной сложности учебно-проблемную ситуацию, которую обучающийся должен разрешить с использованием интеллектуальных тренажных систем. В настоящее время задача решается на основе логико-эвристических процедур формирования учебно-тренажных задач и разработки тренажеров только для конкретных типов сложных технических объектов, что приводит к неоправданному увеличению расходов на их разработку и риска принятия ошибочного решения. Эти обстоятельства актуализируют задачу разработки метода обоснования требований к номенклатуре учебно-тренажных задач интеллектуальных тренажных систем подготовки специалистов применительно к классу сложных технических объектов с возможностью их конкретизации для конкретного типа. **Цель:** разработать метод, обеспечивающий решение задачи обоснования требований к номенклатуре учебно-тренажных задач интеллектуальных тренажных систем подготовки специалистов по эксплуатации класса (типа) сложных технических объектов на множестве способов воздействия конкурентной среды. **Результаты:** метод обоснования требований к учебно-тренажным задачам основывается на нахождении оптимального значения критериальной функции – изоморфизма отношений между обликовыми характеристиками выполняемых задач сложным техническим объектом и интеллектуальной тренажной системой, определение которой осуществляется с помощью взаимосвязанной и взаимообусловленной системой процедур и операций, направленных на проведение структурно-функционального анализа способов применения сложных технических объектов при обеспечении действий организационно-технических систем на всех этапах плана операции; выделение на них внешне- и внутрисистемных функций управления, выполняемых лицами, принимающими решение на множестве функциональных задач с их последующей типизацией на основе операции пересечения полученных множеств – это обеспечивает формирование множества учебно-тренажных задач применительно к рассматриваемому классу сложных технических объектов, структуризацией которого для конкретного типа объекта обосновывается базовая номенклатура учебно-тренажных задач. Для разрешения учебно-тренажной задачи приводится аналитическая процедура обоснования требований к характеристикам ее облика. Метод разработан с использованием положений теорий системного анализа, анализа сложных систем, принятия решений, нечетких множеств, процедур распознавания и типизации. **Практическая значимость:** метод обеспечивает

разрешение проблемной задачи обоснования требований к номенклатуре учебно-тренажных задач, являющихся основой разработки программного обеспечения интеллектуальных тренажерных систем.

Ключевые слова: организационно-технические системы, номенклатура, учебно-тренировочная задача, организационно-техническая система, функция управления, внутрисистемный, внешнесистемный, анализ.

L.E. Mistrov^{1,2}, O.V. Polyakov¹

¹The Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky
and Yu.A. Gagarin, Voronezh, Russian Federation

²Central Branch of the Russian State Unitary Enterprise,
Voronezh, Russian Federation

METHOD OF SUBSTANTIATION OF REQUIREMENTS TO THE NOMENCLATURE OF TRAINING AND TRAINING TASKS FOR THE USE OF COMPLEX TECHNICAL OBJECTS

One of the defining issues in training specialists in the operation of complex technical objects is the substantiation of educational and training tasks for students to develop control decisions arising from the analysis of the construction and methods of using objects in the interests of ensuring the actions of organizational and technical systems in various forms of operations. An educational and training task represents a learning-problem situation of varying complexity, which the student must resolve using intelligent training systems. Currently, the problem is solved on the basis of logical and heuristic procedures for the formation of educational and training tasks and the development of simulators only for specific types of complex technical objects, which leads to an unjustified increase in the costs of their development and the risk of making an erroneous decision. These circumstances actualize the task of developing a method for justifying the requirements for the nomenclature of educational and training tasks of intelligent training systems for training specialists in relation to a class of complex technical objects with the possibility of specifying them for a specific type. Target. To develop a method that provides a solution to the problem of justifying the requirements for the nomenclature of educational and training tasks of intelligent training systems for training specialists in the operation of a class (type) of complex technical objects in a variety of ways of influence of the competitive environment. **Results:** the method of substantiating the requirements for educational and training tasks is based on finding the optimal value of the criterion function - the isomorphism of the relationship between the appearance characteristics of the tasks performed by a complex technical object and an intelligent training system, the determination of which is carried out using an interconnected and interdependent system of procedures and operations aimed at carrying out structurally -functional analysis of methods for using complex technical objects when ensuring the actions of organizational and technical systems at all stages of the operation plan; allocation to them of external and internal control functions performed by decision makers on a set of functional tasks with their subsequent typification based on the operation of intersection of the resulting sets - this ensures the formation of a variety of educational and training tasks in relation to the class of complex technical objects under consideration, the structuring of which for a specific object type, the basic nomenclature of educational and training tasks is justified. To solve the educational and training task, an analytical procedure is given to substantiate the requirements for the characteristics of its appearance. The method was developed using the theories of system analysis, analysis of complex systems, decision making, fuzzy sets, recognition and typification procedures. **Practical significance:** the method provides a solution to the problematic task of justifying the requirements for the nomenclature of educational and training tasks, which are the basis for the development of software for intelligent training systems.

Keywords: organizational and technical systems, nomenclature, educational and training task, organizational and technical system, management function, intra-system, external-system, analysis.

Введение

В настоящее время во многих организациях, представляющих по совокупности системоопределяющих признаков организационно-технические системы (ОТС), находятся и поступают в эксплуатацию сложные технические объекты (СТО), технические описания которых, как правило, отсутствуют (составляют коммерческую тайну организаций-изготовителей) или находятся в недостаточной форме для эксплуатации и ремонта. Обеспечение их грамотной эксплуатации предполагает подготовку специалистов, основывающуюся на выполнении различной сложности учебных задач (УЗ).

УЗ представляет собой проблемную ситуацию, характеризующуюся: а) наличием в структуре каждой задачи нескольких учебных целей, определяемых функционально-структурными свойствами рассматриваемых вопросов (задач); б) разнородностью решаемых задач с недостаточным уровнем формализации функциональных отношений между ними; в) инвариантностью использования программных средств при последовательном / параллельном управлении решением задач [1, 2]. Совокупность УЗ вытекает из анализа методов построения и способов применения СТО в различных формах операций как целенаправленной совокупности действий по повышению эффективности обеспечиваемых ими ОТС на множестве способов взаимодействия с конкурентной средой, носящей, как правило, деструктивный характер. Их учет и практическое разрешение обуславливают необходимость систематизации и структуризации каждой УЗ на множество более мелких задач, решаемых с использованием как традиционных форм обучения (лекционные, семинарские и групповые занятия), так и перспективных, на основе информационных интеллектуально-тренажных систем (ИТС) для принятия решений обучающимися по способам применения СТО применительно к определенному множеству условий конфликтного взаимодействия с элементами и системами управления конкурирующих ОТС [3–10]. ИТС используется для решения учебно-тренировочных (тренажных) слабоструктурированных и неформализуемых задач (УТЗ), разрешаемых методами системного анализа, эффективности и аналитико-имитационного моделирования с учетом возможностей аппаратно-программных средств [3, 11, 12, 14, 15].

Обзор научной литературы по методам решения данной проблемы, вследствие уникальности типов СТО для обеспечения применения специализированных ОТС, показывает, что они, к сожалению, отсутствуют (по крайней мере, авторам неизвестны) или приводятся в такой обобщенной форме, которая не позволяет их практически использовать. Как правило, обоснование УЗ основывается на логико-эвристических методах анализа, отражается только с качественной стороны и направлено в основном на выделение для решения только приоритетных задач, что приводит к выбору частных (не всегда приоритетных) и иногда ошибочных УЗ. Для решения этой проблемы в [3, 16] рассмотрен метод обоснования УЗ, в основу которых положены структуризация и формализация способов применения СТО для обеспечения применения ОТС в различных формах операций.

Основу подготовки специалистов по эксплуатации (применению) СТО составляют различной структурной сложности ИТС, применение которых для решения УТЗ базируется на анализе множества способов (в виде объединенного целью взаимосвязанного количества решаемых задач) и приемов управления СТО, обосновании и выборе оптимальных для обеспечения действий ОТС. Целью применения ИТС является подготовка специалистов, как лиц принимающих решение (ЛПР), процессам анализа и принятия решений применительно к классу (нескольким типам) СТО, УТЗ, применения которых незначительно отличаются [3]. Неопределенность типа и количества решаемых задач ОТС в различных формах операций обуславливает необходимость рассмотрения УТЗ эксплуатации СТО применительно к обобщенному плану его применения [17]. При этом определение УТЗ изначально осуществляется для определенного класса СТО с последующей их детализацией для конкретного типа, обеспечиваемого в ИТС соответствующим программным обеспечением. Основу данного подхода составляет деферризация полного множества УТЗ эксплуатации СТО по этапам применения ОТС в операции с их последующим покрытием определенной номенклатурой (типом, составом) УТЗ для моделирования конкретных типов СТО. Это обуславливает актуальность данной проблемы, для решения которой требуется разработка метода обоснования требований к номенклатуре УТЗ для подготовки специалистов по применению СТО. Это определило цель и содержание статьи.

1. Общие положения

Основу построения ИТС составляет задача анализа структуры, характеристик и порядка (алгоритмов) функционирования СТО, который в зависимости от важности, частности и уровня решаемых задач ОТС проектируется для полного покрытия определенного множества решаемых ею задач на множестве условий конфликтного взаимодействия с конкурирующей ОТС. Структура СТО определяется взаимообусловленной совокупностью подсистем управления, информационного обеспечения и исполнения, а также множеством информационных, энергетических, управляющих, исполнительных, казуальных, пространственных, временных и других взаимосвязей между ними. Связи в структуре СТО являются функцией передаваемой / принимаемой информации, объем и показатели качества которой зависят от уровня элементов в структуре ОТС и характера решаемых ими задач. Показатели и взаимосвязи структуры СТО определяются статическими (до применения) и динамическими (в процессе управления) характеристиками и режимами управления [4]. Как правило, СТО функционирует в централизованном режиме управления, для которого характерны иерархическая многоуровневая структура и динамическое управление ограниченным ресурсом подчиненных элементов – объектов управления (ОУ). Данные обстоятельства обусловили проблему построения ИТС осуществлять с анализа цели (функционального критерия эффективности) применения СТО. В цепочке «цель (задача) – СТО – результат» цель представляет некоторый оператор системной упорядоченности действий СТО, образуя способ его применения. В соответствии с [1, 3, 17], объединенная единством цели совокупность действий для реализации способов применения СТО составляет конструктивную основу для выделения функций управления (ФУ), определения их вида, содержания и упорядоченности в виде некоторой функциональной структуры, системы решений для выполнения той или иной задачи. Каждая ФУ характеризуется целью, критерием эффективности, ресурсом, объектами и характеристиками того или иного вида воздействия и способами его реализации для достижения предполагаемого эффекта к определенным условиям конфликтного взаимодействия конкурирующих ОТС. ФУ, исходя из анализа способов применения СТО, идентифицируются на внешне- и внутрисистемные функции [3, 4] и наполняются при реализации конкретным содержанием. При этом содержание внешне- и внутрисистемных ФУ характеризует цель,

структуру и содержание проблемной ситуации, разрешаемой одной или несколькими УТЗ, подлежащих структуризации для наполнения конкретным содержанием и установления взаимосвязей. ФУ являются той конструктивной основой, на которой ЛПР (обучающиеся) получают практические навыки принятия решений по управлению применением СТО. При этом внешнесистемные ФУ направлены на приобретение ЛПР навыков по обоснованию и принятию решений по способам применения СТО для заданных условий взаимодействия конкурирующих ОТС, а внутренние – на разработку элементов плана управления СТО (реализации внешнесистемных функций). Основу обоснования задач применения СТО для обеспечения действий ОТС составляет установление причинно-следственных отношений между внешне- и внутрисистемными ФУ, определяющих функциональный процесс его применения для решения поставленных задач в операции для заранее определенной внутренней структуры. Это позволяет в структурно-функциональном отношении в основу критерия обоснованности решаемых задач ИТС определить изоморфизм отношений между Ω_i множеством решаемых задач СТО на множестве способов деструктивного воздействия конкурирующей ОТС и Ω_j множеством выполняемых ИТС УТЗ для определения степени обеспеченности решаемых задач СТО (обобщенное схематичное представление множества Ω_i приведено на рис. 1).

В общем случае обоснование УТЗ на множестве способов (решаемых задач) применения СТО базируется на установлении функциональной зависимости внешнесистемных ФУ от характеристик внутрисистемных ФУ в предположении последовательной и взаимно упорядоченной реализации во времени внешнесистемных ФУ.

Внутрисистемные ФУ, как ранее уже отмечалось, характеризуют внутреннее строение (структуру) и действия ЛПР по управлению СТО для обеспечения реализации его целевой функции (плана применения). Их формализованное представление можно представить семантической моделью в виде $\bar{S}_i = \langle \Omega_i, P(\Omega_i) \rangle$ (аналогично для ИТС $\bar{S}_j = \langle \Omega_j, P(\Omega_j) \rangle$), в которой между элементами множества Ω_i (Ω_j для ИТС) устанавливаются отношения с помощью предиката целостности $P(\Omega_i)$ (для СТО $P(\Omega_j)$), характеризующие внутреннее содержание множества.

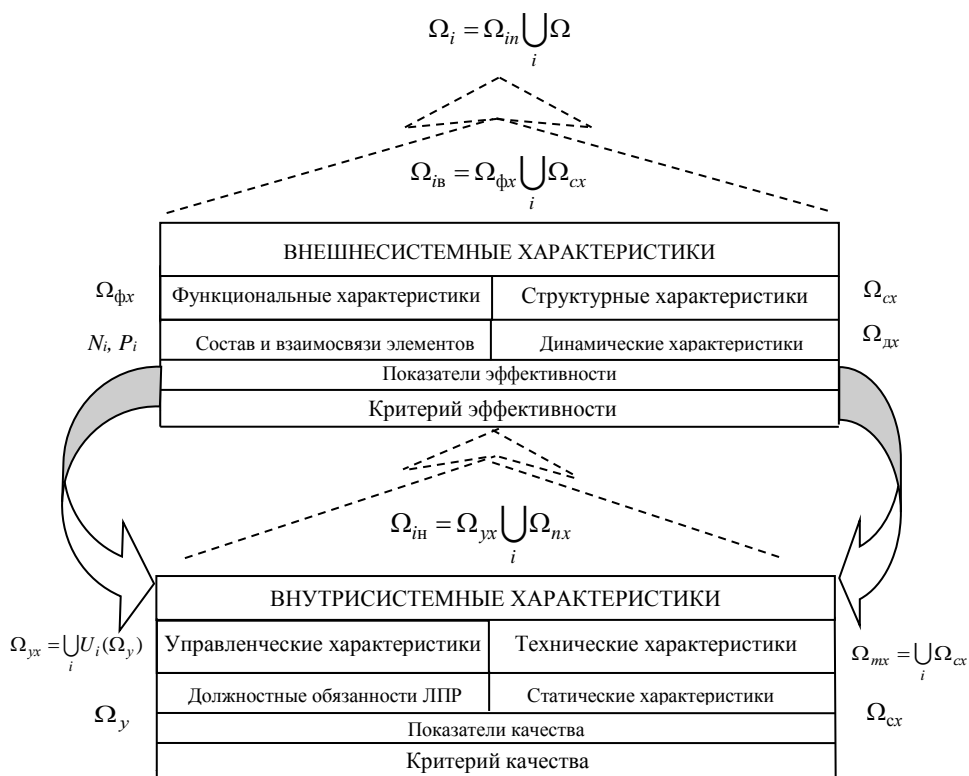


Рис. 1. Схематичное представление множества Ω_i

Внешнесистемные ФУ направлены на реализацию способов применения СТО и в формализованном виде представляются семантической моделью [11]:

$$S_i = \langle x, y, z, S_g, \bar{S}_i \rangle, \tag{1}$$

где $x = x(t)$ – вектор входного воздействия внешней конкурентной среды на СТО, представляемый в виде функций $x = \langle x_1(t), \dots, x_x(t) \rangle$; $y = y(t)$ – вектор выходной реакции СТО при реализации внешнесистемных ФУ на $x = x(t)$, представляемый в виде функций $y = \langle y_1(t), \dots, y_y(t) \rangle$; $z = z(t)$ – вектор состояния СТО (является результатом применения внешнесистемных ФУ), представляемый в виде функций $z = \langle z_1(t), \dots, z_z(t) \rangle$, информация о которых в заданный момент времени позволяет определить значение выходных характеристик модели S_i ; S_g и \bar{S}_i – функционалы, определяющие значения результатов приме-

нения $y(t)$ и внутреннее состояние $z(t)$ СТО как функции входных воздействий в виде:

$$y(t) = S_g(z(t), x(t)); \quad (2)$$

$$z(t) = \bar{S}_i(z(t_0), x(\tau)); \quad \tau \in [t_0, t]. \quad (3)$$

Введение функционалов S_g и \bar{S}_i обеспечивает формальное представление внешнесистемных ФУ применением СТО (в виде уравнений наблюдения и состояния), находящее в структурно-функциональном отношении отражение в виде УТЗ – основы применения ИТС.

Такое модельно-формальное представление функциональной структуры S_i и S_j в виде элементов и взаимосвязей между ними, вытекающих из внешне- и внутрисистемного анализа ФУ применением СТО, позволяет осуществить полное описание его характеристик $x = \langle x_1(t), \dots, x_x(t) \rangle$, $y = \langle y_1(t), \dots, y_y(t) \rangle$, $z = \langle z_1(t), \dots, z_z(t) \rangle$ и обеспечивает представление критериальной функции обоснования УТЗ в виде изоморфного отображения:

$$f : S_i(x(t), y(t), z(t)) \Leftrightarrow (f(x(t), y(t), z(t))) \in S_j. \quad (4)$$

Данное представление критерия обоснованности УТЗ обеспечивает в структурно-функциональном отношении установление однозначного соответствия между ФУ применением СТО и соответствующим им УТЗ в виде вектора:

$$S_j = \langle \Omega_i, \Omega_j, P(\Omega_i, \Omega_j) \rangle, \quad (5)$$

в котором $P(\Omega_i, \Omega_j)$ характеризует СТО, УТЗ, семантику моделей Ω_i , Ω_j и семантику преобразования $f : \Omega_i \rightarrow \Omega_j$ при условии, что для СТО определено пространство состояний, в которых он может находиться при реализации способов применения в некотором параметрическом пространстве T , применительно к которому рассматривается его применение в операции; $\{i\} (\{j\})$ – множество i -х, $i = \overline{1, \dots, N_i}$ элементов СТО (j -х, $j = \overline{1, \dots, N_j}$ УТЗ); P_1, P_2, \dots, P_{N_i} (P_1, P_2, \dots, P_{N_j}) – предикаты, отображающие множество связей между i -ми элементами СТО (j -ми УТЗ), представляющими логическую i (j)-ю пропозициональную функцию, определенную для ОТС (ИТС) и принимающую значение истинности /

ложности. При этом если $P(\Omega_i, \Omega_j) = 1$, то преобразование $f : \Omega_i \rightarrow \Omega_j$ устанавливает взаимно однозначное соответствие между элементами моделей Ω_i и Ω_j ; в противном случае – $P(\Omega_i, \Omega_j) = 0$.

2. Постановка задачи

В основу выделения УТЗ положен метод [3, 14, 18], основанный на структурно-функциональном анализе внешнесистемных и внутрисистемных ФУ процессом применения ОУ на иерархических уровнях СТО и установления полного их перекрытия множеством УТЗ для принятия решений ЛПР. Постановка задачи обоснования количества и содержания N_j -х, УТЗ применения СТО в операции представляется в виде:

– *требуется*, исходя из структурно-функционального отношения $f_{\phi c} : \Omega_i \rightarrow N_j \in \Omega_j$ обосновать N_j^* -е количество УТЗ применения СТО в операции в предположении заданных:

– количестве N_i -х задач, решаемых СТО на основе реализации внешне- и внутрисистемных ФУ;

– структурно-функциональных взаимосвязей P_i между задачами, выполняемыми СТО в операции;

– множестве Ω_{cx} -х внутрисистемных статических и Ω_{dx} -х динамических характеристик СТО;

– множестве Ω_y -х должностных обязанностей (инструкций) ЛПР по управлению СТО;

– множестве Ω_{is} внешнесистемных свойств СТО на множестве $\Omega_{is} = \Omega_{\phi x} \bigcup_i \Omega_{cx}$ его функциональных и структурных характеристик;

– множестве Ω_{in} внутрисистемных свойств СТО на множестве $\Omega_{in} = \Omega_{yx} \bigcup_i \Omega_{mx}$ динамических характеристик решений ЛПР при реализации потенциальных тактико-технических характеристик;

– множестве \tilde{S}_i способов применения СТО в операции и *выбрать* N_j^* -е оптимальное количество УТЗ, обеспечивающих перекрытие задач, выполняемых СТО в операции в виде:

$$N_j^* = \text{Arg } f_{\phi c} (N_i, S_g(N_i, P_i), \bar{S}_i, \Omega_{is}, \Omega_{in}, \tilde{S}_i, V_j); \quad (6)$$

$$V_j = \langle \{N_j\}, P_1, P_2, \dots, P_{N_j} \rangle, \quad (7)$$

где P_1, P_2, \dots, P_{N_j} – предикаты целостности, отображающие взаимные отношения между УТЗ, определенные на множестве Ω_j ; $V_j(\cdot)$ – множество УТЗ, определяющих содержание областей P_1, P_2, \dots, P_{N_j} , отображающих размер множества (или модель) Ω_j , выбор которых определяется условием $f_{fc} : \Omega_i \rightarrow \Omega_j$; $P(\Omega_i, \Omega_j) = 1$, если преобразование $\Omega_i \rightarrow \Omega_j$; в противном случае – $P(\Omega_i, \Omega_j) = 0$.

Такое представление постановки задачи обоснования количества и содержания УТЗ функционирования СТО обеспечивает процесс выработки управляющих решений ЛППР по способам разрешения проблемной ситуации, обобщенный алгоритм которой приведен на рис. 2 [4, 9, 20–23].

3. Внешне- и внутрисистемный анализ решения УТЗ

Содержание j -й УТЗ, вытекающее из анализа плана применения СТО, базируется на выделении Ω_{ie} внешнесистемных ФУ в виде относительно обособленных устойчиво повторяющихся мероприятий (работ, процедур, операций) для достижения ОТС цели в операции [17]. Содержание ФУ определяется Ω_{fx} функциональными и Ω_{cx} структурными характеристиками СТО и основывается на определении Ω_y способов и приемов управленческой деятельности ЛППР, обеспечивающих его перевод из текущего состояния в требуемое для удовлетворения функционального критерия эффективности применения. Динамическими показателями эффективности ФУ являются Ω_{ox} показатели, по количественному значению которых ЛППР при реализации Ω_y управленческих мероприятий принимаются решения о степени достижения СТО целей поставленных задач.

Каждый уровень управления СТО характеризуется своей системой частных показателей эффективности, а критерием эффективности управления им является интегральная эффективность выполнения ОТС задач в операции.

Основу управления СТО составляет реализация поставленных с уровня ОТС i -х задач, базирующихся на согласовании между собой всех ФУ, распределении их по времени, месту и ОУ. Процесс разработки вариантов применения СТО фиксируется в плане, обеспечивающем координацию основных ФУ в операции.

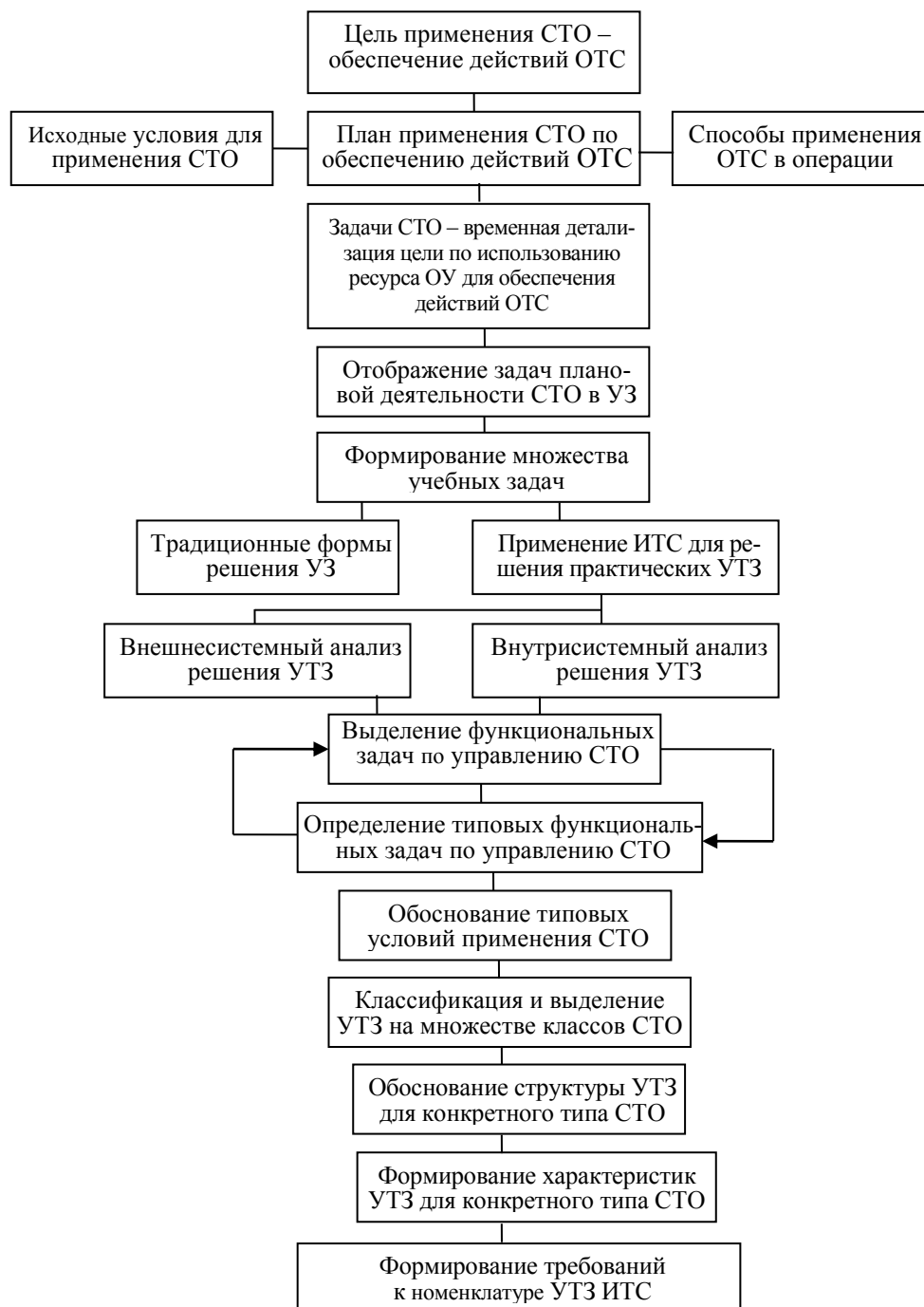


Рис. 2. Обобщенный алгоритм обоснований требований к номенклатуре УТЗ

Функции управления представляют относительно обособленные функции направленного действия, обеспечивающие выработку и реализацию управляющего воздействия органа управления СТО на подчиненные ОУ; они делятся на основные и частные. Применительно к системе управления СТО выделяют основные и частные ФУ, проявляющиеся при реализации способов его применения [1, 3, 17].

Основные ФУ – содержание составляют вопросы, задачи и мероприятия, направленные на поддержание требуемого уровня эффективности применения СТО.

Частные ФУ – представляют результат структуризации направлений управления СТО в зависимости от сложности способов применения и условий применения ОУ.

К основным ФУ относятся функции, которые реализуются системой управления СТО на всех уровнях (инвариантны частным функциям, например, управление СТО, обеспечивающее весь цикл управления его применения, должно быть спланировано, организовано, проконтролировано и скорректировано; обеспечивают управляемость подчиненных органов и объектов управления). В качестве основных ФУ СТО выделяют функции планирования, организации, контроля и корректировки (оперативное управление) [3, 17].

Все основные и частные ФУ реализуются соответствующими должностными ЛПР, исходя из $\Omega_{\text{фх}}$ функциональных и $\Omega_{\text{сх}}$ структурных свойств на основе определенной управленческой деятельности в виде Ω_y множества устойчиво повторяющихся взаимосвязанных мероприятий для обеспечения управляемости ОУ и СТО в целом. Каждая функция направлена на реализацию мероприятий, необходимых для выполнения каждой основной ФУ. Выполнение каждой основной ФУ осуществляется определенным количеством конкретных, только для этой функции, управленческих мероприятий ЛПР.

Основу основных ФУ составляет обобщенная функция анализа, обеспечивающая реализацию процессов оценки результатов учета, контроля и фактического состояния СТО или объема управленческих мероприятий на всех стадиях выполнения плана и процесса обоснования способов применения для решения поставленных задач, а также установление отклонений от запланированных параметров его применения. Она предшествует принятию решений, направленных на поддержание эффективности функционирования ОУ на запланированном уровне.

Внутрисистемные же ФУ обеспечивают непосредственную реализацию процесса управления применением СТО на основе сохранения его организационной структуры, реализации потенциальных возможностей на определенном множестве Ω_{mx} тактико-технических характеристик, поддержания режима устойчивого функционирования и создания необходимых условий для достижения цели ОТС в операции (реализации внешнесистемной функции управления). Содержанием внутрисистемной ФУ (как и внешнесистемной ФУ) являются частные функции: планирование, организация, контроль и корректировка, реализация которых осуществляется ЛПР на основе установленных Ω_y должностных обязанностей.

Сущность работы ЛПР заключается в выполнении комплекса мероприятий, посредством которых реализуются основные ФУ для выполнения плана применения СТО. Задачи ЛПР органа управления СТО охватывают весь перечень вопросов обеспечения эффективного решения задач подчиненными ОУ в соответствии с их планами применения.

ЛПР органов управления СТО по результатам анализа и уточнения представленных органами управления ОУ предложений (вариантов) плана принимается Ω_{yx} управленческое решение на осуществление планируемого способа применения и выбора оптимального, исходя из Ω_{cx} . Решение является результирующим выводом, подводящим итог определенному этапу деятельности ЛПР, позволяющим из множества вариантов выполнения задачи выбрать оптимальный. Принятое решение ЛПР с уровня СТО доводится в виде распоряжений подчиненным должностным ЛПР для разработки планов применения ОУ. Состав, содержание и взаимосвязи ФУ приведены на рис. 3.

Проведенный анализ: а) внешнесистемные ФУ обеспечивает структуризацию процесса управления СТО для обеспечения смены качественных состояний функционирования его ОУ применительно к множеству деструктивных действий конкурирующей ОТС, происходящих в результате последовательной реализации основных ФУ. Он раскрывает внешнесистемные функции плана, динамику принятия управленческих решений ЛПР по обоснованию предпочтительных способов применения СТО и позволяет сформировать УТЗ применения его ОУ применительно к способам взаимодействия конкурирующих ОТС

в операции; б) внутрисистемные ФУ применения СТО обеспечивают раскрытие содержание мероприятий для выполнения внешнесистемных ФУ и дальнейшую структуризацию сформированного множества УТЗ для решения задач обеспечения действий ОТС на множестве условий воздействия конкурентной среды.

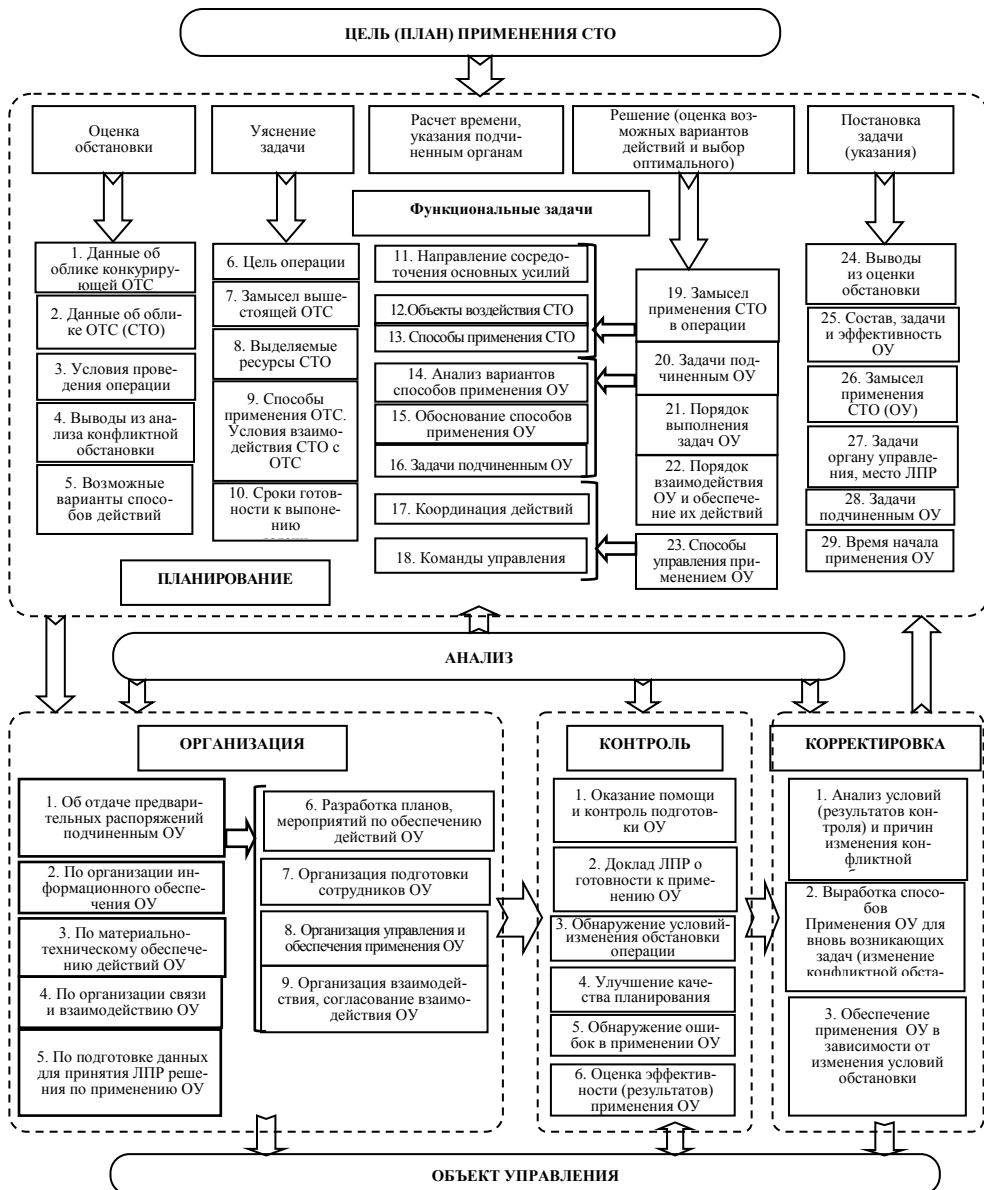


Рис. 3. Состав и взаимосвязи функций управления СТО

4. Методические основы обоснования структуры УТЗ

Структура УТЗ представляется в виде совокупности данных о процессе применения СТО для обеспечения действий ОТС в операции, позволяющем ее выделить на множестве анализируемых данных и увязать в структуре ИТС с другими УТЗ.

Ее выделение основывается на результатах классификации путем отнесения к множеству УТЗ с анализируемыми свойствами и осуществления последующей идентификации – поэкземплярного распознавания.

Множества внешне- и внутрисистемных признаков и классифицированных УТЗ составляют информационную основу их идентификации в структуре ИТС. Выделение в структуре ИТС существенных различий между классами УТЗ, выражающихся через различия в признаках, позволяет осуществить их гомоморфное представление в соответствующих шкалах измерений, для объединения в классы. Основу моделирования в ИТС способов применения СТО составляет задача анализа внешне- и внутрисистемных ФУ по этапам операции ОТС, основанная на использовании логико-эвристических методов формирования ФУ и их идентификации для выделения общих.

Для этого в соответствии с третьим принципом проводится конкретизация плана применения СТО и выделение на структурированной совокупности функциональных задач (ФЗ) конечного множества $\Phi = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_i, \dots, \varphi_l\}$ ФУ, выполняемых на стадиях плана [3, 17]: Φ^n планирование, Φ^m организация, Φ^a контроль и Φ^b корректировка. Для каждой ФЗ множества Φ определяются способы их реализации объектами управления СТО, что позволяет осуществить идентификацию i -х ФЗ на основе присвоения каждой из них s -го признака способа решения j -й УТЗ. При этом каждое из входящих в Φ множеств Φ^s , в зависимости от значения идентификатора s -го способа ее решения j -й УТЗ, относится к одному из подмножеств $\Phi^n \subset \Phi$, $\Phi^m \subset \Phi$, $\Phi^a \subset \Phi$, $\Phi^b \subset \Phi$, а $\Phi = \Phi^n \cup \Phi^m \cup \Phi^a \cup \Phi^b$.

Множество всех ФЗ, подлежащих последовательному / параллельному выполнению СТО в операции, представляется в виде:

$$\Phi = \{\Phi_i = \langle i, s_i \rangle \mid \Phi_i \in \Phi, i = \overline{1, I}\}, \quad (8)$$

где i – идентификатор (условный номер, наименование и т.п.) i -й ФЗ; S_i – идентификатор решения i -й ФЗ при выполнении j -й УТЗ.

Это позволяет определить (уточнить) возлагаемые на каждый объект управления СТО перечень Φ функций в интересах снижения качества функционирования объектов воздействия (ОВ) конкурирующей ОТС и осуществить их дальнейшую структуризацию, исходя из последовательного выполнения в соответствии с рис. 2 соответствующих совокупностей ФЗ в виде:

$$\begin{aligned} \Phi^n &= f_1^n \cup f_2^n \cup \dots \cup f_n^n, \quad n = 1, \dots, 29; \\ \Phi^m &= f_1^m \cup f_2^m \cup \dots \cup f_m^m, \quad m = 1, \dots, 9; \\ \Phi^a &= f_1^a \cup f_2^a \cup \dots \cup f_a^a, \quad a = 1, \dots, 6; \\ \Phi^b &= f_1^b \cup f_2^b \cup \dots \cup f_b^b, \quad b = 1, \dots, 3, \end{aligned} \quad (9)$$

в которых f_i – функция, получаемая в результате декомпозиции φ_i -й ФЗ.

Уровень декомпозиции $l, l = 1, 2, 3, \dots, L$, отражает степень структуризации ФЗ φ_i функции для реализации соответствующим ОУ. Число L уровней декомпозиции функций определяется из условия выполнения Φ внутрисистемных функций ОУ. В результате декомпозиции формируется множество $F = \{F_l^i\}$ ФУ процессом решения ОУ каждой φ_i ФЗ.

Для всех $f_l^i \in F$ ФУ на основе концептуального представления СТО и принципа системного покрытия ОУ каждой ФЗ проводится их идентификация присвоением признака. Каждая идентифицируемая $F^{(\rho)} = (f_l^n, f_l^m, f_l^a, f_l^b, f_l^{nm}, f_l^{na}, f_l^{nb}, \dots)$ ФУ далее включается в соответствующее подмножество функций с признаками реализуемости ρ , содержащими символы n, m, a и b в виде:

$$\begin{aligned} A &= \cup_n (f_l^n, f_l^{nm}, f_l^{na}, f_l^{nb}); \\ B &= \cup_m (f_l^m, f_l^{mn}, f_l^{ma}, f_l^{mb}); \\ C &= \cup_a (f_l^a, f_l^{an}, f_l^{am}, f_l^{ab}); \\ D &= \cup_b (f_l^b, f_l^{bn}, f_l^{bm}, f_l^{ba}). \end{aligned} \quad (10)$$

Следует отметить, что все ФУ применением СТО, предназначенные для управления ОУ при решении той или иной i -й ФЗ, входят во все подмножеств A - D , а при идентификации функций, предназначенных для решения Φ_{ij} ФЗ, им присваиваются признаки ρ реализуемости в составе подмножеств A - D . Схематичное представление общих ФЗ при реализации основных ФУ применением СТО приведено на рис. 4.

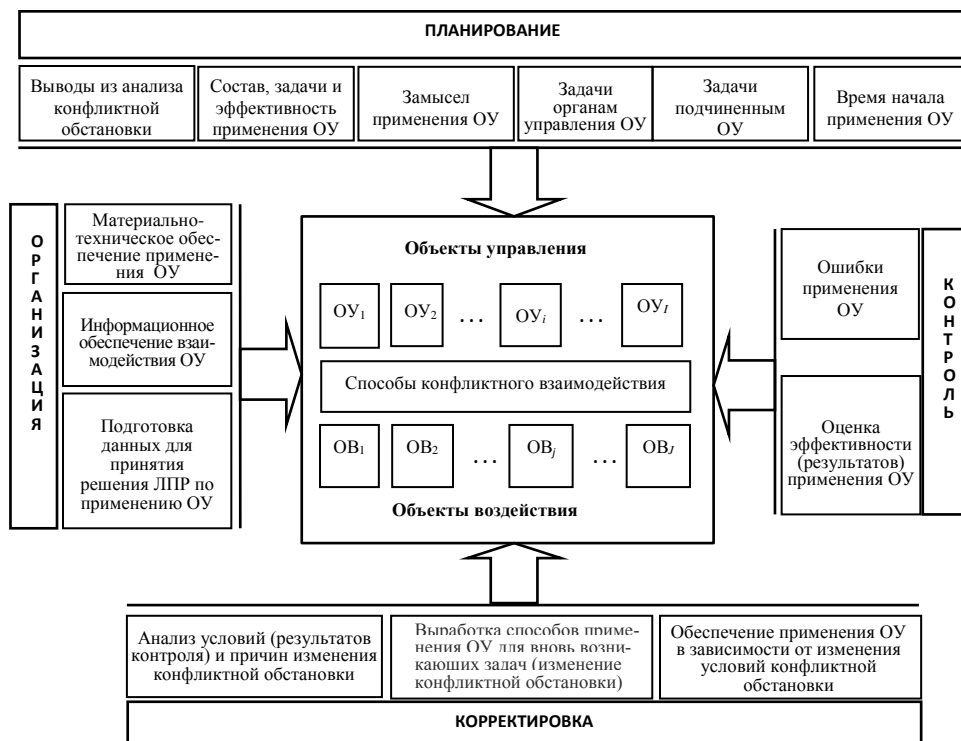


Рис. 4. Схематичное представление обобщенных задач основных ФУ применением СТО

Наличие у идентификатора ρ нескольких символов порождает пересечение подмножеств $A \subset F$, $B \subset F$, $C \subset F$ и $D \subset F$, множество которых имеет вид:

$$\begin{aligned}
 R_1 &= [F_n^n]; R_2 = [F_m^m]; R_3 = [F_a^a]; R_4 = [F_b^b]; \\
 R_5 &= [F_n^n \cap F_m^m]; R_6 = [F_a^a \cap F_b^b]; R_7 = [F_m^m \cap F_b^b]; \\
 R_8 &= [F_n^n \cap F_m^m \cap F_a^a]; R_9 = [F_n^n \cap F_a^a \cap F_b^b]; \\
 R_{10} &= [F_n^n \cap F_m^m \cap F_b^b]; R_{11} = [F_m^m \cap F_a^a \cap F_b^b]; \\
 R_{12} &= [F_n^n \cap F_m^m \cap F_a^a \cap F_b^b]; R_{13} = [F_n^n \cap F_a^a].
 \end{aligned}
 \tag{11}$$

Для наглядности представления множество возможных ФУ применением СТО применительно к обобщенному варианту R_{13} пересечений подмножеств A , B , C и D приведено на рис. 5 в виде диаграммы Эйлера–Венна, на которой рассматриваемые множества отображены окружностями и на плоскости представляются множеством точек.

Остальные варианты R_1 - R_{12} пересечений подмножеств A , B , C и D являются его частными случаями.

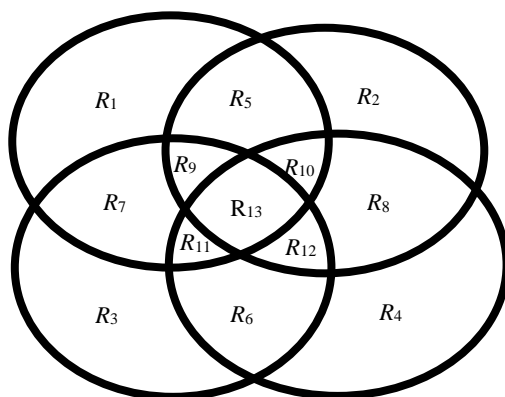


Рис. 5. Диаграмма Эйлера–Венна подмножеств A , B , C и D

На основе варианта R_{13} формируется подмножество $W = \{W_i \mid W_i \in W, i = 1, \dots, |W|\}$ вариантов распределения f_i частных ФУ применением СТО, определяющих возможное подмножество Φ^n, Φ^m, Φ^a и Φ^b функций для их реализации соответствующими ОУ на основе комбинации всех возможных вариантов.

Обоснование структуры УТЗ производится на основе последовательной детализации ФУ применением СТО до уровня конфликта взаимодействующих ОУ с соответствующими элементами (ОВ) конкурирующей ОТС, которые по совокупности своих свойств удовлетворяют условиям конфликтного взаимодействия ОТС с сохранением внешне-системных отношений по управлению (подчиненности), информационному обеспечению и исполнению.

Как уже отмечалось, каждая j -й $j \in Z_j$ УТЗ используется для разрешения проблемной ситуации, характеризуемой взаимозависимой совокупностью параметров состояния соответствующих элементов (определяются типом, характеристиками и алгоритмами функционирования) конкурирующей ОТС (Q_j), элементов ОТС (G_j), способами их взаимодействия (C_j) и условиями конфликтной обстановки (Y_j), зафиксированными на рассматриваемый момент времени [1, 4]. Выделение ее структуры базируется на систематизации, формализации и идентификации свойств элементов конкурирующих ОТС на уровне проблемной си-

туации, определяющей их взаимосвязи и зависимости как функций статических тактико-технических характеристик.

В общем виде задача по определению j^* -х УТЗ на множестве типов СТО формулируется следующим образом: требуется из Θ множества Z_i возможных задач (решений) найти

$$j^* \in Z_j, \quad j = \overline{1, \Theta}; \quad (12)$$

$$j^* = (q_j)^* \wedge (g_j)^* \wedge (y_j)^* \wedge (c_j)^* ;$$

$$(q_j)^* \in Q_j; \quad (g_j)^* \in G_j; \quad (y_j)^* \in Y_j; \quad (c_j)^* \in C_j$$

такое, для которого отображение из $\{j^*\} \rightarrow Z_j$ однозначно идентифицирует разбиение множества Z_j на k -е классы эквивалентных УТЗ, в каждый из которых входят j^* типовые с позиции СТО.

Процесс выделения j -й УТЗ определяется количеством и содержанием рассматриваемых признаков. Структура каждой УТЗ характеризуется совокупностью различного типа и физической сущности признаков и методами приведения данных признаков к оптимальному виду для вычислительной обработки.

Построение классов эквивалентных УТЗ Z_1, Z_2, \dots, Z_k осуществляется посредством вводимых элементарных признаков (j -я УТЗ входит в один из этих классов Z_j , если она обладает элементарными признаками, характеризующими этот класс). Задачи множества Z – возможные УТЗ, которые не входят ни в один из классов Z_1, Z_2, \dots, Z_k , например, отсутствуют ОУ для их решения, определяется через Z_{k+1} . Классы Z_1, Z_2, \dots, Z_k строятся посредством фиксированных аксиоматических правил; последний класс Z_{k+1} однозначно определяется заданием классов Z_1, Z_2, \dots, Z_k .

Каждая $j^* \approx Z_k$ УТЗ характеризуется множеством признаков Ω , $\omega_j \in \Omega$ различной физической природы и содержания, перечень которых вытекает из анализа характеристик ОУ СТО и элементов конкурирующей ОТС. Под признаком понимается характеристика, способная обеспечить нахождение таких классов УТЗ, которые позволяют

исключить неоднозначные решения по нахождению Z_1, Z_2, \dots, Z_k , $Z_i \cap Z_j = \emptyset, i \neq j$ и $\bigcup_j Z_j = Z$. Размерность пространства признаков увеличивается до тех пор, пока любые два класса УТЗ не будут линейно разделены. Когда уже определены классы $Z_1, Z_2, \dots, Z_k, Z_{k+1}$, выделение УТЗ осуществляется с использованием, например, метода линейного «развала на кучи» [18].

Определение же элементарных признаков (вектора) $Q_j(G_j, C_j)$ производится факторизацией пространства характеристик элементов конкурирующей ОТС, вытекающих из анализа выполняемых ими функций и возможностей элементов СТО по воздействию на них. Вектор $Q_j(\dots)$ характеризуется $i = 1, \dots, K$ – множеством показателей качества каждого элемента конкурирующей ОТС, $x = x_i, \dots, K$ – множеством порядковых шкал показателей качества (абсолютных шкал для количественных значений характеристик элементов) и $i = 1, \dots, K$ – числом градаций по шкале i -го показателя качества.

Предполагается, что имеющиеся значения на шкале каждого показателя качества перенумерованы в порядке убывания их качества (лучшей градации по i -му показателю качества соответствует его наибольшее значение, а худшей – ω_i). Тогда $x_i = (\max, \dots, \omega_i)$.

С учетом этого вектор Q_j в общем виде представляется зависимостью:

$$Q_j = q_{j1} \wedge q_{j2} \wedge \dots \wedge q_{ji} \wedge \dots \wedge q_{jK};$$

$$q_{ji} \in Q_{ji}, \quad q_j = (q_{j1}, \dots, q_{jK}); \quad L = |Q_{ji}| = \prod_{i=1}^K \omega_i; \quad i = \overline{1, K}, \quad (13)$$

где K и q_{ji} – соответственно множество и идентификаторы показателей качества конкурирующей ОТС; Q_{ji} – градация по шкале i -го показателя качества, приписанная векторной оценке q_{jio} ; L – мощность множества Q_{ji} .

Определение числовых значений q_{ji} – элементарных признаков i -х показателей (по X_i их порядковых шкал) вектора Q_j осуществля-

ется на основе антирефлексивного и транзитивного отношений строгого доминирования P^0 , определяемого на Q_j порядковостью шкал показателей качества с учетом частности (f_{ji}) появления оценок, по формуле:

$$P^0 = \{(q_{ji}, q_{j+1,i}) \in Q_j \times Q_j / \forall j = 1, \dots, \Theta', q_{ji} \leq q_{j+1,i} / f_{ji} \leq f_{j+1,i}\}, \quad (14)$$

когда

$$\exists P q_{jp} < q_{jp+1} / f_{jp} < f_{jp+1}; q_j \in Q_j; \Theta' \in \Theta; f_{ji} = q_{ji} / \sum_{i=1}^{\Theta'} q_{ji},$$

где Θ' – число вариантов решений.

В соответствии с этим выбор предпочтительного решения на Q_j представляется в виде поиска решения на $f: Q_j \rightarrow \{q_{ji}, j = 1, \dots, \Theta'\}$, $\bigcup_{j=1}^{\Theta'} q_{ji} = Q_j$ такого, что если $\exists (\forall i = 1, \dots, \Theta') q_{ji} / f_{ji} \in P^0$ и $q_{ji} / f_{ji} \in Q_j$, то $q_{li} \in Q_{ki}; k > l, \Theta' \in \Theta$. Отсюда следует, что никакая оценка из Q_j не может быть отнесена к менее предпочтительному решению на выбор элементарных признаков, чем та, над которыми она доминирует.

Если $\{q_{ji} : Q_{ji}\} \Rightarrow q_{ji} = q_{ji}^*$, то с учетом этого значение наиболее предпочтительной оценки вектора Q_j может быть определено как

$$(q_j)^* = \bigcup_{i=1}^K (q_{ji})^*.$$

Поступая аналогичным образом, определяются векторы $G_j(\dots)$ и $C_j(\dots)$ с использованием соответствующего множества показателей качества путем установления отношений $aRb \Leftrightarrow (a, b) \in R, R \subset a \times b$ на множестве Z_j . Совокупность задач, для которых выполнено данное условие, обеспечивает формирование возможного $\bar{\Omega}$ множества УТЗ. Порождение же допустимого множества УТЗ осуществляется на основе исключения из $\bar{\Omega}$ УТЗ, для которых подчиненными объектами управления СТО не выполняются условия $aRb \Leftrightarrow (a, b) \notin R$. Это позволяет осуществить обоснованный выбор Ω множества допустимых УТЗ обеспечения СТО действий ОТС в различных формах операций.

Заключение

В заключение следует отметить, что предложенный метод позволяет на основе внешне- и внутрисистемного анализа информационного процесса конфликтного взаимодействия ОТС выделить основные ФУ применением СТО, покрытие которых обеспечивает формирование полного множества УТЗ на множестве СТО. Структуризация и идентификация признаков распознавания УТЗ для конкретных типов СТО позволяют обосновать требования по свойствам УТЗ – основы разработки ИТС подготовки специалистов (ЛПП) по разрешению проблемных ситуаций управления применением СТО в различных формах операций.

Библиографический список

1. Мистров, Л.Е. Метод обоснования учебных задач применения сложных технических объектов / Л.Е. Мистров, О.В. Поляков // Успехи современной радиоэлектроники. – 2023. – Т. 77, № 1. – С. 69–80.
2. Львович, Я.Е. Моделирование образовательного процесса на основе формирования управляющих учебных воздействий / Я.Е. Львович, В.Н. Кострова // Вестник ВГТУ. Сер. САПР и системы автоматизации производства. – 2005. – С. 56–59.
3. Мистров, Л.Е. Метод синтеза архитектуры интеллектуальных тренажерных систем подготовки специалистов по применению радиоэлектронных объектов / Л.Е. Мистров, О.В. Поляков // Информационные системы и технологии. – 2021. – № 6 (128). – С. 72–82.
4. Мистров, Л.Е. Метод синтеза информационно-обучающих систем (тренажеров) поиска неисправностей в радиоэлектронных объектах / Л.Е. Мистров // Информационно-измерительные и управляющие системы. – 2021. – № 1. – С. 14–35.
5. Львович, Я.Е. Автоматизация проектирования требований к специалисту и содержанию обучения. Интерактивное проектирование технических устройств и автоматизированных систем на персональных ЭВМ / Я.Е. Львович, З.Д. Жуковская, Г.В. Макаров // Тезисы доклада Всесоюзного совещания-семинара. – Воронеж, 1991. – С. 145–146.
6. Алексеев, В.В. Проблемно-ориентированная система управления и оптимизации основных параметров технически сложных систем / В.В. Алексеев, Е.И. Мартьянов, С.В. Карпушкин // Вестник Тамбов. гос. техн. ун-та. – 2021. – Т. 27, № 3. – С. 336–344.

7. Рылов, С.А. Разработка мобильного компьютерного тренажера для обучения операторов технологических процессов / С.А. Рылов, А.Э. Софиев, Ю.В. Тараканов // Приборы. – 2010. – № 3. – С. 19–24.

8. Рылов, С.А. Применение технологии «виртуальная машина» при создании компьютерных тренажеров для обучения операторов технологических процессов / С.А. Рылов, А.Э. Софиев // Приборы. – 2010. – № 5. – С. 22–25.

9. Дикарев, В.А. Автоматизация тренажной подготовки операторов радиоэлектронных объектов / В.А. Дикарев. – М.: Радиотехника, 2002. – 168 с.

10. Дидрих, В.Е. Моделирование информационных систем организационного управления / В.Е. Дидрих. – М.: Радиотехника, 2002. – 182 с.

11. Спицнадель, В.Н. Основы системного анализа: учеб. пособие / В.Н. Спицнадель. – СПб.: Бизнес-пресса, 2000. – 208 с.

12. Сысоев, В.В. Системное моделирование многоцелевых объектов. Методы анализа и оптимизации сложных систем / В.В. Сысоев. – М.: ИФТП, 1993. – С. 72–79.

13. Крапивин, В.Ф. Теоретико-игровые модели синтеза сложных систем в конфликтных ситуациях / В.Ф. Крапивин. – М.: Сов. радио, 1972. – 160 с.

14. Мистров, Л.Е. Основы принятия решений в условиях неопределенности задач проектирования информационных систем / Л.Е. Мистров, Р.А. Белоусов, О.А. Белоцерковский // Научно-технические проблемы. – 2017. – № 9. – С. 12–25.

15. Бройдо, В.Л. Архитектура ЭВМ и систем: учеб. пособие / В.Л. Бройдо, О.П. Ильина. – СПб.: Питер, 2006. – 718 с.

16. Использование сценарного подхода для принятия решений в социально-экономических системах / Я.Е. Львович, А.Г. Юрочкин, Ю.Н. Черняев, В.Г. Кобяшев, А.И. Попов // Высокие технологии в технике, медицине и образовании: межвуз. сб. науч. тр. Ч. 1. – Воронеж, 1997. – С. 51–71.

17. Мистров, Л.Е. Методологические основы формализации процесса разработки плана применения организационно-технических систем / Л.Е. Мистров // Информационные системы и процессы. – 2022. – № 5 (133). – С. 73–82.

18. Поспелов, Д.А. Ситуационное управление. Теория и практика / Д.А. Поспелов. – М.: Наука, 1986. – 288 с.

19. Интеллектуальные информационные системы и технологии их построения: учеб. пособие / В.В. Алексеев, А.И. Елисеев, М.А. Ивановский, Ю.Ю. Громов, Ю.А. Губсков. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2021.
20. Методы и модели проектирования комплексов автоматизированного освоения эрготехнических систем / В.В. Алексеев, В.Е. Дидрих, В.А. Малышев, Ю.С. Сербулов. – Воронеж: Научная книга, 2006. – 224 с.
21. Зайцев, В.С. Системный анализ операторской деятельности / В.С. Зайцев. – М.: Радио и связь, 1990. – 120 с.
22. Хорошевский, В.Г. Архитектура вычислительных систем: учеб. пособие / В.Г. Хорошевский. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2005. – 512 с.
23. Иванов, А.Ю. Военно-технические основы построения и математическое моделирование перспективных средств и комплексов автоматизации / А.Ю. Иванов, С.П. Полковников, Г.Б. Ходасевич. – СПб.: ВАС, 1997. – 419 с.

References

1. Mistrov L.E., Poliakov O.V. Metod obosnovaniia uchebnykh zadach primeneniia slozhnykh tekhnicheskikh ob"ektov [A method for justifying educational tasks of using complex technical objects]. *Uspekhi sovremennoi radioelektroniki*, 2023, vol. 77, no. 1, pp. 69-80.
2. L'vovich Ia.E., Kostrova V.N. Modelirovanie obrazovatel'nogo protsessa na osnove formirovaniia upravliaiushchikh uchebnykh vozdeistvii [Modeling of the educational process based on the formation of control educational influences]. *Vestnik VGTU. SAPR i sistemy avtomatizatsii proizvodstva*, 2005, pp. 56-59.
3. Mistrov L.E., Poliakov O.V. Metod sinteza arkhitektury intellektual'nykh trenazhernykh sistem podgotovki spetsialistov po primeneniui radioelektronnykh ob"ektov [A method for synthesizing the architecture of intelligent training systems for training specialists in the use of radio-electronic objects]. *Informatsionnye sistemy i tekhnologii*, 2021, no. 6 (128), pp. 72-82.
4. Mistrov L.E. Metod sinteza informatsionno-obuchaiushchikh sistem (trenazherov) poiska neispravnostei v radioelektronnykh ob"ektakh [A method for synthesizing information and training systems (simulators) for troubleshooting in radio-electronic objects]. *Informatsionno-izmeritel'nye i upravliaiushchie sistemy*, 2021, no. 1, pp. 14-35.

5. L'vovich Ia.E., Zhukovskaia Z.D., Makarov G.V. Avtomatizatsiia proektirovaniia trebovani k spetsialistu i sodержaniuu obucheniia. Interaktivnoe proektirovanie tekhnicheskikh ustroistv i avtomatizirovannykh sistem na personal'nykh EVM [Automation of designing requirements for a specialist and training content. Interactive design of technical devices and automated systems on personal computers]. *Tezisy doklada Vsesoiuznogo soveshchaniia-seminara*. Voronezh, 1991, pp. 145-146.

6. Alekseev V.V., Mart'ianov E.I., Karpushkin S.V. Problemno-orientirovannaia sistema upravleniia i optimizatsii osnovnykh parametrov tekhnicheskikh slozhnykh sistem [Problem-oriented system for controlling and optimizing the main parameters of technically complex systems]. *Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2021, vol. 27, no. 3, pp. 336-344.

7. Rylov S.A., Sofiev A.E., Tarakanov Iu.V. Razrabotka mobil'nogo komp'iuternogo trenazhera dlia obucheniia operatorov tekhnologicheskikh protsessov [Development of a mobile computer simulator for training process operators]. *Pribory*, 2010, no. 3, pp. 19-24.

8. Rylov S.A., Sofiev A.E. Primenenie tekhnologii "virtual'naiia mashina" pri sozdanii komp'iuternykh trenazherov dlia obucheniia operatorov tekhnologicheskikh protsessov [Application of "virtual machine" technology in the creation of computer simulators for training process operators]. *Pribory*, 2010, no. 5, pp. 22-25.

9. Dikarev V.A. Avtomatizatsiia trenazhnoi podgotovki operatorov radioelektronnykh ob"ektov [Automation of training for operators of radio-electronic objects]. Moscow: Radiotekhnika, 2002, 168 p.

10. Didrikh V.E. Modelirovanie informatsionnykh sistem organizatsionnogo upravleniia [Modeling information systems for organizational management]. Moscow: Radiotekhnika, 2002, 182 p.

11. Spitsnadel' V.N. Osnovy sistemnogo analiza [Fundamentals of system analysis]. Saint Petersburg: Biznes-prensa, 2000, 208 p.

12. Sysoev V.V. Sistemnoe modelirovanie mnogotselevykh ob"ektov. Metody analiza i optimizatsii slozhnykh sistem [System modeling of multi-purpose objects. Methods for analysis and optimization of complex systems]. Moscow: IFTP, 1993, pp. 72-79.

13. Krapivin V.F. Teoretiko-igrovye modeli sinteza slozhnykh sistem v konfliktnykh situatsiiakh [Game-theoretic models for the synthesis of complex systems in conflict situations]. Moscow: Sovetskoe radio, 1972, 160 p.

14. Mistrov L.E., Belousov R.A., Belotserkovskii O.A. Osnovy priniatiia reshenii v usloviakh neopredelennosti zadach proektirovaniia informatsionnykh sistem [Fundamentals of decision making under conditions of uncertainty in information systems design problems]. *Naukoemkie tekhnologii*, 2017, no. 9, pp. 12-25.

15. Broido V.L., Il'ina O.P. Arkhitektura EVM i sistem [Architecture of computers and systems]. Saint Petersburg: Piter, 2006, 718 p.

16. L'vovich Ia.E., Iurochkin A.G., Cherniaev Iu.N., Kobiashev V.G., Popov A.I. Ispol'zovanie stsennogo podkhoda dlia priniatiia reshenii v sotsial'no-ekonomicheskikh sistemakh [Using the scenario approach for decision making in socio-economic systems]. *Vysokie tekhnologii v tekhnike, meditsine i obrazovanii. Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov*. Voronezh, 1997, part 1. pp. 51-71.

17. Mistrov L.E. Metodologicheskie osnovy formalizatsii protsessa razrabotki plana primeneniia organizatsionno-tekhnicheskikh sistem [Methodological basis for formalizing the process of developing a plan for the use of organizational and technical systems]. *Informatsionnye sistemy i protsessy*, 2022, no. 5 (133), pp. 73-82.

18. Pospelov D.A. Situatsionnoe upravlenie. Teoriia i praktika [Situational management. Theory and practice]. Moscow: Nauka, 1986, 288 p.

19. Alekseev V.V., Eliseev A.I., Ivanovskii M.A., Gromov Iu.Iu., Gubskov Iu.A. Intellektual'nye informatsionnye sistemy i tekhnologii ikh postroeniia [Intelligent information systems and technologies for their construction]. Tambov: Tambovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet, 2021.

20. Alekseev V.V., Didrikh V.E., Malyshev V.A., Serbulov Iu.S. Metody i modeli proektirovaniia kompleksov avtomatizirovannogo osvoeniia ergotekhnicheskikh sistem [Methods and models for designing complexes for automated development of ergotechnical systems]. Voronezh: Nauchnaia kniga, 2006, 224 p.

21. Zaitsev V.S. Sistemnyi analiz operatorskoi deiatel'nosti [System analysis of operator activities]. Moscow: Radio i sviaz', 1990, 120 p.

22. Khoroshevskii V.G. Arkhitektura vychislitel'nykh sistem [Architecture of computer systems]. Moscow: Moskovskii gosudarstvennyi tekhnicheskii universitet imeni N.E. Baumana, 2005, 512 p.

23. Ivanov A.Iu., Polkovnikov S.P., Khodasevich G.B. Voenno-tekhnicheskie osnovy postroeniia i matematicheskoe modelirovanie perspektivnykh sredstv i kompleksov avtomatizatsii [Military-technical principles of construction and mathematical modeling of promising automation tools and complexes]. Saint Petersburg: ВАС, 1997, 419 p.

Сведения об авторах

Мистров Леонид Евгеньевич (Воронеж, Российская Федерация) – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» и Центрального филиала «Российского государственного университета правоведения» (394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, e-mail: mistrov_le@mail.ru).

Поляков Олег Владимирович (Воронеж, Российская Федерация) – преподаватель кафедры ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина» (394064, Воронеж, ул. Старых Большевиков, 54А, e-mail: p_oleg_65@mail.ru).

About the authors

Leonid E. Mistrov (Voronezh, Russian Federation) – Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of the VUNTS of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin" and the Central Branch of the "Russian State University of Jurisprudence" (394064, Voronezh, 54A, Starye Bolshevikov str., e-mail: mistrov_le@mail.ru).

Oleg V. Polyakov (Voronezh, Russian Federation) – lecturer of the Department of the VUNTS of the Air Force "Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin" (394064, Voronezh, 54A, Starye Bolshevikov str., e-mail: p_oleg_65@mail.ru).

Поступила: 03.02.2024. Одобрена: 18.03.2024. Принята к публикации: 20.04.2024.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов по отношению к статье.

Вклад авторов. Авторы сделали равноценный вклад в подготовку статьи.

Просьба ссылаться на эту статью в русскоязычных источниках следующим образом:

Мистров, Л.Е. Метод обоснования требований к номенклатуре учебно-тренажерных задач применения сложных технических объектов / Л.Е. Мистров, О.В. Поляков // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Электротехника, информационные технологии, системы управления. – 2024. – № 49. – С. 200–227. DOI: 10.15593/2224-9397/2024.1.10

Please cite this article in English as:

Mistrov L.E., Polyakov O.V. Method of substantiation of requirements to the nomenclature of training and training tasks for the use of complex technical objects. *Perm National Research Polytechnic University Bulletin. Electrotechnics, information technologies, control systems*, 2024, no. 49, pp. 200-227. DOI: 10.15593/2224-9397/2024.1.10