

# Модули организационно-технических систем для решения задач адаптации в быстроменяющейся внешней среде\*

**Цель исследования.** Целью исследования является формирование модулей организационно-технических систем (ОТС) с использованием когнитивного подхода для решения задач адаптации киберфизических систем. В настоящее время, наблюдается стремительное развитие элементов интернета вещей. На передний план выдвигаются новые задачи, связанные с самоорганизацией и адаптацией в быстроменяющейся внешней среде. Данные задачи возникают при появлении новых элементов в телекоммуникационной компьютерной сети, их отказе, смене режима, возникновении новых задач и т.д. Для отработки этих задач рассмотрены возможности подходов к поддержке и принятию решений таких, как ситуационный, когнитивный, семиотический. Более подробно авторами рассматривается когнитивный подход. В рамках когнитивной парадигмы в статье описывается использование когнитивного подхода для решения задач адаптации киберфизических систем. Для решения этой задачи на основе агентно-ориентированного подхода представлена структура киберфизической системы с возможностью адаптации и описаны функции ее агентов. Представлены основные этапы решения задач адаптации киберфизических систем. Предложен алгоритм адаптации с использованием механизма планирования. В демо-примере показана база знаний для решения задачи адаптации киберфизических систем с использованием когнитивного механизма планирования.

**Материалы и методы исследования.** При решении задач адаптации в рамках планирования требуются новые подходы и методы. Когнитивный подход является одним из развивающихся направлений в решении многих задач Интернета вещей. Одной из таких задач является возможность адаптации модулей ОТС в быстроменяющейся внешней среде на основе механизма планирования. Для решения задачи планирования используется алгоритм, описанный Аристотелем более 2350 лет назад и реализованный в программе GPS. Этот алгоритм можно считать первым описанием когнитивного механизма, которым пользую-

ется человек. Для базы знаний использован интегрированный подход к представлению знаний. При разработке модулей ОТС для решения задачи адаптации использовался агентно-ориентированный подход.

**Результаты.** Рассмотрены для формирования решений, при вновь возникающих ситуациях в модулях ОТС, существующие и развивающиеся подходы и методы, для поддержки и принятия решений. Представлены основные положения таких значимых подходов, как ситуационный, когнитивного и семиотический. Предложен когнитивный подход к адаптации интеллектуальных систем. В рамках когнитивной парадигмы рассмотрено решение задачи адаптации киберфизических систем. Показана структура киберфизической системы способной решать задачи адаптации. Описаны функции модулей ОТС на основе агентно-ориентированной технологии. Дано описание алгоритма адаптации с использованием когнитивного механизма планирования. Представлены основные этапы решения задач адаптации киберфизических систем. Показан демо-пример решения задачи адаптации киберфизической системой – роботом-кулинаром.

**Заключение.** Использование модульной архитектуры интеллектуальной системы позволяет решать многие задачи. Одной из таких задач является настройка элементов интернета вещей при их отклонении от выполнения основной функции. Предложенные для параметрической адаптации механизмы планирования могут многократно применяться в модулях ОТС в виде отдельных агентов. Такой подход является актуальным для элементов Интернета вещей. В случае расширения функциональных возможностей модулей ОТС интернета вещей целесообразно применить машинное обучение с фиксацией результатов в базе знаний агентов-планировщиков

**Ключевые слова:** киберфизическкая система, когнитивный подход, интернет вещей, адаптация модулей, планирование для адаптации.

Andrey A. Mikryukov<sup>1</sup>, Vasiliy M. Trembach<sup>2</sup>, Andrey V. Danilov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Moscow Aviation Institute (National Research University), Moscow, Russia

# Modules of Organizational and Technical Systems for Solving Problems of Adaptation in a Rapidly Changing Environment

**Purpose of research.** The aim of the research is to form modules of organizational and technical systems (OTS) using a cognitive approach to solve problems of adaptation of cyberphysical systems. Currently, there is a rapid development of elements of the Internet of things. New tasks related to self-organization and adaptation in a rapidly changing external environment are brought to the fore. These tasks occur when new elements appear in the telecommunications computer network, they fail, change the mode, new tasks occur, etc. To work out these tasks, the possibilities of approaches to support and decision-making such as situational, cognitive, and semiotic are

considered. The authors consider the cognitive approach in more detail. Within the framework of the cognitive paradigm, the article describes the use of the cognitive approach for solving problems of adaptation of cyberphysical systems. To solve this problem on the basis of an agent-based approach, the structure of a cyberphysical system with the possibility of adaptation is presented and the functions of its agents are described. The main stages of solving problems of adaptation of cyberphysical systems are presented. An adaptation algorithm using the planning mechanism is presented. The demo example shows a knowledge base for solving the problem

\*Работа выполнена при поддержке РФФИ, гранты № 18-07-00918; 19-07-01137; 20-07-00926.

of adapting cyberphysical systems using a cognitive planning mechanism.

**Materials and methods of research.** New approaches and methods are required to address adaptation issues in planning. The cognitive approach is one of the developing directions in solving many problems of the Internet of things. One of these tasks is the ability to adapt OTS modules in a rapidly changing external environment based on the planning mechanism. To solve the planning problem, we use the algorithm described by Aristotle more than 2,350 years ago and implemented in the GPS program. This algorithm can be considered the first description of the cognitive mechanism that a person uses. The knowledge base uses an integrated approach to knowledge representation. When developing OTS modules, an agent-based approach was used to solve the problem of adaptation.

**Results.** The existing and developing approaches and methods for decision support and decision-making are considered for decision-making in newly emerging situations in OTS modules. The main provisions of such significant approaches as situational, cognitive and semiotic are presented. A cognitive approach to the adaptation of intelligent systems is proposed. The solution of the problem

of adaptation of cyberphysical systems is considered within the framework of the cognitive paradigm. The structure of a cyberphysical system capable of solving adaptation problems is shown. The functions of OTS modules based on agent-oriented technology are described. A description of the adaptation algorithm using the cognitive planning mechanism is given. The main stages of solving problems of adaptation of cyberphysical systems are presented. A demo example of solving the problem of adaptation by a cyberphysical system—a cooking robot—is shown.

**Conclusion.** Using the modular architecture of an intelligent system allows you to solve many problems. One of these tasks is to configure elements of the Internet of things when they deviate from their main function. The planning mechanisms proposed for parametric adaptation can be repeatedly applied in OTS modules as separate agents. This approach is relevant for elements of the Internet of things. In the case of expanding the functionality of the OTS modules of Internet of things, it is advisable to apply machine learning with fixing the results in the knowledge base of planning agents.

**Keywords:** cyberphysical system, cognitive approach, Internet of things, module adaptation, planning for adaptation.

## Введение

В настоящее время, наблюдается стремительное развитие элементов интернета вещей. Интернет вещей проникает все в новые сферы:

- производство в различных областях;
- создание и развитие бытовых сервисов;
- медицина;
- образование и т.д.

На передний план выдвигаются новые задачи, связанные с самоорганизацией и адаптацией в быстроменяющейся внешней среде. Данные задачи возникают при таких ситуациях как:

- добавление элементов в телекоммуникационную компьютерную сеть;
- выход из строя элемента;
- смена режима взаимодействия с другими элементами;
- возникновение новых задач.

Для формирования решений при вновь возникающих ситуациях в модулях ОТС существуют и развиваются различные подходы: «... ситуационный, когнитивный и семиотический» [1] для поддержки и принятия решений.

Для ситуационного подхода считалось основным то, что для неповторяющихся ситуаций необходимо формирование соответствующих уникальных управляющих воз-

действий. Необходимые решения создавались в ходе системного анализа множества признаков, элементов, описывающих ситуацию. В дальнейшем из системного подхода в ходе его развития появились новые направления в построении и развитии технологий ситуационного управления [2, 3].

При использовании ситуационного управления ситуация определяет состояние объекта управления в некоторый момент времени. Все эти элементы представляются на формальном языке. При выходе ситуации за установленные пределы возникает необходимость в формировании управляющих воздействий для возврата объекта управления в заданные пределы. Идет масштабное развитие и использование знаний экспертов, современных информационных технологий, что дает возможность своевременно принимать управленические решения в различных ситуациях.

Для формирования решений при вновь возникающих ситуациях использовались наработки из разных областей. Так когнитивный подход был использован для анализа сложных политических систем и предложен Р. Аксельродом [4].

Когнитивный подход, является развитием технологий управления и основным отличием его от ситуационного

подхода является замена множества признаков, необходимых для оценивания состояния объекта, множеством анализируемых процессов. В описании процессов используются знания, законы, закономерности функционирования объекта, его взаимодействие с внешним миром [5, 6, 7].

В работе [1] отмечается, что «... знание грубой (даже гипотетической) модели объекта позволит вычислять прогнозы развития начальных ситуаций в различных сценариях варьированием переменных модели. Необходимость перечисления всех состояний или классов состояний в этом случае отпадает». В качестве примера когнитивного подхода в работе [1] представлено использование когнитивных карт.

Современная методология когнитивного моделирования, как инструмент концептуального моделирования, используется в гуманитарных и точных науках.

В работе [8] представлены примеры задач когнитивного моделирования в различных областях — в медицине, бизнесе, образовании, ИТ-технологиях и др.

В работе [9] показана возможность когнитивного подхода при формировании и использовании концептов-представлений, концептов-сценариев.

Концепты-представления [10] могут служить результатом операции обобщения чувственных представлений различных предметов и явлений действительности.

Концепт-сценарий можно представить, как разновидность фрейма. Он содержит последовательность этапов, эпизодов. По Дж. Лакоффу [11] «... сценарию соответствует следующая онтология: начальное состояние, последовательность событий, конечное состояние. Для более сложных задач в онтологию сценария могут включаться люди, вещи, свойства, отношения. Входящие в онтологию элементы часто связываются отношениями определенных типов: причинными отношениями, отношениями тождества и т.д.».

Использование концептов-представлений и концептов-сценариев, в процессе решения интеллектуальных задач целенаправленного поведения объектов в быстроменяющейся внешней среде, позволяет сократить объемы информационных потоков.

В рамках когнитивного подхода рассматривались и применялись различные технологии, модели представления действительности. В этом плане следует отметить новое направление – прикладную семиотику [12, 13, 14].

В рамках семиотической модели действительность представляется и описывается человеком множеством знаков, которые образуют знаковую систему. В этой системе текущее описание объекта является одним из представлений возможных миров действительности. Семиотические модели в таком случае становятся открытыми и способными адаптироваться в условиях быстроменяющейся внешней среды. Адаптация, например, для разрешения возникшей ситуации может выполняться с учетом опыта формирования решений в немарковской модели с обучением [15].

Кроме представленных подходов появляются и используются новые технологии, связанные с адаптацией в рамках когнитивной парадигмы. Они позволяют изменить понимание, запоминание и использование когнитивных технологий при использовании чувственных образов, концептов-представлений, концептов-сценариев [16, 17].

Новым является использование Гештальтов. Под гештальтом в статье понимается цельный образ о ситуации. Для киберфизической системы, ориентированной на решение несложных задач, в описаниях гештальта должны присутствовать такие элементы как имя, цель, опыт, картина внешнего мира, состоящая из признаков (датчиков) внешней локации, внутренний мир (ментальный образ).

В статье рассматривается использование когнитивного подхода для решения задач адаптации киберфизических систем.

### **Структура киберфизической системы с возможностью решения задачи адаптации**

---

Одним из важных элементов интернета вещей является киберфизическкая система, которая представляет собой комплекс вычислительных и физических элементов. Такая система должна постоянно получать данные из реального мира для использования их при формировании управляющих воздействий и их оптимизации в ходе решения задач управления.

В настоящее время при разработке киберфизических систем большое внимание уделяется проблеме адаптации. Для приспособления к вновь возникающим ситуациям, из-за отказа элементов, необходимости смены режима, перехода к решению другой задач и т.д. для информационной системы, на всех этапах жизненного

цикла, могут использоваться подходы нескольких иерархических уровней [18]: уровень на котором используется параметрическая адаптация, уровень использования структурной адаптации, уровень адаптации объекта управления и уровень адаптации целей.

При использовании относительно простых киберфизических систем используется параметрическая адаптация, которая реализуется коррекцией, подстройкой значений параметров системы на текущее состояние.

Для решения этой задачи при использовании агентно-ориентированного подхода [19, 20], должны быть такие агенты как:

- агент для ввода и хранения требуемого состояния – Str;
- агент формирования требуемого состояния (Str) для нового шага планирования;
- агент формирования актуального значения Stek (запроса актуального значения);
- агент для сравнения Str и Stek;
- агент для формирования управляющих воздействий (УпрВ);
- агент с функциями телеметрической системы (ТМС) для восприятия состояния объекта управления (ОУ) и внешней среды;
- агент для реализации УпрВ;
- агент поддержки и использования базы знаний (БЗ);
- объект управления.

Концептуально киберфизическкая система с возможностью адаптации, и использовании агентно-ориентированного подхода, представлена на рис. 1.

Агент для ввода, преобразования и хранения требуемого состояния (Str). В данной структуре киберфизической системы выполняет роль интерфейса для получения Str и перенаправления его агенту, в функции которого входит формирование управляющих воз-

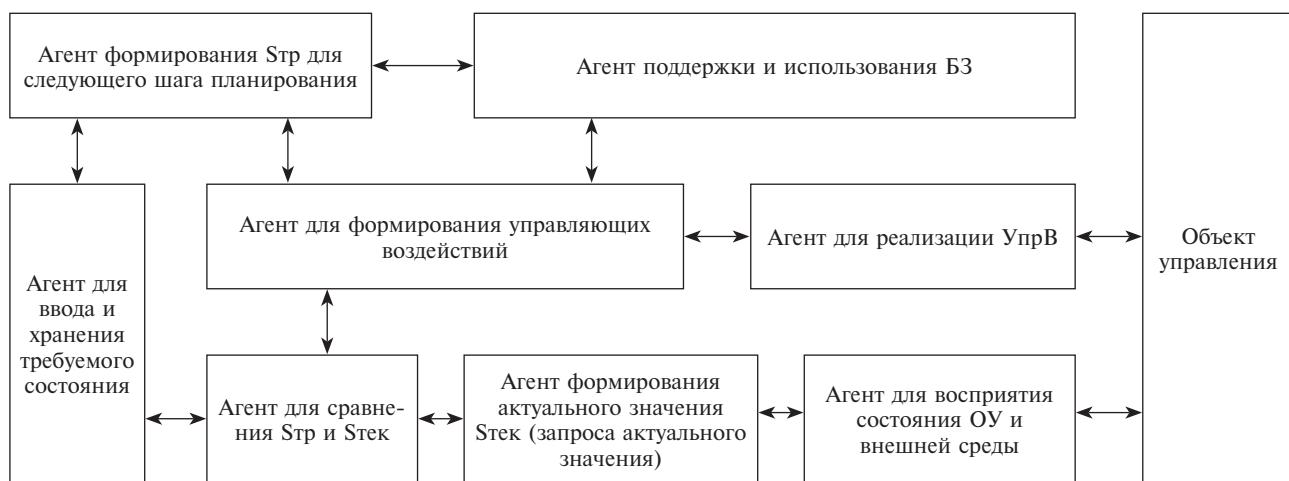


Рис. 1. Киберфизическая система с возможностью адаптации

действий. Источниками описания Stp могут служить:

- пользователи, обслуживающий персонал киберфизических систем, которые имеют возможность передавать описания Stp в голосовом, текстовом и видео-форматах;
- телеметрические системы модулей киберфизических систем;
- агенты других киберфизических систем.

Описания Stp преобразуются агентом к внутреннему формату и готовы к дальнейшему использованию и хранению.

Агент формирования требуемого состояния (Стр) шага планирования. Данное требуемое состояние синтезируется из элементов описания Stp, которое хранится в БЗ, в описаниях УпрВ. Из условий, описывающих возможности выполнения найденных УпрВ синтезируется образ целевого состояния для нового шага планирования – Стр<sub>j</sub> + 1 (где Стр<sub>j</sub> требуемое/целевое состояние j-го шага планирования). Новое целевое состояния для нового шага планирования поступает агенту для ввода, образования и хранения Стр.

Агент формирования актуального значения Stek (запрос актуального значения), в результате анализа описания Stp, формирует запросы текущих значений таких же как в Стр признаков. Актуализиро-

ванные значения признаков Stek поступают к агенту для сравнения Stp и Stek.

Агент для сравнения Stp и Stek и сокращения потока обрабатываемых данных используется для управления последующей обработкой потока данных в киберфизической системе. Этот агент сокращает количество признаков, которые необходимы для дальнейшей обработки путем отбрасывания несущественных признаков.

Агент для формирования управляющих воздействий (УпрВ) осуществляет поиск УпрВ у которых имя параметра и его значение в постусловии ПстУ, не совпадает с соответствующим имени признака и его текущим значением в описании актуализированного текущего состояния Стр. Найденные УпрВ сохраняются для дальнейшей обработки. Используя результаты анализа УпрВ агент формирования требуемого состояния для нового шага планирования синтезирует образ требуемого состояния для нового шага планирования – Стр<sub>j</sub> + 1.

Агент с функциями ТМС для восприятия состояния ОУ и внешней среды (действительности). Осуществляет восприятие действительности, состояния ОУ и внешней среды). Сбор информации происходит от измерительных элементов

(датчиков) и производится по заданному алгоритму или по запросу для актуализации текущего состояния (Stek) одного или нескольких, заранее заданных параметров.

Агент для реализации УпрВ осуществляет хранение полученных от агента для формирования управляющих воздействий, сформированных УпрВ, и их реализацию.

Агент поддержки и использования БЗ обеспечивает запись, хранение и применение знаний для решения вновь возникающих задач управления киберфизической системой.

ОУ является одним из элементов киберфизической системы и служит для осуществления целенаправленного поведения путем выдачи и отработки УпрВ и выдачи в ТМС соответствующих признаков.

### **Основные этапы решения задач адаптации киберфизических систем**

В представленной киберфизической системе множество агентов взаимодействуют в рамках когнитивного подхода путем использования операций планирования [6, 9].

Авторами представлен подход (алгоритм) к планированию решения вновь возникающих задач управления, к которым, в полной мере, мож-

но отнести задачи параметрической адаптации.

Адаптация для киберфизических систем, в основном, может использоваться для поддержания системы в требуемом состоянии или для поддержания требуемого режима функционирования [18], т.е. правильной (безошибочной) отработки алгоритмов (последовательностей команд, управляющих воздействий). Отработка алгоритмов сводится к проверке достижения необходимых состояний. Задачи параметрической адаптации могут быть формально представлены следующим образом.

Пусть киберфизическкая система должна обеспечивать решение Q-й задачи, находясь в одном требуемом состоянии

$SKFC_k$ ,  
где  $k$  – номер требуемого состояния;  $k = 1, \dots, r$ ;  $r$  – максимальное число требуемых для Q-й задачи состояний.

Тогда задача параметрической адаптации может быть поставлена следующим образом:

Спланировать управляющие воздействия для нахождения заданной  $Str$ . Тогда если система работает без отклонений, то адаптация не нужна, а при возникновении отклонений включается механизм планирования для возврата к исходному (исходным) состояниям.

Для описания алгоритма адаптации с использованием механизма планирования используются следующие обозначения:

$SKFC_{ц0}$  – описание состояния которое необходимо поддерживать киберфизической системе (состояние 0-го шага формирования плана);

$SKFC_{цi}$  – описание состояния которое необходимо поддерживать киберфизической системе для i-го шага формирования плана;

$SKFC_{разлi}$  – разница между состоянием, которое необходимо поддерживать и теку-

щим состоянием для i-го шага формирования плана;

$SKFC_{текi}$  – описание текущего состояния киберфизической системы для текущего, i-го шага планирования;

i – номер рассматриваемого шага формирования плана для киберфизической системы;

$TrZnPr$  – требуемые значения признаков КФС.

С использованием введенных сокращений алгоритм планирования решения задачи параметрической адаптации включает следующие шаги:

1. Перед очередным запуском КФС фиксируется описание состояния, которое необходимо поддерживать киберфизической системе (для 0-го шага формирования плана). Это описание передается в переменную  $SKFC_{цi}$ . Устанавливается первый шаг формирования плана:  $j = 1$ .

2. Фиксируется целевое состояние, которое необходимо поддерживать киберфизическай системе, для первого шага создания плана:

$$SKFC_{цj} = SKFC_{ц0}.$$

3. Формируется текущее состояния для j-го шага планирования. По именам параметров из  $SKFC_{цj}$  запрашиваются их текущие значения. Формируется  $SKFC_{текj}$ .

4. Сравниваются  $SKFC_{цj}$  и  $SKFC_{текj}$ . Формируется  $SKFC_{разлj}$  из описаний параметров, текущие значения которых не совпадают с  $TrZnPr$ .

5. При  $SKFC_{сперj} = \text{ОООО}$ , необходимо перейти к шагу 9.

6. Выбор операций, в постусловиях которых есть такие параметры с  $TrZnPr$ , как в  $SKFC_{сперj}$ .

7. С учетом предусловий выбранных операций, формируется образ требуемого состояния для нового шага планирования  $SKFC_{цj+1}$ .

8. Устанавливается новый шаг планирования задачи параметрической адаптации:  $j := j + 1$ . Перейти к п.3.

9. Конец формирования плана решения задачи адаптации.

Предложенный алгоритм решения задачи параметрической адаптации позволяет, в условиях неопределенности ситуаций во внешней среде, формировать управляющие воздействия для перехода на допустимую траекторию функционирования.

### **Демо-пример решения задачи адаптации киберфизических систем**

---

В качестве примера интеллектуальной системы, способной решать задачи адаптации, рассматривается киберфизическкая система робот-кулинар. Основной задачей такой системы является приготовление пищи по заранее заданным рецептам. В составе КФС предполагается наличие БЗ, которая содержит признаки и управляющие воздействия, необходимые для выполнения основной задачи. Кроме того, имеются управляющие воздействия, которые потребуются для решения задач параметрической адаптации при возникновении отклонений от запланированной работы робота-кулинара.

В примере, предполагается, что отклонения могут быть связаны с отсутствием расходных материалов для приготовления пищи. Расход материалов может выявляться по факту и с прогнозом расхода.

Для адаптации по текущим значениям признаков происходит следующее:

– текущие значения признаков, отражающих расход материалов, проверяются при использовании каждого блюда (рецепта приготовления пищи). Данные операции необходимы, чтобы на одном из шагов планирования/реализации использования расходных материалов, исключить факт того, что они закончились или заканчиваются и, как итог, пища, приготавливаемая по данному рецепту, не является готовой к употреблению.

В момент обнаружения отсутствия расходных материалов запускается механизм адаптации киберфизической системы (КФС) к этой ситуации.

В зависимости от текущей деятельности робот-кулинар может сменить расходный материал (например, начинку для пирожков), а может заказать недостающий расходный материал роботу-поставщику.

В демо-примере работа робота-кулинара, приготовление блинов с мясом, может быть разбита на два этапа:

- выпекание блинов,
- начинка блинов мясом.

Для выполнения первого этапа у робота-кулинара имеются следующие компоненты:

Признаки для выпекания блинов:

- яйца есть;
- сахар есть;
- соль есть;
- тесто для блинов готово;
- сковорода разогрета;
- блины обжарены;
- блины готовы – есть блины.

Управляющие воздействия для выпекания блинов:

- приготовить начинку с мясом;
- взбить яйца с сахаром и солью;
- добавление кипятка и растительного масла;
- замешать тесто миксером;
- разогреть сковороду;
- обжарить блин на разогретой сковороде;
- снять блин и сложить на блюдо.

Для выполнения второго этапа нужны:

Признаки для начинки блинов:

- начинка с мясом есть;
- блины с мясом готовы.

Управляющие воздействия для начинки блинов:

- взять блин;
- взять начинку с мясом;
- выложить на блин начинку с мясом и завернуть.

Для иллюстрации процесса адаптации необходимо расширить возможности робота-кулинара. Предполагаем, что

Таблица 1  
Управляющие воздействия

Код управляющего воздействия	Постусловия		Предусловия		Содержание
	Имя параметра	Значение	Имя параметра	Значение	
УпрВ1	П7 Блины готовы	1	П5 П6	1 1	приготовить блины с начинкой
УпрВ2	П5 Блины с мясом	1	П1 П2	1 1	завернуть блин с мясом
УпрВ3	П6 Блины с творогом	1	П1 П3 П4	1 1 1	завернуть блин с творогом

робот может еще приготовить блины с творогом и для этого ему потребуется сменить начинку с мясом на начинку с творогом. Будем рассматривать, для краткости, только процесс начинки блинов и ситуацию, когда начинка с мясом закончилась. Для этого, потребуются новые признаки и управляющие воздействия.

Признаки:

- блины есть;
- начинка с мясом есть;
- начинка с творогом есть;
- начинка с мясом закончилась;
- блины с мясом готовы (есть);

- блины с творогом готовы (есть);
- блины готовы.

Управляющие воздействия:

- приготовить блины с начинкой;
- выложить на блин начинку с мясом и завернуть;
- выложить на блин начинку с творогом и завернуть.

Для описания в БЗ элементов, необходимых для решения задачи адаптации, используется интегрированный подход к представлению знаний [7, 9]. В рамках этого подхода управляющие воздействия представлены в таблице 1.

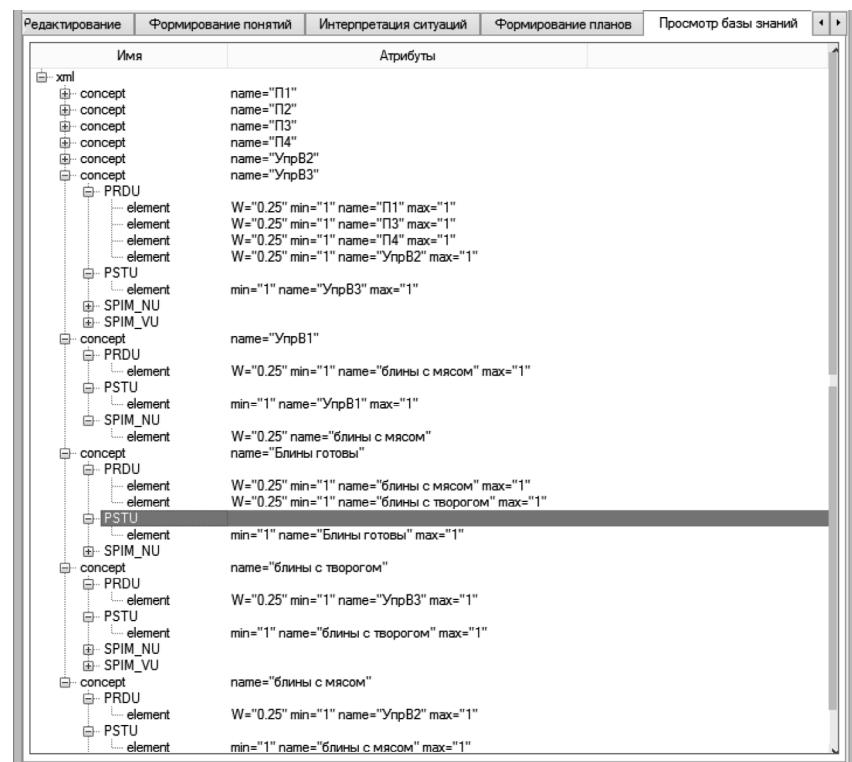


Рис. 2. Фрагмент базы знаний для решения задачи адаптации

Описание проблемной области, в данном случае, будет содержать описание параметров и операций (управляющих воздействий).

Параметры:

П1 – блины есть;

П2 – начинка с мясом есть;

П3 – начинка с творогом есть;

П4 – начинка с мясом закончилась;

П5 – блины с мясом готовы (есть);

П6 – блины с творогом готовы (есть);

П7 – блины готовы.

Фрагмент базы знаний для решения задачи адаптации робота-кулинара в случае израсходования начинки, показан на рис. 2.

При использовании интегрированного метода представления знаний робот-кулинар может выполнять операции для одного из заданных рецептов. В этом

случае в предусловиях управляющего воздействия, например, «завернуть блин с мясом», необходимо указать параметры о наличии блинов (без начинки) и наличии начинки, согласно выбранному рецепту, – для нашего примера – с мясом.

Для возможности решения задач адаптации в предусловии управляющего воздействия «завернуть блин с творогом», необходимо указать параметры о наличии блинов (без начинки), наличии начинки с творогом и о том, что начинка с мясом закончилась.

### Заключение

Использование механизмов планирования для решения задач адаптации позволяет многократно применять сформированные модули в виде отдельных агентов. Работа агентов основана на принципах

параметрической адаптации и это актуально для использования модулей ОТС для интернета вещей. Примером модуля ОТС с адаптацией к внешней среде может служить робот-кулинар. Применение такого подхода дает возможность охватить большое количество ситуаций, требующих адаптации. Это возможно за счет использования базы знаний для планирования выхода из нештатных ситуаций.

При необходимости расширения функциональных возможностей модулей ОТС интернета вещей, проектирования производственных и сервисных процессов предприятия с использованием интеллектуальных технологий целесообразно применить машинное обучение, общение [21, 22, 23] с фиксацией результатов в базе знаний агентов-планировщиков.

### Литература

1. Кулинич А.А. Ситуационный, когнитивный и семиотический подходы к принятию решений в организациях // Открытое образование. 2016. № 6. С. 9–17. DOI: 10.21686/1818-4243-2016-6-9-17.
2. Пospelov D.A. Ситуационное управление: теория и практика. М.: Наука, 1986. 288 с.
3. Клыков Ю.И. Ситуационное управление большими системами. М.: Энергия, 1974. 136 с.
4. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. Princeton: University Press, 1976.
5. Кузнецов О.П. Когнитивная семантика и искусственный интеллект // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 4. С. 32–42.
6. Соловьев А.А., Трембач В.М. Разработка и использование модели когнитивной системы для решения задач целенаправленного поведения // Статистика и Экономика. 2019. № 16(6). С. 77–86. DOI: 10.21686/2500-3925-2019-6-77-86.
7. Соловьев А.А., Трембач Т.Г. Использование когнитивных технологий для формирования моделей управления речевым диалогом // Открытое образование. 2019. № 23(6). С. 13–21. DOI: 10.21686/1818-4243-2019-6-13-21.
8. Papageorgiou E.I. A Review study on Fuzzy Cognitive Maps and their applications during the last decade // Proc. Of IEEE Intern. Conf. of Fuzzy Systems (FUZZ IEEE). (2011, 27–30 June. – Taipei). Taiwan: 2011. С. 828–835.
9. Трембач В.М. Когнитивный подход к созданию интеллектуальных модулей организационно-технических систем // Открытое образование. 2017. № 2. С. 78–87.
10. Трембач В.М. Интеллектуальная система с использованием концептов-представлений для решения задач целенаправленного поведения // Открытое образование. 2018. № 22(1). С. 28–37. DOI: 10.21686/1818-4243-2018-1-28-37.
11. Lakoff J. Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind. Chicago: University of Chicago Press, 1987.
12. Пospelov D.A., Osipov G.S. Прикладная семиотика // Новости искусственного интеллекта. 1999. № 1. С. 9–35.
13. Осипов Г.С. От ситуационного управления к прикладной семиотике // Новости искусственного интеллекта. 2002. № 6. С. 56–59.
14. Бирюков Б.В. Теория смысла Готлоба Фреге. В кн.: Применение логики в науке и технике. М.: АН СССР, 1960. С. 502–555.
15. Еремеев А.П., Тихонов Д.А., Шутова П.В. Поддержка принятия решений в условиях неопределенности на основе немарковской модели // Известия РАН: Теория систем и управления. 2003. № 5. С. 75–88.
16. Гаврилова Т. А., Кудрявцев Д. В., Муромцев Д. И. Инженерия знаний. Модели и методы: Учебник. СПб.: Лань, 2016. 324 с.
17. Рассел Стюарт, Норвиг Питер. Искусственный интеллект: современный под-

- ход, 2-е изд.: Пер. с англ. М.: Вильямс, 2007. 1408 с.
18. Растрогин Л.А. Адаптация сложных систем. Рига: Зинатне, 1981. 375 с.
  19. Тарасов В.Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М.: Эдиториал УРСС, 2002. 352 с.
  20. Городецкий В.И., Скобелев П.О., Бухвалов О.Л. Промышленные применения многоагентных систем: прогнозы и реалии // Труды XVIII Международной конференции «Проблемы управления и моделирования в сложных системах». (Самара, 20–25 сентября 2016 г.). Самара: ОФОРТ, 2016. С. 137–162.
  21. Саттон Р.С., Барто Э.Г. Обучение с подкреплением. Пер. с англ. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. 399 с.
  22. Карпов В.Э., Карпова И.П., Кулинич А.А. Социальные сообщества роботов: эмоции и темперамент роботов; общение роботов; модели контагиозного, подражательного и агрессивного поведения роботов; командное поведение роботов и образование коалиций; пространственная память анимата. М.: УРСС: ЛЕНАНД, 2019. 349 с.
  23. Telnov Y. Enterprise product and service process design with the use of intelligent technologies [Электрон. ресурс] // Selected Papers of the XXI International Conference «Enterprise Engineering and Knowledge Management (EEKM 2019). CEUR Workshop Proceedings (Moscow, Russia, April 24–26). 2019. № 2413 С. 152–160. Режим доступа: <http://ceur-ws.org/Vol-2413/>.

## References

1. Kulinich A.A. Situational, cognitive and semiotic approaches to decision making in organizations. Otkrytoye obrazovaniye = Open education. 2016; 6. S. 9-17. DOI: 10.21686/1818-4243-2016-6-9-17. (In Russ.)
2. Pospelov D.A. Situationsnoye upravleniye: teoriya i praktika = Situational management: theory and practice. Moscow: Nauka; 1986. 288 p. (In Russ.)
3. Klykov Yu.I. Situationsnoye upravleniye bol'shimi sistemami = Situational management of large systems. Moscow: Energiya; 1974. 136 p. (In Russ.)
4. Axelrod R. The Structure of Decision: Cognitive Maps of Political Elites. Princeton: University Press; 1976.
5. Kuznetsov O.P. Cognitive semantics and artificial intelligence. Iskusstvennyy intellekt i prinyatiye resheniy = Artificial intelligence and decision making. 2012; 4: 32-42. (In Russ.)
6. Solodov A.A., Trembach V.M. Development and use of a cognitive system model for solving the tasks of purposeful behavior. Statistika i Ekonomika = Statistics and Economics. 2019; 16(6): 77-86. DOI: 10.21686/2500-3925-2019-6-77-86. (In Russ.)
7. Solodov A.A., Trembach T.G. The use of cognitive technologies for the formation of models of speech dialogue management. Otkrytoye obrazovaniye = Open education. 2019; 23(6): 13-21. DOI: 10.21686/1818-4243-2019-6-13-21. (In Russ.)
8. Papageorgiou E.I. A Review study on Fuzzy Cognitive Maps and their applications during the last decade. Proc. Of IEEE Intern. Conf. of Fuzzy Systems (FUZZ IEEE). (2011, 27-30 June. – Taipei). Taiwan: 2011: 828-835.
9. Trembach V.M. Cognitive approach to the creation of intelligent modules of organizational and technical systems. Otkrytoye obrazovaniye = Open education. 2017; 2: 78-87. (In Russ.)
10. Trembach V.M. Intelligent system using concept representations for solving the tasks of purposeful behavior. Otkrytoye obrazovaniye = Open Education. 2018; 22(1) 28-37. DOI: 10.21686/1818-4243-2018-1-28-37. (In Russ.)
11. Lakoff J. Women, Fire, and Dangerous Things: What Categories Reveal About the Mind. Chicago: University of Chicago Press, 1987.
12. Pospelov D.A., Osipov G.S. Applied semiotics. Novosti iskusstvennogo intellekta = News of artificial intelligence. 1999; 1: 9-35. (In Russ.)
13. Osipov G.S. From situational management to applied semiotics. Novosti iskusstvennogo intellekta = News of artificial intelligence. 2002; 6: 56-59. (In Russ.)
14. Biryukov B.V. Teoriya smysla Gotloba Frege. V kn.: Primeneniye logiki v nauke i tekhnike = Gottlob Frege's theory of meaning. In the book: Application of logic in science and technology. Moscow: AN SSSR; 1960: 502-555. (In Russ.)
15. Yeremeyev A.P., Tikhonov D.A., Shutova P.V. Decision support under uncertainty based on a non-Markov model. Izvestiya RAN: Teoriya sistem i upravleniya = Izvestiya RAN: Theory of systems and management. 2003; 5: 75-88. (In Russ.)
16. Gavrilova T. A., Kudryavtsev D. V., Muromtsev D. I. Inzheneriya znanii. Modeli i metody: Uchebnik = Engineering knowledge. Models and methods: Textbook. Saint Petersburg: Lan; 2016. 324 p. (In Russ.)
17. Rassel Styuart, Norvig Peter. Iskusstvennyy intellekt: sovremennyy podkhod, 2-ye izd.: Per. s angl. = Artificial Intelligence: A Modern Approach, 2nd ed.: Tr. from Eng. Moscow: Williams 2007. 1408 p. (In Russ.)
18. Rastrigin L.A. Adaptatsiya slozhnykh sistem = Adaptation of complex systems. Riga: Zinatne; 1981. 375.
19. Tarasov V.B. Ot mnogoagentnykh sistem k intellektual'nym organizatsiyam: filosofiya,

psikhologiya, informatika = From multi-agent systems to intelligent organizations: philosophy, psychology, informatics. Moscow: Editorial URSS; 2002. 352 p. (In Russ.)

20. Gorodetskiy V.I., Skobelev P.O., Bukhvalov O.L. Industrial applications of multi-agent systems: forecasts and realities. Trudy XVIII Mezhdunarodnoy konferentsii «Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh». (Samara, 20-25 sentyabrya 2016 g.) = Proceedings of the XVIII International Conference «Problems of Control and Modeling in Complex Systems». (Samara, September 20-25, 2016). Samara: OFORT; 2016: 137-162. (In Russ.)

21. Sutton R.S., Barto E.G. Obucheniye s podkreplenyem. Per. s angl. = Reinforcement learning. Tr. from Eng. Moscow: BINOM. Knowledge Laboratory; 2011. 399 p. (In Russ.)

22. Karpov V.E., Karpova I.P., Kulinich A.A. Sotsial'nyye soobshchestva robotov: emotsii i

temperament robotov; obshcheniye robotov; modeli kontagioznogo, podrazhatel'nogo i agressivnogo povedeniya robotov; komandnoye povedeniye robotov i obrazovaniye koalitsiy; prostranstvennaya pamyat' animate = Social communities of robots: emotions and temperament of robots; communication between robots; models of contagious, imitative and aggressive behavior of robots; team behavior of robots and formation of coalitions; spatial memory of the animat. Moscow: URSS: LENAND; 2019. 349 p. (In Russ.)

23. Telnov Y. Enterprise product and service process design with the use of intelligent technologies [Internet]. Selected Papers of the XXI International Conference «Enterprise Engineering and Knowledge Management (EEKM 2019). CEUR Workshop Proceedings (Moscow, Russia, April 24-26). 2019; 2413: 152-160. Available from: <http://ceur-ws.org/Vol-2413/>. (In Russ.)

### **Сведения об авторах**

#### **Андрей Александрович Микрюков**

К.т.н., доцент, доцент кафедры  
Прикладной информатики и информационной  
безопасности  
Российский экономический университет  
им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия  
Эл. почта: mikrukov.aa@rea.ru

#### **Василий Михайлович Трембач**

К.т.н., доцент, доцент кафедры 304  
Московский авиационный институт  
(национальный исследовательский университет)  
«МАИ», Москва, Россия  
Эл. почта: trembach@yandex.ru

#### **Андрей Владимирович Данилов**

Старший преподаватель кафедры  
Прикладной информатики и информационной  
безопасности  
Российский экономический университет  
им. Г.В. Плеханова, Москва, Россия  
Эл. почта: Danilov.AV@rea.ru

### **Information about the authors**

#### **Andrey A. Mikryukov**

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Applied Mathematics, Computer Science and Information Security Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia  
E-mail: mikrukov.aa@rea.ru

#### **Vasiliy M. Trembach**

Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor, Associate Professor of the Department 304 Moscow Aviation Institute, Moscow, Russia  
E-mail: trembach@yandex.ru

#### **Andrey V. Danilov**

Senior Lecturer of the Department of Applied Mathematics, Computer Science and Information Security Plekhanov Russian University of Economics, Moscow, Russia  
E-mail: danilov.av@rea.ru