

А. Б. Филимонов, д-р техн. наук, проф., filimon_ab@mail.ru,
МИРЭА — Российский технологический университет, г. Москва,

Н. Б. Филимонов, д-р техн. наук, проф., nbfilimonov@mail.ru,
МГУ им. М. В. Ломоносова; ИГУ им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва

Ситуационный подход в задачах автоматизации управления техническими объектами¹

Ситуационный подход, возникший первоначально в менеджменте в 60-е годы XX века, в настоящее время не получил должного развития и распространения в задачах управления техническими объектами. Истинные возможности ситуационного подхода в теоретической автоматике раскрываются при переосмыслении ключевых понятий "ситуация", "ситуационная модель" и "ситуационное управление" для класса сложных технических систем.

В статье обсуждается ретроспектива становления ситуационного подхода, вопросы применения ситуационной методологии в задачах автоматического управления и автоматизации эргатических систем управления.

Развиваемая авторами концепция ситуационного управления позволяет органично объединять методы логического и непрерывного динамического управления и может рассматриваться как одно из направлений развития теории логико-динамических систем. Это убедительно иллюстрируется применением ситуационной методологии в системах много-режимного регулирования — цель регулирования декомпозируется на локальные цели, которым отвечают определенные ситуации и режимы регулирования, а сами процессы регулирования реализуются посредством двухуровневой иерархической архитектуры системы: нижний уровень составляет банк субрегуляторов, обрабатывающих локальные цели, а на верхнем уровне осуществляется контроль текущих ситуаций и реализуется логический процесс переключения режимов.

Ситуационный подход может служить одной из фундаментальных основ пока еще не сложившейся теории управления сложными техническими объектами. Предлагаемая концепция ситуационно-целевого управления для данного класса объектов в отличие от классической двухступенчатой схемы "ситуация — действие" базируется на четырехступенчатой схеме "ситуация — цель — стратегия управления — действие", которая органично сочетается с много-целевым принципом управления сложными системами, основанным на разбиении главной цели на промежуточные локальные цели применительно к отдельным ситуациям. В итоге процесс управления реализуется совместно тремя функциями: мониторинга ситуаций, генерации локальных целей и формирования стратегии управления, выходом которых являются соответственно диагноз текущей ситуации, новая локальная цель управления в случае изменения ситуации и стратегия управления, направленная на достижение новой цели.

Ключевые слова: управление техническими объектами, ситуационный подход, ситуационно-целевое управление, ситуационные модели, многорежимное регулирование

XXI век имеет тенденцию к ситуационности и требует ситуационного мышления... Сверхзадача ситуационного подхода — научиться управлять ситуациями.

Н. М. Солодухо (Manifesto of Situational Movement)

Введение

Одним из перспективных методологических средств построения систем управления различного назначения является ситуационный подход [1], основанный на принятии решений и выработке управляющих воздействий в соответствии со сложившейся текущей ситуацией.

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 16-08-00313.

Методология ситуационного подхода включает тетраду: во-первых, выделение возможных типовых ситуаций в процессах управления; во-вторых, формирование набора соответствующих оптимальных стратегий управления; в-третьих, диагностику текущей ситуации; в-четвертых, выбор стратегии управления, оптимальной для данной ситуации.

Ситуационный подход, возникший первоначально в менеджменте в 60-е годы XX века [2],

в настоящее время находит применение в задачах принятия решений и процессах управления в социально-экономических, организационно-технических и производственно-хозяйственных системах [3–7].

Применение ситуационного подхода в задачах управления техническими объектами (ТО) позволяет строить эффективные алгоритмы управления с учетом априорных знаний о возможных типовых штатных и нештатных (критических и аварийных) ситуациях. Понятие "ситуация" используется в некоторых работах при решении задач управления роботами [8, 9] и БПЛА [10]. Однако ситуационный подход так и не получил должного развития и распространения как одна из фундаментальных основ теории управления сложными ТО. Здесь нельзя не согласиться с В. А. Виттихом, который предлагал [11] вернуться к понятию "ситуационное управление", введенному в 1971 г. независимо Моклером (R. J. Mockler) и Д. А. Поспеловым в работах [12, 13], имея в виду, что за прошедшие почти полвека их идеи так и не получили должного применения в теории и практике управления отчасти даже из-за отсутствия общепринятой трактовки понятия "ситуация". Кстати, данное понятие, являясь ключевым междисциплинарным, общенаучным средством познания, основой ситуационного познавательного подхода в различных областях научного знания [14], до сих пор остается методологически не проработанным [15]. Следует указать на многочисленные попытки восполнить данный пробел [16–21].

Важным классом современных ТО широкого назначения и большого разнообразия являются подвижные объекты (ПО) — наземные, морские, аэродинамические и космические объекты, оснащенные системами навигации и управления движением. Управление ПО может осуществляться как автономно, так и при участии человека-оператора. В связи с этим в системах управления ПО выделяются режимы автоматического и эргатического управления.

В статье обсуждается ретроспектива становления ситуационного подхода, современное состояние исследований в области ситуационного управления. Особое внимание уделяется развиваемой авторами концепции ситуационно-целевого управления ТО. Рассматриваются вопросы применения ситуационной методологии в задачах автоматизации управления ПО.

Генезис ситуационной методологии

Ситуационная методология имеет давнюю историю и берет свое начало в теоретическом менеджменте. Еще в начале 1920-х гг. известный социолог Фоллетт (M. P. Follett) сформулировала "закон ситуации", согласно которому действие управленца зависит от обладания им необходимыми знаниями, причем "различные ситуации требуют различных типов знаний".

Следует заметить, что в менеджменте первые идеи ситуационной методологии связывают с именем бизнесмена Деннисона (H. S. Dennison), утверждавшего, что полезность различных методов управления определяется именно конкретной управленческой ситуацией, причем "самым эффективным методом в каждой из ситуаций является тот, который ей наиболее соответствует". Укажем также на ситуационную модель лидерства под названием "путь — цель", разработанную известным психологом Фидлером (F. E. Fiedler) в середине 1950-х гг. и получившую развитие в работах Херси (P. Hersey) и Бланшара (K. Blanchard); Митчелла (T. R. Mitchel) и Хауса (R. J. House); Врума (V. H. Vroom), Яго (A. G. Jago) и Йеттона (P. W. Yetton). Согласно данной модели эффективность руководства зависит от конкретной ситуации: тип одного идеального лидера отсутствует, и для разных ситуаций требуются различные типы лидеров.

О ситуационном подходе к управлению упоминал еще в 1954 г. Друкер (P. F. Drucker) в книге "Практика управления", где он сформировал основные черты данного подхода, включая идею, в корне перевернувшую логику менеджмента: "управление должно начинаться с выработки целей и потом переходить к формированию функций, системы взаимодействия и процесса". В 1964 г. на конференции Американской академии менеджмента была принята резолюция о необходимости "создать единую теорию управления". В 1971 г. Моклером (R. J. Mockler) была провозглашена данная теория, названная *ситуационной теорией менеджмента*.

В кибернетических системах ситуационный подход впервые сформулировал в работах 1963–1969 гг. отец искусственного интеллекта Маккарти (J. McCarthy) [22, 23]. Он разработал способ описания модели мира и его изменений в рамках формализма математической логики и ввел понятие *ситуационного исчисления* (Situational Calculus) — формального аппарата для построения модели мира и выполнения

рассуждений о воздействиях на мир. Позднее были разработаны альтернативные подходы: ситуационное исчисление Рейтера (R. Reiter), исчисление событий Миллера (R. Miller) и Шенхема (M. Shanahan). Существенный вклад в развитие ситуационного подхода внесли работы отечественных ученых в начале 1970-х гг. Здесь необходимо выделить модельную теорию мышления В. Н. Пушкина, а также метод ситуационного моделирования Ю. И. Клыкова и Д. А. Поспелова [24, 25], которые легли в основу теории ситуационного управления большими системами [1, 26]. В кибернетике понятие *ситуационное управление* в научный оборот ввел в 1971 г. Д. А. Поспелов.

Ситуационный подход, в отличие от других, претендовавших на роль универсальных и "единственно верных", показывает, что лучшего способа управления нет в принципе: эффективность любого из них относительна и определяется текущей ситуацией. Его можно охарактеризовать как концепцию "управленческой относительности", резко контрастирующую с абсолютизмом многих иных подходов и их претензиями на универсальность. Не случайно переход от универсализма к ситуационизму сравнивают с переходом от плоскости к трехмерному пространству, от немого черно-белого кино к цветному со стереоскопическим звуком.

Концепция ситуационно-целевого управления

Успех ситуационного подхода в значительной мере зависит от правильной трактовки и точного определения ключевых факторов, влияющих на процесс управления. В концепции ситуационного управления такими базовыми понятиями являются *ситуация* и *ситуационная модель*.

Понятие *ситуация* используется довольно часто в самых разнообразных аспектах и порой неотделимо от таких понятий, как состояние, событие, процесс, положение и т. д. В ранних работах Ю. И. Клыкова и Д. А. Поспелова, а также в большинстве современных работ (см., например, [18]) ситуация явно отождествляется с состоянием управляемой системы. Позднее Д. А. Поспелов расширяет понятие ситуации, добавляя в него информацию о связях между объектами: "текущая ситуация — совокупность всех сведений о структуре объекта и его функционировании в данный момент времени". Кстати, многие специалисты в области менеджмента сначала были склонны рассматривать

ситуацию просто как "сочетание условий и обстоятельств, создающих определенную обстановку в данный момент времени". Позднее они расширили понятие ситуации, рассматривая ее как синоним слова взаимосвязь: ситуация есть совокупность состояний, действующих процессов и произошедших событий.

Понятие "ситуационная модель" дает формальное описание мира с помощью ситуаций, в которых предстоит действовать управляемому объекту. В данной модели учитываются те факторы, которые действительно влияют на развитие ситуаций. Сюда относятся релевантные характеристики объекта и внешнего мира: пространственное положение, режим и условия функционирования системы, ее техническое и динамическое состояние. Фактически ситуационную модель можно рассматривать как сценарий развития ситуации, в котором четко прописываются основные этапы и порядок их смены. В известных подходах к построению ситуационных моделей в качестве формального аппарата используются модели дискретно-событийного класса: сети Петри (предикативные, раскрашенные, иерархические), конечные автоматы; графы состояний и переходов.

Таким образом, в рамках классических представлений ситуация — это полное состояние мира в некоторый момент времени. Однако такая трактовка и соответствующая формализация понятия ситуации малопродуктивны для реальных задач управления объектами, поскольку они не учитывают действия различных факторов неопределенности (неполноты знаний о свойствах объекта, неточности информации о его динамике, недетерминированности окружающей среды).

Четырехступенчатая схема ситуационного управления. Классическое ситуационное управление как в менеджменте, так и в кибернетике основано на схеме "ситуация → действие", причем алгоритм управления явно не задается, а реализуется на ситуационной сети, под которой понимается ориентированный взвешенный граф переходов по эталонным ситуациям, определяемым исходной и целевой ситуациями. Дуги графа отражают смену ситуаций и вызывающие ее информационно-управляющие процессы. Заметим, что понятие дискретной сети проблемных ситуаций было введено В. Н. Пушкиным и Д. А. Поспеловым.

Авторами предложена и получила развитие новая концепция ситуационно-целевого управ-

ления² [27—32], которая в отличие от классической двухступенчатой схемы "ситуация → действие" базируется на четырехступенчатой схеме "ситуация → цель → стратегия управления → действие", представленной на рис. 1 (см. вторую сторону обложки).

Ситуация рассматривается как совокупность некоторых условий, существенных для достижения цели. Данные условия формализуются средствами математической логики и включаются в структуру динамической базы знаний продукционного типа. В результате ситуационное пространство оказывается конечным и может быть представлено ситуационным графом. Такой подход лежит в основе развиваемого логико-динамического формализма ситуационно-целевого управления.

Согласно концепции ситуационно-целевого управления объектом каждая ситуация порождает локальную (рабочую) цель действий, для достижения которой формируется свой план действий, принимаемый к исполнению. Формируемые стратегии управления имеют дискретно-временную структуру и вследствие присущей им алгоритмической гибкости перспективны для реализации механизмов адаптации и самоорганизации в системах управления.

Следует особо подчеркнуть, что в концепции ситуационно-целевого управления ситуационный подход органично сочетается с многоцелевым принципом управления в сложных системах: главная цель системы разбивается на промежуточные подцели, которые формализуются как локальные (рабочие) цели применительно к отдельным ситуациям. В результате декомпозиции получается древовидная иерархическая структура системы целей, в которой каждая цель является агрегированной по отношению к подчиненным целям, имеющим более дифференцированное представление. В итоге процесс управления ориентирован на оценку ожидаемого развития ситуации, принятие решений и действия, ведущие к достижению локальных целей.

Ситуационно-целевое управление базируется на ситуационной модели и реализуется

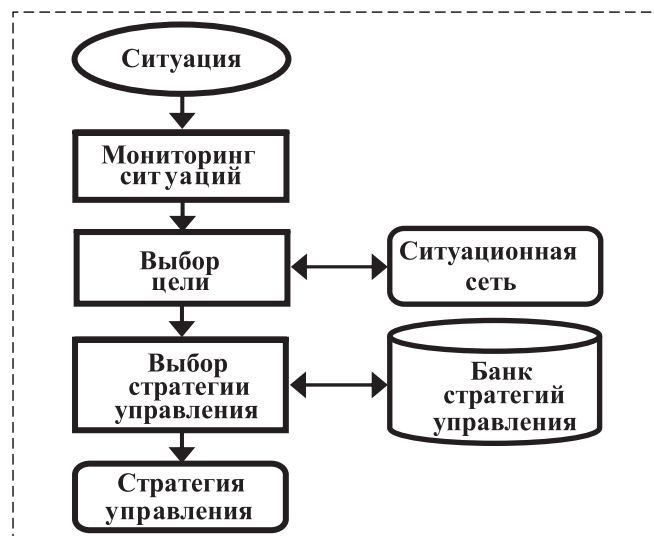


Рис. 2. Этапы процесса ситуационного управления

совместно тремя функциями: мониторинг ситуаций, генерация локальных целей и формирование стратегии управления, выходом которых являются соответственно диагноз текущей ситуации, новая локальная цель управления в случае изменения ситуации и стратегия управления, направленная на достижение новой цели. Процесс ситуационно-целевого управления представляет блок-схема на рис. 2, отражающая указанные три этапа: мониторинг ситуаций, выбор рабочей цели управления и выбор стратегии управления.

Предложенная концепция ситуационного управления характеризуется следующими базовыми положениями:

1. Ситуация не является совокупностью переменных состояния объекта и внешней среды, а идентифицирует некоторую область локализации динамических переменных. К примеру, при малых возмущениях текущего динамического режима состояние системы изменяется, а ситуация остается неизменной.

2. Каждая ситуация порождает локальную (рабочую) цель управления, для достижения которой формируется стратегия управления. Тем самым, ситуационное управление по своей структуре является дискретным.

3. Предлагается использовать классификационные схемы для ситуаций, в частности, выделять критические (предаварийные и аварийные) ситуации. На этой основе решается задача ситуационного мониторинга.

4. Предлагается ситуационный подход сочетать с многоцелевым принципом управления сложными системами: главная цель разбива-

² Укажем на плагиат в статье [Корнеев Н. В., Минитаева А. М. Человеко-машинный интерфейс как важнейший компонент архитектуры перспективных эргатических систем управления // Ученые записки РГСУ. 2012. № 7. С. 93—97]: в ней заимствованы ключевые положения данной концепции ситуационно-целевого управления без ссылок на первоисточники.

ется на подцели, которые формализуются как локальные цели управления применительно к отдельным ситуациям. В итоге формируемые стратегии являются прогностическими, учитывающими возможные сценарии ожидаемого будущего развития ситуации.

5. Излагаемая трактовка ситуации позволяет характеризовать и анализировать динамические процессы в объекте с учетом различных факторов неопределенности в динамике объекта и свойствах окружающей среды.

6. Ситуационное пространство динамических объектов является конечным и представляется ситуационным графом. Тем самым открывается возможность построения аппарата ситуационного исчисления и разработки логико-динамического формализма ситуационно-целевого управления.

Теоретико-множественная модель ситуационного пространства

Необходимой предпосылкой эффективности метода ситуационно-целевого управления является возможность различного уровня абстрагирования при построении ситуационных моделей реальных процессов. Формат определения ситуаций должен позволять гибко приспосабливать структуру применяемых ситуационных моделей к условиям задач управления. Такую возможность предоставляет описываемый ниже подход к формализации понятия ситуационного пространства, предложенный в работах авторов (см., например, [31, 32]), в котором определены операции агрегирования и дробления ситуаций.

Прежде всего, необходимо задать ситуационный *универсум* Ω — множество, элементы которого $\omega \in \Omega$ будем называть *элементарными ситуациями*. Конкретное ситуационное пространство S — это некоторое семейство подмножеств универсума:

$$S = \{s_i, i \in I\},$$

$s_i \subset \Omega$, являющееся покрытием Ω :

$$\bigcup_{i \in I} s_i = \Omega.$$

Элементы пространства S будем именовать *ситуациями*, следовательно, каждая ситуация $s \in S$ является суммой элементарных ситуаций $\omega \in \Omega$.

Таким образом, *ситуационное пространство* определяется парой (Ω, S) , т. е. носителем си-

туационного пространства Ω и семейством ситуаций S .

В рамках данных определений к ситуациям применимы обычные теоретико-множественные операции. Операция объединения приводит к агрегированию ситуаций, а операция разбиения множеств — к дроблению ситуаций. Так, для ряда задач необходимо, чтобы семейство подмножеств $\{s_i, i \in I\}$ было дизъюнктивным, т. е. чтобы его элементы попарно не пересекались:

$$\forall i, j \in I, i \neq j \Rightarrow s_i \cap s_j = \emptyset.$$

Такое ситуационное пространство S является *разбиением* Ω .

Положим, что к ситуационному пространству S , являющемуся разбиением Ω , добавлены новые множества, образованные посредством выполнения ряда операций объединения имеющихся множеств, и в результате получено *расширенное* ситуационное пространство $\hat{S}$. Оно является частично упорядоченным множеством, причем отношение частичного порядка в нем задается включением: $s_1 \supset s_2$. Такое пространство представимо корневым деревом — *деревом ситуаций*, определяющим иерархию ситуаций, которое оказывается весьма полезным конструктом при разработке алгоритмов ситуационного управления.

Древовидную структуру иерархии ситуаций можно представить так называемой моделью вложенных множеств (Nested Set Model), как показано на рис. 3 (см. вторую сторону обложки).

Операции агрегирования и иерархической структуризации ситуаций являются удобными инструментами, допускающими те же самые операции для аналогичной структуризации множества локальных целей управления.

Задача мониторинга ситуаций

Положим, что ситуация описывается набором признаков категориального типа

$$s = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m), \quad (1)$$

которые характеризуют состояние системы и внешней среды. Здесь $\theta_i \in \Theta_i$, где Θ_i — множество значений i -го признака.

Кортеж (1) является элементом ситуационного пространства:

$$S = \Theta_1 \times \Theta_2 \times \dots \times \Theta_m.$$

Под мониторингом ситуаций понимается диагностика и контроль текущих ситуаций по данным наблюдения. При алгоритмизации данных задач предлагается использовать применяемый в задачах интеллектуального анализа данных (Data Mining) аппарат деревьев решений.

Деревья решений (Decision Tree) — один из методов автоматической классификации объектов наблюдения, который позволяет представлять совокупность используемых в классификационной процедуре правил в виде иерархической, последовательной структуры. Узлы дерева представляют объекты анализа и момент выбора направления действий, ветви дерева изображают события, которые могут иметь место, а листья — альтернативные решения. Под правилом понимается логическая конструкция вида ЕСЛИ—ТО. Каждому из них соответствует внутренний узел дерева. Листьям (терминальным узлам, узлам решения) отвечают конкретные классы объектов.

Аппарат деревьев решений предлагается применять для классификации текущих ситуаций. В этом случае отдельные признаки θ_i в (1) принимаются в качестве *атрибутов расщепления* для строящегося дерева решений, так что по их значениям будет происходить ветвление.

Можно отметить выгоды применения деревьев решений: описание данных дается в компактной форме; имеется возможность использования механизмов обучения; простота формализации знаний; интуитивно понятная классификационная модель.

Предлагаются два способа применений деревьев решений в системах управления. Во-первых, это иерархическая декомпозиция целей управления: глобальная цель системы представляется деревом локальных целей. Во-вторых, деревья решений удобны для реализации механизмов логического вывода и формализации базы знаний продукционного типа.

Ситуационная методология в задачах автоматического управления

Ситуационный подход является весьма перспективным методологическим средством построения систем автоматического управления (САУ) [31].

Рассматривая задачи автоматизации управления ТО, будем полагать, что САУ выполняет некоторые *действия* (механические движения) во

внешней среде в соответствии со своим целевым назначением. Ситуационный подход предназначен для описания функционирования САУ в изменчивом мире и исходит из того, что в условиях действия многообразия факторов самой эффективной стратегией в конкретной ситуации является та, которая, во-первых, более всего соответствует данной ситуации и, во-вторых, является прогностической, т. е. учитывает возможные сценарии будущего развития ситуации.

Ситуационный подход применительно к автоматическим системам воплощает схема *ситуационно-целевого управления*, представленная на рис. 4.

Здесь САУ имеет двухуровневую иерархическую структуру. На нижнем уровне выполняются базовые функции обработки информации и управления. Последние в аппаратном слое системы реализуют функции интерфейса с внешним миром.

Верхний уровень реализует следующие функции:

- мониторинг ситуаций;
- генерация рабочей цели управления согласно текущей ситуации;
- планирование действий для достижения рабочей цели;
- исполнение плана.

Центральное место в реализации данных функций занимают ситуационные модели функционирования САУ.

Ситуационное управление многорежимными процессами. Многорежимность является одним



Рис. 4. Схема ситуационно-целевого управления

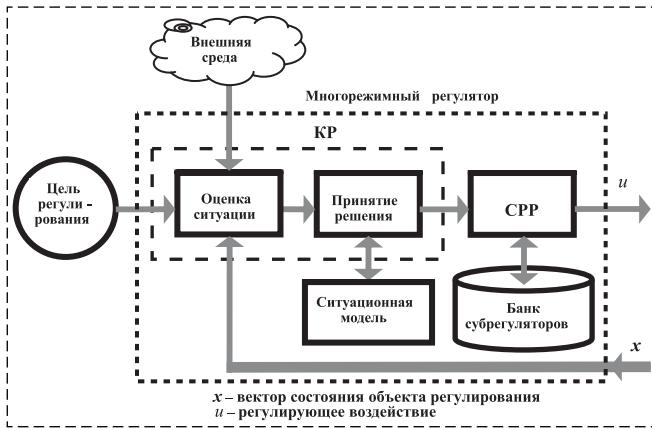


Рис. 5. Функциональная схема многорежимного регулятора

из важнейших способов повышения функциональной гибкости и эффективности систем управления [33]. Декомпозиция процесса управления на режимы позволяет учесть многообразие условий функционирования системы. Кроме этого, появляется возможность структурной перестройки ее функционирования: режимы могут добавляться, ликвидироваться, расщепляться, объединяться, модифицироваться.

Предлагается двухуровневая архитектура многорежимных систем автоматического регулирования (САР): на верхнем уровне действует *контроллер режимов* (КР), а на нижнем — *субрегуляторы режимов* (СРР). За основу построения КР может быть принята схема ситуационно-целевого управления, представленная на рис. 4, функциональность которой должна быть модифицирована с учетом многорежимной структуры процессов регулирования, причем отдельные режимы реализуются соответствующими сепаратными СРР.

Структура многорежимного регулятора, построенного на основе ситуационной методологии, представлена на рис. 5. Здесь на основе сенсорной информации проводится оценка текущей ситуации, в блоке принятия решений определяется локальная цель регулирования и выбирается соответствующий алгоритм регулирования из банка СРР. Каждый СРР реализует желаемую динамику замкнутого контура регулирования в соответствии с заданной локальной целью.

Ситуационные модели процессов автоматического управления

Ситуационное управление базируется на *ситуационной модели*, дающей формальное описание условий функционирования процесса

управления с помощью ситуаций и учитывающей многообразие всех контролируемых факторов, влияющих на данный процесс.

Ограничимся рассмотрением вопросов применения ситуационного подхода для построения *автоматных моделей* процессов управления ПО.

Автомат выполняет определенные действия $a \in A$ в зависимости от текущей ситуации. Здесь A — множество всех возможных действий.

Простейшая ситуационная модель, по существу, является базой знаний о требуемом поведении автомата, является статической и строится на основе продукций "ситуация—действие" вида:

$$\text{ЕСЛИ } (\theta_1 = \theta_1^{(v)}) \wedge (\theta_2 = \theta_2^{(v)}) \wedge \dots \wedge (\theta_m = \theta_m^{(v)}), \\ \text{ТО } a = a^{(v)} \quad (v = \overline{1, N}).$$

Увеличение числа антецедентов m и продукций N существенно усложняет построение и верификацию такой модели. В связи с этим целесообразна ее модификация на базе аппарата деревьев решений.

Для планирования возможных сценариев развития ситуаций необходима *динамическая* ситуационная модель, дополненная событийным механизмом описания действия внешней среды. В наиболее общем виде такая модель может быть представлена в виде *ситуационного графа*

$$G = (S, E),$$

под которым понимается ориентированный взвешенный граф, узлы которого $s \in S$ представляют возможные ситуации, а дуги $e \in E$ отражают смену ситуаций вследствие наступления тех или иных событий.

Пространство событий

$$E = E_0 \cup E_C,$$

где E_0 и E_C — множества неконтролируемых и управляемых событий. События первого типа могут происходить как во внешней среде, так и внутри системы, а события второго типа обусловлены активностью самой системы.

Важно отметить, что здесь алгоритмы управления явно не задаются, а реализуются в виде задач маршрутизации на ситуационном графе.

Ситуационная модель на базе сетей Петри.

Один из возможных вариантов развития ситуационного подхода — формализация динамических ситуационных моделей посредством аппарата сетей Петри.

Сеть Петри определяется кортежем

$$N = \langle P, T, F, \mu_0 \rangle,$$

где

- $P = \{p_1, p_2, \dots, p_m\}$ — множество позиций;
- $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ — множество переходов;
- $F = (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow Z_+ = \{0, 1, 2, \dots\}$ — функция инцидентности;
- $\mu_0: P \rightarrow Z_+$ — начальная маркировка сети.

Последовательность срабатываний переходов $\tau = t_1, t_2, \dots, t_l$ задает динамику сети Петри: $\mu_0, \mu_1, \dots, \mu_l$.

Динамическая модель системы получается на основе интерпретации позиций p как ситуаций, а переходов t — как событий, инициирующих изменения ситуаций.

Ситуационная модель на базе сетей фреймов. В качестве одного из способов формализации ситуационных моделей предлагается аппарат фреймовых сетей.

Фреймовая модель, основанная на теории М. Минского, представляет собой систематизированную в виде единой теории технологическую модель памяти человека и его сознания. Фрейм — структура данных для представления некоторого концептуального объекта. Относящаяся к фрейму информация содержится в его компонентах — слотах.

Так, фрейм ТЕКУЩАЯ СИТУАЦИЯ должен иметь следующие слоты:

- состояние автомата;
- состояние среды;
- глобальная цель;
- текущая локальная цель;
- новая локальная цель;
- стратегия управления.

В отличие от моделей других типов во фреймовых моделях фиксируется жесткая структура, которая называется фреймом-прототипом, или образцом.

Значением слота могут быть данные различных типов. В частности, это могут быть наборы слотов более низкого уровня. В качестве значения слота может выступать имя другого фрейма — так образуются сети фреймов. Все фреймы взаимосвязаны и образуют единую фреймовую структуру, в которой органически объединены декларативные и процедурные знания. Это дает возможность композиции и декомпозиции информационных структур.

Фреймовые модели являются достаточно универсальными, поскольку позволяют отобразить все многообразие знаний о мире через фреймы-структуры для обозначений объектов и понятий (цель); фреймы-роли (оператор);

фреймы-сценарии (режим движения); фреймы-ситуации (авария, штатный режим).

Ситуационная процессная модель. Необходимость учета внутреннего состояния автомата приводит к усложнению ситуационных моделей. Соответствующий класс моделей может быть представлен в форме разностных уравнений вида

$$x(t+1) = \lambda(x(t), s(t), a(t)), \quad (2)$$

$$w(t+1) = \mu(w(t), e(t), a(t)), \quad (3)$$

$$s(t) = \sigma(x(t), w(t)), \quad (4)$$

$$a(t) = \delta(s(t)), \quad (5)$$

где $x \in X$ — состояние автомата; $w \in W$ — состояние внешней среды; $e \in E_0$ — событие во внешней среде; $s \in S$ — ситуация; $a \in A$ — действие; $\lambda: X \times S \times A \rightarrow X$; $\mu: W \times E_0 \times A \rightarrow S$; $\sigma: X \times W \rightarrow S$; $\delta: S \rightarrow A$.

Уравнение (4) описывает структуру ситуации, а (5) — закон формирования действий. Если множества X и W конечны, то модель (2)–(5) является конечно-автоматной, причем факторы неопределенности в ней могут быть формализованы конструкциями недетерминированных автоматов.

Динамические процессы (2)–(5) протекают в абстрактном времени $t \in \{0, 1, 2, \dots, T-1\}$ и определяются следующими факторами:

- 1) начальными условиями $x(0), w(0)$;
- 2) происходящими событиями $e(0), e(1), e(2), \dots$;
- 3) выполняемыми действиями $a(0), a(1), a(2), \dots$.

Введем комплекс действий, совершенных к моменту времени $t > 0$:

$$\alpha(t) = \{a(0), a(1), \dots, a(t-1)\}.$$

Положим, главная цель выражена некоторым предикатом:

$$P(s(T)). \quad (6)$$

Однако ей могут отвечать различные стратегии действий, и тогда необходимо также учитывать стоимость достижения конечного результата. Положим, что такая стоимость оценивается некоторым критерием $Q: A^T \rightarrow \mathbf{R}_+ = [0, \infty)$. Тогда функционирование автомата наряду с терминальным требованием (6) следует подчинить требованию оптимальности:

$$Q(\alpha(T)) \rightarrow \min.$$

Планирование действий основано на анализе возможных сценариев будущего разви-

тия ситуаций в пределах некоторого горизонта планирования. Главная цель (6) разбивается на локальные (рабочие) подцели как транзитные ситуации. Если фактическая ситуация отличается от запланированной (вследствие действия неконтролируемых событий), то автоматом осуществляется новый акт планирования действий.

Ситуационная методология в задачах эргатического управления подвижными объектами

Ситуационный подход является весьма перспективным методологическим средством построения современных эргатических систем управления (ЭСУ) ПО, представляющих собой человеко-машинные системы [34—38], в которых человек-оператор (ЧО) является субъектом управления, взаимодействующим с техническими средствами, выполняющим функции целеполагающего характера и осуществляющим управление движением ПО.

Общую тенденцию развития ЭСУ ПО характеризуют следующие факторы: возрастание степени сложности задач управления, повышение степени потенциальной опасности внешней среды, рост объема обрабатываемой информации, сокращение времени на принятие решений, возрастание цены ошибок, правильности и качества принимаемых оперативных решений и др. Работа ЧО в этих условиях чревата *сенсорными, эмоциональными и интеллектуальными перегрузками* [39—42]. В связи с этим необходима новая идеология автоматизации ЭСУ ПО, ориентированная на оптимальное распределение функций между оператором и автоматикой.

Структура, режимы и степени автоматизации ЭСУ ПО. Функциональная структура ЭСУ ПО [27, 30, 32] схематично представлена на рис. 6 (см. вторую сторону обложки). Здесь средства автоматизации реализуют процессы обработки информации, контроля и управления. ЧО воспринимает и перерабатывает инструментальную, получаемую от средств отображения информации, и неинструментальную, получаемую от рецепторов органов чувств, информацию о внешней среде. Человеко-машинный интерфейс, образованный средствами отображения информации и органами управления, обеспечивает взаимодействие ЧО с автоматикой.

В процессе деятельности ЧО выполняет следующие функции: сенсорные — прием информации, интеллектуальные — восприятие,

оценка и переработка информации, волевые — принятие решения, эффекторные — реализация решения. Психика, психические процессы являются регуляторами деятельности, посредством которых оператор направляет, контролирует и корректирует свои действия в соответствии с поставленной целью.

Важнейшим свойством ЭСУ ПО является *многорежимность*. В зависимости от степени автоматизации возможны различные режимы управления движением: *ручное* (осуществляемое непосредственно оператором), *полуавтоматическое* (осуществляемое автоматикой с участием оператора), *автоматическое* (осуществляемое автоматикой без участия оператора). При этом различают режимы директорного, комбинированного и совмещенного управления. В режиме *директорного* управления ЧО включен в замкнутый контур управления и осуществляет управление по директорному сигналу, выдаваемому на средства отображения информации. В режиме *совмещенного* управления чередуются режимы ручного и автоматического управления, а в режиме *комбинированного* управления взаимодействуют замкнутые контуры директорного (или ручного) управления и автоматического управления: здесь возможно замыкание только одного из этих контуров или суммирование воздействий ЧО и автоматики.

В условиях компьютеризации ЭСУ ПО необходимо учитывать два способа участия ЧО в процессах автоматизированного управления — *диалоговый* (интерактивный) и *супервизорный* режимы: в первом случае осуществляется непосредственное взаимодействие оператора и автоматики, а во втором оператор осуществляет наблюдение за работой автоматики и ограничивается лишь оперативным вмешательством в целях ее коррекции.

Иерархия функциональных задач ЭСУ ПО. Эффективное решение задач автоматизации ЭСУ ПО возможно лишь в рамках комплексного интегрированного подхода, связанного с кардинальным изменением функциональной структуры системы — расширением и качественным изменением состава автоматизируемых функций.

На рис. 7 представлена предложенная авторами иерархическая трехуровневая функциональная схема ЭСУ ПО [27, 30, 32], воплощающая концепцию ситуационно-целевого управления.

Здесь на верхнем уровне планируются сценарии выполнения задания, на среднем, алгоритмическом, уровне осуществляются функции

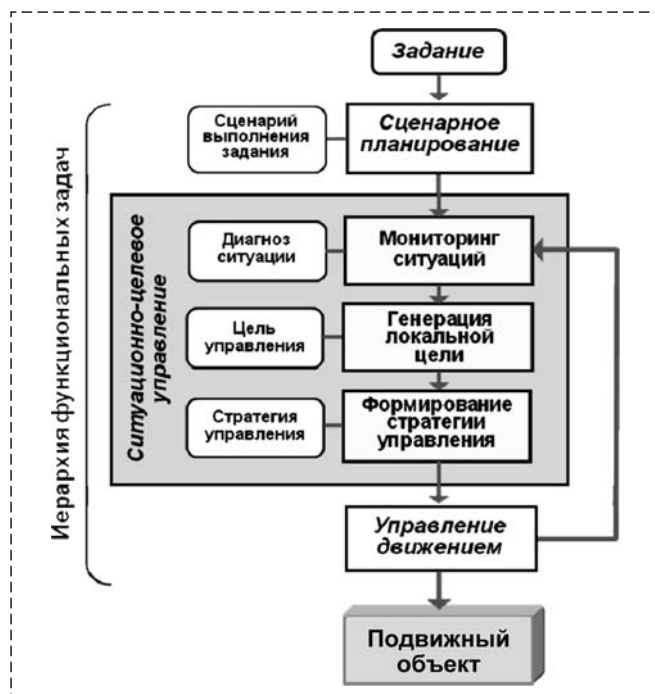


Рис. 7. Иерархическая трехуровневая функциональная схема ЭСУ ПО

ситуационно-целевого управления, на нижнем, аппаратном, уровне средствами локальной автоматики вырабатываются управляющие воздействия на объект, обеспечивающие управление его движением. Следует отметить, что нижний уровень функциональной иерархии ЭСУ ПО представляет аппаратный слой системы. Здесь осуществляются процессы ввода-вывода сигналов, реализуются конкретные действия на объект в соответствии со сформированной стратегией управления, причем применяются системотехнические решения классической автоматики.

В результате процесс ситуационно-целевого управления сводится к решению последовательной цепочки следующих задач:

- планирование;
- мониторинг ситуаций;
- генерация локальных целей;
- формирование стратегии управления;
- управление движением.

Функционирование ЭСУ ПО подчиняется конкретному заданию, которое определяет оперативную цель действий системы.

При выполнении системой задания ЧО руководствуется некоторым оперативным планом действий, который следует относить к **сценарному планированию** — разработке альтернативных сценариев будущего и созданию на их основе гибких оперативных планов действий.

Под сценарием понимается упорядоченная последовательность сцен, которые определяются стереотипной ситуацией, сложившейся вследствие наступления некоторого набора событий, и действиями в данной ситуации. Сценарий разворачивается в процессе функционирования системы, причем все альтернативные сценарии формируются на основе исследования окружающей среды (наличие predetermined элементов, ключевых неопределенностей и их комбинации). Сценарное планирование рассматривает все сценарии как одинаково возможные в будущем и придает гибкость стратегиям управления, помогая сократить время реагирования на изменение ситуаций.

Сценарные модели, по сути, являются одним из способов представления знаний. Используемые нами понятия сценария и сценарного планирования близки по смыслу к тем, которые используются в когнитивной психологии и стратегическом менеджменте. Когнитивная теория сценариев разработана Шенком (R. C. Schank) и Абельсоном (R. P. Abelson), а сценарное планирование разработано выдающимся футурологом XX столетия Каном (H. Kahn).

Сценарное планирование является новой методологией, требующей разработки адекватного математического аппарата и технологического инструментария. Представляют интерес три направления исследований в этой области:

- 1) графовое моделирование сценариев;
- 2) вербализация моделей сценария (компьютеризация вербального уровня описания сцен, лингвистические алгоритмы как словесное описание ситуаций, целей и способов управления);
- 3) применение аппарата нечеткой логики.

Отработка плана осуществляется контуром **ситуационно-целевого управления**, который реализуется алгоритмически (в результате человеко-машинного взаимодействия) и сводится к последовательному выполнению следующих трех функций: мониторинг ситуаций; генерация локальной цели управления; формирование стратегии управления. Здесь базисным является понятие *ситуации* — конкретного набора событий, обстоятельств и условий, которые влияют на систему в данное конкретное время. Все три задачи ситуационно-целевого управления вытекают из логики отработки сценария. Решением данных задач являются соответственно диагноз текущей ситуации, новая локальная цель управления (в случае изменения ситуации) и стратегия управления, направленная на ее достижение.

Уровень *управления движением* ПО является нижним уровнем функциональной иерархии ЭСУ и реализует стратегии управления, сформированные на верхних уровнях, в автоматическом или автоматизированном (диалоговом или супервизорном) режимах.

Средний и верхний уровни направлены на автоматизацию эргатических функций, и их проектирование выходит за рамки традиционных схем автоматизации. Ключевую роль в автоматизации ЭСУ ПО играет средний иерархический уровень — уровень ситуационно-целевого управления.

Ситуационная модель действий человека оператора

Динамические модели оператора являются важной составляющей теоретического базиса автоматизации ЭСУ. В особенности это касается режимов ручного и полуавтоматического управления самолетами.

Модель действий оператора. Возможны различные подходы к построению модели действий оператора (МДО) в ЭСУ ПО. Состав и характер выполняемых оператором функций определяется целевым назначением и степенью автоматизации ЭСУ.

Классический подход к проблеме построения МДО основан на методологии теории автоматического управления и заключается в представлении ЧО динамическим звеном в контуре ручного управления движением. Его теоретические основы были заложены в работах Макруера (D. Mcruer), Гесса (R. A. Hess), В. А. Боднера, Г. П. Шибанова, М. М. Сильвестрова, Г. Г. Себрякова и др. (см., например, [27, 37—43]), посвященных анализу процессов ручного управления в ЭСУ пилотируемых летательных аппаратов. Данный тип моделей отражает психомоторику ЧО при решении непрерывных перцептивно-моторных задач и применим лишь к процессам ручного регулирования и слежения. Однако при проектировании ЭСУ ПО необходимо учитывать и другие функции, выполняемые ЧО. Здесь уместно процитировать А. А. Красовского, который особо подчеркивал, что несмотря на обилие публикаций, посвященных данной проблеме, "достаточно универсальных и эффективных (адекватных) МДО пока не создано".

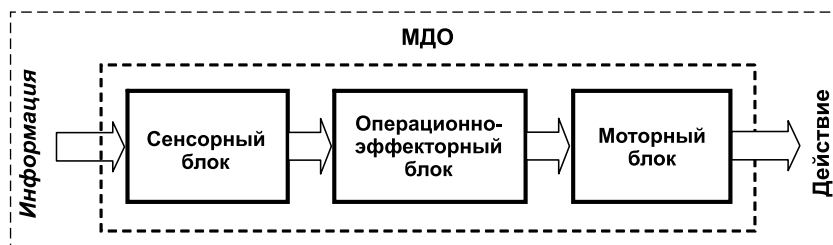


Рис. 8. Структура модели действий оператора

Ситуационный подход позволяет учесть многообразие условий функционирования ЭСУ и создает единую теоретическую базу для решения ключевых задач эргономического анализа и проектирования деятельности ЧО.

Более совершенные МДО должны описывать последовательность трех связанных процессов: восприятие информации, ее операциональную переработку и выполнение действий. В соответствии с этим предлагается в структуре МДО выделять сенсорный, операционно-эффекторный и моторный блоки, как показано на рис. 8.

Данную структуру можно рассматривать как результат упрощения операционной архитектуры функциональных систем П. К. Анохина [44, с. 92—94]. В операционно-эффекторном блоке осуществляются процессы принятия решения, формирования акцептора результатов действия и эфферентной программы самого действия.

Достаточно полная МДО должна учитывать следующие факторы:

- психофизиологические возможности ЧО;
- механизмы распознавания ситуации и принятия решения;
- адаптационные свойства ЧО;
- дискретно-динамический механизм реакций ЧО;
- терминальный характер задач управления;
- способность ЧО к предвидению (перспективной экстраполяции) управляемых процессов;
- многорежимную структуру процессов ручного управления.

Механизмы действия перечисленных факторов связаны с операционно-эффекторным блоком. Ясно, что данный блок должен иметь сложную функционально-алгоритмическую структуру.

Поясним последний из перечисленных факторов — многорежимность модели поведения оператора. Эмпирические наблюдения показывают несостоятельность МДО как функционального преобразователя, динамического или

корректирующего звена с жесткой структурой. На самом деле процесс отработки оператором командных сигналов складывается из ряда последовательных режимов: "переходного", "доводки" и "стабилизации", для каждого из которых поведение ЧО кардинально различаются. Можно предположить, что в первом режиме управление является позиционно-программным, во втором имеет итерационный характер, а в третьем достигается астатический эффект, причем, скорее всего, за счет автоколебательных процессов.

Свойство многорежимности удастся формализовать в рамках предложенной авторами ситуационно-динамической концепции моделирования действий ЧО. Данная модель имеет двухуровневую иерархическую структуру. На верхнем уровне моделируется оценка внешних ситуаций со стороны оператора, а на нижнем — алгоритм его поведения в текущих ситуациях.

Учет многоплановых свойств ЧО возможен лишь в рамках комплексного подхода, аккумулирующего достижения в областях системного анализа, моделирования, систем искусственного интеллекта, когнитивной и инженерной психологии.

В описанной выше трехуровневой архитектуре ЭСУ ПО (см. рис. 7) два нижних уровня связаны с когнитивными процессами в деятельности ЧО. В связи с этим при разработке МДО принимаются следующие положения: 1) оператору как активному звену ЭСУ присущи функции целеполагания и планирования; 2) процессы управления ПО имеют многорежимную структуру; 3) оператор осуществляет ситуационное управление режимами движения ПО.

Обработка информации ЧО в ЭСУ ПО осуществляется в интерактивном режиме на основе *информационной модели* ПО и внешней среды (ВС). При этом оператор воспринимает ограниченное количество оперативной информации и руководствуется лишь частью доступной информации для принятия решения. Данный аспект в деятельности ЧО отражает понятие информационной *ситуации* как агрегированной информационной характеристики состояния ПО и ВС.

Ситуация — конкретный набор обстоятельств, которые влияют на функционирование системы в данное конкретное время. Введем ряд обозначений: Θ — множество заданий, которые могут быть предъявлены оператору; X и Ψ — соответственно пространства состояний ПО и ВС; S — ситуационное пространство;

Γ — множество выделенных управляемых режимов движения ПО.

Процесс восприятия ЧО различных ситуаций $s \in S$ отражает некоторая функция:

$$s = q(x, \psi),$$

где $x \in X$ и $\psi \in \Psi$ — соответственно состояния ПО и ВС.

Ситуационная модель дает формальное описание мира с помощью ситуаций, в которых предстоит действовать ЧО. Эффективным средством описания ситуаций является логика предикатов первого порядка.

Пусть $S = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ — алфавит возможных ситуаций. Простейшим вариантом ситуационной модели является *ситуационный граф*: его вершины представляют ситуации, а ориентированные ребра — причинно-следственные связи между ситуациями. Дальнейшее усложнение модели заключается в применении событийного механизма описания процесса смены ситуаций. Для этого в структуру модели включается множество событий Λ , причем ребра ситуационного графа означают события $\lambda \in \Lambda$, на которые должен реагировать ЧО. Такой подход соответствует асинхронному характеру действий ЧО в ЭСУ.

Функционирование ЭСУ ПО подчиняется некоторому заданию, которое определяет оперативную цель действий ЧО. При выполнении задания оператор руководствуется некоторым *оперативным планом действий*. Такой тип планирования следует относить к сценарному планированию.

Сцена определяется стереотипной ситуацией, возникшей вследствие наступления некоторого набора событий, и действиями ЧО в данной ситуации. *Сценарий* является упорядоченной последовательностью сцен, разворачивающейся в процессе функционирования системы. Отметим, что сценарные модели являются одним из способов представления знаний.

Целеполагание и многорежимность. Многорежимная структура МДО позволяет не только учитывать многообразие факторов, влияющих на движение ПО, но и рассматривать сложные стратегии движения как композицию элементарных режимов движения (стереотипизированных подпрограмм действий), которые управляются или контролируются ЧО. Режимы характеризуются кинематической структурой движения ПО, определенным набором кинематических параметров и временем выполнения.

Пусть задан алфавит таких режимов:

$$\Gamma = \{\gamma_k, k \in K\},$$

где K — множество индексов, нумерующих режимы. Целевое движение ОУ рассматривается как комбинация элементарных режимов:

$$\tilde{\Gamma} = (\tilde{\gamma}_1, \tilde{\gamma}_2, \dots, \tilde{\gamma}_F) \subset \Gamma.$$

Задача планирования действий ЧО заключается в формировании такого каскада режимов $\tilde{\Gamma}(s_0)$, порожденных начальной ситуацией $s_0 \in S$, который обеспечивает достижение текущей оперативной цели $\theta \in \Theta$.

Предлагаемые решения по построению МДО позволяют анализировать информационные и надежностные характеристики ЧО.

Временные характеристики процессов управления. В формализованном виде деятельность ЧО можно представить как динамическую структуру, осуществляющую преобразование информации в управляющие воздействия.

Простейшей динамической характеристикой одноконтурной ЭСУ ПО является *цикл регулирования* $T_{\text{ц}}$, под которым понимается период полного оборота сигнала по контуру управления, определяемый суммой задержек сигналов в машинных звеньях и временем реакции ЧО:

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4,$$

где t_1 — время прохождения сигнала через систему отображения информации; t_2 — время на восприятие, переработку информации и принятия решения ЧО; t_3 — время на выполнение управляющих действий ЧО; t_4 — инерционное время срабатывания ПО.

Ситуационное моделирование позволяет детализировать временные характеристики информационно-управляющих процессов в ЭСУ. Действительно, положим, что каждая ситуация $s \in S$ длится некоторое время $\tau(s)$. Учтем, что выполнение конкретного задания $\theta \in \Theta$ отражается определенным путем $\pi(\theta) \subset S$ в ситуационном графе. Тогда время отработки данного задания будет определяться формулой

$$T(\theta) = \sum_{s \in \pi(\theta)} \tau(s).$$

Проблема моделирования ошибок ЧО. В арсенал классических методов исследования ошибок ЧО входят:

1. Метод фреймов М. А. Котика и А. М. Емельянова — это метод построения фреймов при

реконструкции происшествия, структурный анализ которых позволяет выявлять причины сбоев в действиях ЧО.

2. Метод критических инцидентов Фланагана (J. Flanagan) — это способ анализа поведения субъекта в ситуациях, являющихся критическими в смысле достижения поставленных целей. Особо обращается внимание на то, чтобы как можно более точно и полно была описана каждая такая ситуация.

3. Логико-вероятностные методы моделирования критических ситуаций и анализа ошибок ЧО на основе аппарата деревьев событий и отказов.

4. Методы анализа надежности ЧО на основе математического аппарата марковских случайных процессов.

Реконструкция ошибок ЧО предполагает определение структуры и алгоритма его деятельности. Методологическим базисом данных процедур может служить разработанный ситуационный формализм построения МДО.

Заключение

Развиваемая авторами концепция ситуационного управления позволяет органично объединять методы логического и непрерывного динамического управления и может рассматриваться как одно из направлений развития теории логико-динамических систем.

Ситуационный подход может служить одной из фундаментальных основ пока еще не сложившейся теории управления сложными техническими объектами. Предлагаемая концепция ситуационно-целевого управления для данного класса объектов в отличие от классической двухступенчатой схемы "ситуация — действие" базируется на четырехступенчатой схеме "ситуация — цель — стратегия управления — действие", которая органично сочетается с многоцелевым принципом управления сложными системами, основанным на разбиении главной цели на промежуточные локальные цели применительно к отдельным ситуациям. В итоге процесс управления реализуется совместно тремя функциями: мониторинга ситуаций, генерации локальных целей и формирования стратегии управления, выходом которых являются соответственно диагноз текущей ситуации, новая локальная цель управления в случае изменения ситуации и стратегия управления, направленная на достижение новой цели.

Список литературы

1. **Поспелов Д. А.** Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. 288 с.
2. **Костенко Е. П., Михалкина Е. В.** История менеджмента: учебное пособие. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2014. 606 с.
3. **Мелехин В. Б., Исмаилова Ш. Т.** Ситуационное управление техническим перевооружением производственного предприятия // Приборы + Автоматизация. 2004. № 1. С. 34–39.
4. **Секретарев Ю. А., Диденко С. А., Каравасев А. А., Мошкин Б. Н.** Ситуационное управление энергетическими объектами и процессами электроэнергетической системы. Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2007. 308 с.
5. **Колесников А. А.** Ситуационное управление объективно нестационарными производственными процессами с применением динамических моделей. Уфа: Академия ВЭГУ, 2010. 132 с.
6. **Ханова А. А., Уразалиев Н. С., Усманова З. А.** Метод ситуационного управления сложными системами на основе сбалансированной системы показателей // Научный вестник НГТУ. 2015. Т. 60, № 3. С. 69–82.
7. **Розенберг И. Н.** Ситуационное управление в сфере транспорта // Образовательные ресурсы и технологии. 2015. № 2 (10). С. 42–48.
8. **Ющенко А. С., Киселев Д. В.** Ситуационный подход к организации поведения мобильного робота в условиях неопределенности // Мехатроника. 2000. № 5. С. 10–15.
9. **Арсеньев Д. Г., Шкодырев В. П.** Стратегия группового управления роботами на основе ситуационно-целевого планирования // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 3. С. 40–43.
10. **Шалыгин А. С., Лысенко Л. Н., Толпегин О. А.** Методы ситуационного управления движением беспилотных летательных аппаратов / Под. ред. А. В. Ноздрачева и Л. Н. Лысенко. М.: Машиностроение, 2012. 584 с.
11. **Виттих В. А.** Проблемы управления и моделирования в сложных искусственных системах // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 12. С. 17–23.
12. **Mockler R. J.** Situational Theory of Management // Harvard Business Review. 1971. Vol. 49, N. 3. 146–155.
13. **Поспелов Д. А.** Принципы ситуационного управления // Изв. АН СССР. Техническая кибернетика. 1971. № 2. С. 10–12.
14. **Векленко П. В.** Ситуационный подход в познании. Омск: Амфора, 2012. 144 с.
15. **Солодухо М. Н., Румянцева М. Г.** Познавательная роль понятия "ситуация" в современной науке // Вестник КГТУ им. А. Н. Туполева. 2014. № 1. С. 183–188.
16. **Симанков В. С., Шипин А. В.** Ситуационное управление сложным объектом в условиях нечеткой исходной информации // Труды ФОРА. 2004. № 9. С. 116–120.
17. **Чекинов Г. П., Чекинов С. Г.** Ситуационное управление: состояние и перспективы // Приложение к журналу "Информационные технологии". 2004. № 2. 32 с.
18. **Куандыков А. А.** Основы ситуационного управления сложными объектами // Вестник ВКГТУ. 2009. № 1. С. 152–158.
19. **Борисов В. В., Зернов М. М.** Реализация ситуационного подхода на основе нечеткой иерархической ситуационно-событийной сети // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 1. С. 17–30.
20. **Гюльмамедов Р. Г.** Метод построения стратегии в системах ситуационного управления // Информационно-управляющие системы. 2011. № 6. С. 36–39.
21. **Кириллов Н. П.** Концептуальная модель объекта ситуационного управления функциональными состояниями технических систем // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 4. С. 61–75.
22. **McCarthy J.** Situations, Actions and Causal Laws. Memo 2. Stanford University Artificial Intelligence Project, 1963 (Reprinted in: M. Minsky ed. Semantic Information Processing. Cambridge, Mass.: MIT Press, 1968. P. 410–418).
23. **McCarthy J., Hayes P. J.** Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence / Machine Intelligence 4. Edinburgh: Edinburgh University Press, 1969. P. 463–502.
24. **Поспелов Д. А., Пушкин В. Н.** Мышление и автоматизация. М.: Советское радио, 1972. 224 с.
25. **Клыков Ю. И.** Семиотические основы ситуационного управления. М.: МИФИ, 1974. 220 с.
26. **Клыков Ю. И.** Ситуационное управление большими системами. М.: Энергия, 1974. 213 с.
27. **Теряев Е. Д., Петрин К. В., Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** Современные проблемы автоматизации и интеллектуализации эргатических систем управления подвижными объектами / Интеллектуальные системы управления: Коллективная монография. Под ред. С. Н. Васильева М.: Машиностроение, 2010. С. 84–95.
28. **Теряев Е. Д., Петрин К. В., Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** Мультиагентные технологии в эргатических системах управления // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. № 3 (104). С. 7–13.
29. **Теряев Е. Д., Петрин К. В., Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** Проблема интеллектуальной поддержки оператора в эргатических системах управления // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XII Междунар. конф. Самара: Самарский НЦ РАН, 2010. С. 18–27.
30. **Теряев Е. Д., Петрин К. В., Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** Проблемы и перспективы автоматизации эргатических систем управления подвижными объектами // Мехатроника, автоматизация, управление: Матер. 7-й науч.-техн. конф. СПб.: ОАО Концерн ЦНИИ "Электроприбор", 2010. С. 27–33.
31. **Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** О ситуационной методологии синтеза автоматических систем // 6-я Всероссийская мультиконференция по проблемам управления: Матер. 6-й Всеросс. мультиконф. Т. 2. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2013. С. 60–64.
32. **Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** Ситуационно-целевой подход в задачах автоматизации эргатических систем управления подвижными объектами // Современные проблемы прикладной математики, информатики, автоматизации и управления: Матер. 3-го междунар. семинара. Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2013. С. 77–83.
33. **Филимонов Н. Б.** Системы многоорежимного регулирования: концепция, принципы построения, проблемы синтеза // Изв. вузов. Приборостроение. 1988. № 2. С. 18–33.
34. **Шеридан Т. Б., Феррел У. Р.** Системы человек—машина. Модели обработки информации, управления и принятия решений человеком-оператором. М.: Машиностроение, 1980. 400 с.
35. **Павлов В. В.** Синтез стратегий в человеко-машинных системах. К.: Віща школа, 1989. 162 с.
36. **Адаменко А. Н., Ашерев А. Т., Бердников И. Л. и др.** Информационно-управляющие человеко-машинные системы: Исследование, проектирование, испытания: Справочник / Под общ. ред. А. И. Губинского и В. Г. Евграфова. М.: Машиностроение, 1993. 528 с.
37. **Человеко-машинные системы управления / Машиностроение. Энциклопедия. Т. 1-4. Автоматическое управление. Теория. Раздел 8 / Под общ. ред. Е. А. Федосова. М.: Машиностроение, 2000. С. 604–641.**
38. **Царегородцев А. В.** Современные технологии управления в человеко-машинных системах. М.: Радио и связь, 2002. 84 с.
39. **Смолян Г. Л., Тоболев К. В.** Человеческий фактор в системах управления / Новое в жизни, науке и технике. Вып. 9. М.: Знание, 1974. 64 с.
40. **Вопросы кибернетики. Эффективность деятельности оператора / Под ред. Ю. М. Забродина, А. П. Чернышева. М.: ВИНТИ, 1982. 182 с.**
41. **Сильвестров М. М., Козиоров Л. М., Пономаренко В. А.** Автоматизация управления летательными аппаратами с учетом человеческого фактора. М.: Машиностроение, 1986. 184 с.
42. **Ефремов А. В., Оглобин А. В., Предтеченский А. Н., Родченко В. В.** Летчик как динамическая система. М.: Машиностроение, 1992. 336 с.
43. **Филимонов А. Б., Филимонов Н. Б.** Ситуационная методология анализа и моделирования эргатических систем управления // Восьмая Всероссийская мультиконференция по проблемам управления: Матер. 8-й Всеросс. мультиконф. МКПУ-2015 в 3-х т. Т. 1. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮФУ, 2015. С. 155–159.
44. **Красовский А. А.** Основы теории авиационных тренажеров. М.: Машиностроение, 1995. 304 с.

Situational Approach in the Problems of Automation Control by Technical Objects

A. B. Filimonov, filimon_ab@mail.ru,

MIREA — Russian Technological University, Moscow, 119454, Russian Federation,

N. B. Filimonov, nbfilimonov@mail.ru,

Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation

Corresponding author: **Filimonov Nikolay B.**, Dr. Sci. Tech., Professor,
Lomonosov Moscow State University, Moscow, 119991, Russian Federation,
e-mail: nbfilimonov@mail.ru

Accepted on May 20, 2018

The situational approach originated initially at the management in 1960's of the XX th century at present has not the proper development and extension in control problems by technical objects. The true possibilities of the situational approach for the theoretical automation are uncovered themselves in rethinking of the key notions like "situation", "situational model" and "situational control" for class of complex technical systems. The retrospective of the formation of the situational approach is discussed in the article, and also the questions of the application of the situational methodology in the problems of the automatic control and the automation of the ergatic control systems are considered. The conception of the situational control developed by the authors permits to join naturally the methods of the logical and continuous dynamical control and allows to consider as one from the directions of the development of the theory of the logic-dynamical systems. This fact is conclusively illustrated with use of the situational methodology in the systems of multiregime regulation. The aim of the regulation is decomposed into local aims. The definite situations and the regimes of regulation conform to these aims. And the processes of the regulation themselves are realized by means of two-level hierarchical design of the system: the lower level puts together the bank of subcontrollers working off the local aims, and at the top of the level the control of the flowing situations is realized and the logic process of the switching of the regimes is represented. The situational approach used for one from the fundamental bases for the present control theory by complex technical objects. The suggested conception of the situational-goal control for the given class of the objects in contrast to the classical two-step scheme "situation-action" is based on four-step scheme "situation-aim-control strategy-action", which meshes perfectly with multiple goal control principle by complex systems based on the decomposition of the main aim into intermediate local aims in connection with the separate situations. As a final result, the control process is realized by three functions simultaneously: monitoring of the situations, the generation of local aims and formation of the control strategy. Their outputs are diagnose of the flowing situation, the new local aim of control in case of the situation's change and the control strategy respectively.

Keywords: control by the technical objects, the situational approach, situational-goal control, situational models, multiregime regulation

Acknowledgements: This article was supported by grant of the Russian Foundation for Basic Research (Project No. 16-08-00313-a).

For citation:

Filimonov A. B., Filimonov N. B. Situational Approach in the Problems of Automation Control by Technical Objects, *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2018, vol. 19, no. 9, pp. 563–578.

DOI: 10.17587/mau.19.563-578

References

1. Pospelov D. A. *Situacionnoe upravlenie: teoriya i praktika* (Situation control: theory and practice), Moscow, Nauka, 1986 (in Russian).
2. Kostenko E. P., Mihalkina E. V. *Istoriya menedzhmenta: uchebnoe posobie* (History of management: textbook), Rostov-na-Donu, Publishing house of YUFU, 2014 (in Russian).
3. Melekhin V. B., Ismailova Sh. T. *Situacionnoe upravlenie tekhnicheskimi perevozuruzheniem proizvodstvennogo predpriyatiya* (Situational management of technical re-equipment of the production enterprise), *Pribory + Avtomatizatsiya*, 2004, no 1, pp. 34–39 (in Russian).
4. Sekretarev Yu. A., Didenko S. A., Karavaev A. A., Moshkin B. N. *Situacionnoe upravlenie ehnergeticheskimi ob"ektami i processami ehlektroehnergeticheskoy sistemy* (Situational management of energy facilities and processes of the electric power system), Novosibirsk, Publishing house of NGTU, 2007 (in Russian).
5. Kolesnikov A. A. *Situacionnoe upravlenie ob"ektivno nestatsionarnymi proizvodstvennymi processami s primeneniem dinamicheskikh modelej* (Situational control objectively non-stationary manufacturing processes with the use of dynamic models), Ufa, Akademiya VEUGU, 2010 (in Russian).
6. Hanova A. A., Urazaliev N. S., Usmanova Z. A. *Metod situacionnogo upravleniya slozhnymi sistemami na osnove sbalansirovannoy sistemy pokazatelej* (Method of situational control of complex systems based on the balanced scorecard), *Nauchnyy vestnik NGTU*, 2015, vol. 60, no 3, pp. 69–82 (in Russian).
7. Rozenberg I. N. *Situacionnoe upravlenie v sfere transporta* (Situation control in the field of transport), *Obrazovatel'nye resursy i tekhnologii*, 2015, no. 2 (10), pp. 42–48 (in Russian).
8. Yushchenko A. C., Kiselev D. V. *Situacionnyy podhod k organizatsii povedeniya mobil'nogo robota v usloviyah neopredelennosti* (Situational approach to the organization of mobile robot behavior under uncertainty), *Mekhatronika*, 2000, no. 5, pp. 10–15 (in Russian).
9. Arsen'ev D. G., Shkodyrev V. P. *Strategiya gruppovogo upravleniya robotami na osnove situacionno-celevogo planirovaniya* (Strategy of group control of robots on the basis of situational and target planning), *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskie nauki*, 2010, no. 3, pp. 40–43 (in Russian).
10. Shalygin A. S., Lysenko L. N., Tolpegin O. A. *Metody situacionnogo upravleniya dvizheniem bespilotnykh letatel'nykh apparatov* (Methods of situational control-movement of unmanned aerial vehicles), pod. red. A. V. Nozdracheva i L. N. Lysenko, Moscow, Mashinostroenie, 2012 (in Russian).
11. Vittih V. A. *Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh iskusstvennykh sistemakh* (Problems of control and modeling in complex artificial systems), *Mekhatronika, Avtomatizatsiya, Upravlenie*, 2010, no. 12, pp. 17–23 (in Russian).

12. **Mockler R. J.** Situational Theory of Management, Harvard Business Review, 1971, vol. 49, no. 3, pp. 146–155.
13. **Pospelov D. A.** Principy situacionnogo upravleniya (Principles of situational control), *Izv. AN SSSR. Tekhnicheskaya kibernetika*, 1971, no. 2, pp. 10–12 (in Russian).
14. **Veklenko P. V.** *Situatsionnyj podhod v poznanii* (Situational approach to knowledge), Monografiya, Omsk, Amfora, 2012 (in Russian).
15. **Soloduh M. N., Rumyantseva M. G.** *Poznavatel'naya rol' ponyatiya "situatsiya" v sovremennoj nauke* (The cognitive role of the concept "situation" in modern science), *Vestnik KGTU im. A. N. Tupoleva*, 2014, no. 1, pp. 183–188 (in Russian).
16. **Simankov V. S., Shipin A. V.** *Situatsionnoe upravlenie slozhnym ob'ektom v usloviyah nechetkoj iskhodnoj informacii* (Situational control of a complex object in terms of fuzzy outcome information), *Trudy FOR A*, 2004, no. 9, pp. 116–120 (in Russian).
17. **Chekinov G. P., Chekinov S. G.** *Situatsionnoe upravlenie: sostoyaniye i perspektivy* (Situation control: status and prospects), *Prilozhenie k zhurnalu "Informatsionnye tekhnologii"*, 2004, no. 2, 32 p. (in Russian).
18. **Kuandykov A. A.** *Osnovy situatsionnogo upravleniya slozhnymi ob'ektami* (Fundamentals of situational control of complex objects), *Vestnik VKGTU*, 2009, no. 1, pp. 152–158 (in Russian).
19. **Borisov V. V., Zernov M. M.** *Realizatsiya situatsionnogo podhoda na osnove nechetkoj ierarhicheskoy situatsionno-sobytiynoy seti* (Implementation of situational approach based on fuzzy hierarchical situational-event network), *Iskustvennyj Intellekt i Prinyatie Reshenij*, 2009, no. 1, pp. 17–30 (in Russian).
20. **Gyul'mamedov R. G.** *Metod postroeniya strategii v sistemah situatsionnogo upravleniya* (A method of formation strategies in systems of situational control), *Informatsionno-Upravlyayushchie Sistemy*, 2011, no. 6, pp. 36–39 (in Russian).
21. **Kirillov N. P.** *Konceptual'naya model' ob'ekta situatsionnogo upravleniya funktsional'nymi sostoyaniyami tekhnicheskikh sistem* (Conceptual model of the object of situational control of functional states of technical systems), *Iskustvennyj Intellekt i Prinyatie Reshenij*, 2012, no. 4, pp. 61–75 (in Russian).
22. **McCarthy J.** Situations, Actions and Causal Laws. *Memo 2. Stanford University Artificial Intelligence Project*, 1963 (Reprinted in M. Minsky ed. *Semantic Information Processing*. Cambridge, Mass., MIT Press, 1968, pp. 410–418).
23. **McCarthy J., Hayes P. J.** Some Philosophical Problems from the Standpoint of Artificial Intelligence, *Machine Intelligence 4*, Edinburgh, Edinburgh University Press, 1969, pp. 463–502.
24. **Pospelov D. A., Pushkin V. N.** *Myshlenie i avtomaty* (Thinking and machines), Moscow, Sovetskoe radio, 1972 (in Russian).
25. **Klykov Yu. I.** *Semioticheskie osnovy situatsionnogo upravleniya* (Semiotics the basics of situational control), Moscow, MIFI, 1974 (in Russian).
26. **Klykov Yu. I.** *Situatsionnoe upravlenie bol'shimi sistemami* (Situational control of large systems), Moscow, Ehnergiya, 1974 (in Russian).
27. **Teryaev E. D., Petrin K. V., Filimonov A. B., Filimonov N. B.** *Sovremennyye problemy avtomatizatsii i intellektualizatsii ehrgaticheskikh sistem upravleniya podvizhnymi ob'ektami* (Modern problems of automation and intellectualization of ergatic control systems of mobile objects), *Intellektual'nye sistemy upravleniya: Kollektivnaya monografiya*, Moscow, Mashinostroenie, 2010, pp. 84–95 (in Russian).
28. **Teryaev E. D., Petrin K. V., Filimonov A. B., Filimonov N. B.** *Mul'tiagentnye tekhnologii v ehrgaticheskikh sistemah upravleniya* (Multi-agent technologies in ergatic control systems), *Izvestiya YUFU. Tekhnicheskies Nauki*, 2010, no. 3 (104), pp. 7–13 (in Russian).
29. **Teryaev E. D., Petrin K. V., Filimonov A. B., Filimonov N. B.** *Problema intellektual'noj podderzhki operatora v ehrgaticheskikh sistemah upravleniya* (The problem of intelligent operator support in ergatic control systems), *Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemah*, Trudy HII Mezhdunar. konf., Samara, Samarskij NC RAN, 2010, pp. 18–27 (in Russian).
30. **Teryaev E. D., Petrin K. V., Filimonov A. B., Filimonov N. B.** *Problemy i perspektivy avtomatizatsii ehrgaticheskikh sistem upravleniya podvizhnymi ob'ektami* (Problems and prospects of automation of ergatic control systems of mobile objects), *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie: Materialy 7-j nauch.-tekhn. konf.*, SPb., OAO Koncern CNII "Ehlektrapribor", 2010, pp. 27–33 (in Russian).
31. **Filimonov A. B., Filimonov N. B.** *O situatsionnoj metodologii sinteza avtomaticheskikh sistem* (About situational methodology of synthesis of automatic systems), 6-ya Vserossiyskaya mul'tikonferentsiya po problemam upravleniya: Materialy 6-j Vseross. mul'tikonf., vol. 2, Rostov-na-Donu, Publishing house of YUFU, 2013, pp. 60–64 (in Russian).
32. **Filimonov A. B., Filimonov N. B.** *Situatsionno-celevoy podhod v zadachah avtomatizatsii ehrgaticheskikh sistem upravleniya podvizhnymi ob'ektami* (Situational-target approach in automation problems of ergatic control systems of mobile objects), *Sovremennyye problemy prikladnoy matematiki, informatiki, avtomatizatsii i upravleniya: Materialy 3-go mezhdunar. Seminara, Sevastopol'*, Publishing house of SevNTU, 2013, pp. 77–83 (in Russian).
33. **Filimonov N. B.** *Sistemy mnogorezhimnogo regulirovaniya: koncepciya, principy postroeniya, problemy sinteza* (Multi-mode control systems: concept, design principles, synthesis problems), *Izv. vuzov. Priborostroenie*, 1988, no. 2, pp. 18–33 (in Russian).
34. **Sheridan T. B., Ferrel U. R.** *Sistemy chelovek–mashina. Modeli obrabotki informacii, upravleniya i prinyatiya reshenij chelovekom-operatorom* (Man–machine systems. Models of information processing, management and decision-making by human operator), Moscow, Mashinostroenie, 1980 (in Russian).
35. **Pavlov V. V.** *Sintez strategij v cheloveko-mashinnykh sistemah* (Synthesis of strategies in human-machine systems), Kiev, Vishcha shkola, 1989 (in Russian).
36. **Adamenko A. N., Asherov A. T., Berdnikov I. L. i dr.** *Informatsionno-upravlyayushchie cheloveko-mashinnye sistemy: Issledovanie, proektirovanie, ispytaniya: Spravochnik* (Information and control man-machine systems: Research, design, testing: Handbook), Moscow, Mashinostroenie, 1993 (in Russian).
37. **Cheloveko-mashinnye sistemy upravleniya (Human-machine control systems), *Mashinostroenie. EHnciklopediya. T. 1-4. Avtomaticheskoe upravlenie. Teoriya. Razdel 8*, Moscow, Mashinostroenie, 2000, pp. 604–641 (in Russian).**
38. **Caregorodcev A. V.** *Sovremennyye tekhnologii upravleniya v cheloveko-mashinnykh sistemah* (Modern control technologies in human-machine systems), Moscow, Radio i svyaz', 2002 (in Russian).
39. **Smolyan G. L., Tobolev K. V.** *Chelovecheskij faktor v sistemah upravleniya* (Human factor in control systems), *Novoe v zhizni, nauke i tekhnike*, iss. 9, Moscow, Znanie, 1974 (in Russian).
40. **Voprosy kibernetiki. Ehffektivnost' deyatelnosti operatora** (Questions of Cybernetics. The working efficiency of the operator), pod red. Yu. M. Zbrodina, A. P. Chernysheva, Moscow, VINITI, 1982, 182 p. (in Russian).
41. **Sil'vestrov M. M., Koziorov L. M., Ponomarenko V. A.** *Avtomatizatsiya upravleniya letatel'nymi apparatami s uchetoм chelovecheskogo faktora* (Automation of aircraft control taking into account the human factor), Moscow, Mashinostroenie, 1986 (in Russian).
42. **Efremov A. V., Oglobin A. V., Predtechenskiy A. N., Rodchenko V. V.** *Letchik kak dinamicheskaya sistema* (Pilot as a dynamic system), Moscow, Mashinostroenie, 1992 (in Russian).
43. **Filimonov A. B., Filimonov N. B.** *Situatsionnaya metodologiya analiza i modelirovaniya ehrgaticheskikh sistem upravleniya* (Situational methodology of analysis and modeling of ergatic control systems), *Vos'maya Vserossiyskaya mul'tikonferentsiya po problemam upravleniya: Materialy 8-j Vseross. mul'tikonf.*, MKPU—2015, vol. 1. Rostov-na-Donu, Publishing house of YUFU, 2015, pp. 155–159 (in Russian).
44. **Krasovskij A. A.** *Osnovy teorii aviatsionnykh trenazherov* (Fundamentals of the theory of flight simulators), Moscow, Mashinostroenie, 1995 (in Russian).