

БАЛТИЙСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ им. ИММАНУИЛА КАНТА  
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА  
РОССИЙСКАЯ АССОЦИАЦИЯ НЕЧЕТКИХ СИСТЕМ И МЯГКИХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

## ГИБРИДНЫЕ И СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Материалы VI Всероссийской Поспеловской конференции  
с международным участием

27 июня — 1 июля 2022 года  
Зеленоградск, Калининградская область

*Под редакцией д-ра техн. наук, проф. А. В. Колесникова*

Научное электронное издание

Издательство  
Балтийского федерального университета им. Иммануила Канта  
2022

© БФУ им. И. Канта, 2022  
ISBN 978-5-9971-0687-4

**Гибридные и синергетические интеллектуальные системы** : материалы VI Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. В. Колесникова [Электронный ресурс] : научное электронное издание. — Калининград : Издательство БФУ им. И. Канта, 2022. — 398 с.

Публикуются доклады, представленные на VI Всероссийской Поспеловской конференции с международным участием «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы» (ГиСИС-2022), проведенной Балтийским федеральным университетом им. И. Канта при поддержке Российской ассоциации искусственного интеллекта и Российской ассоциации нечетких систем и мягких вычислений в Зеленоградске Калининградской области 27 июня – 1 июля 2022 г.

Издание предназначено для научных работников, аспирантов, магистрантов и студентов.

© БФУ им. И. Канта, 2022  
ISBN 978-5-9971-0687-4

### ***Программный комитет***

Председатель:

*А. В. Колесников*, д-р техн. наук, проф. (Россия, Калининград, БФУ им. И. Канта)

Заместители председателя:

*И. Б. Фоминых*, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва, НИУ «МЭИ»)

*А. П. Еремеев*, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва, НИУ «МЭИ»)

† *В. Б. Тарасов*, канд. техн. наук, доц. (Россия, Москва, МГТУ им. Н. Э. Баумана)

Члены:

*Р. А. Алиев*, д-р техн. наук, проф. (Азербайджан, Баку, АЗГНА)

*И. Б. Арефьев*, д-р техн. наук, проф. (Польша, Щецин, Морская Академия)

*И. З. Батыршин*, д-р физ.-мат. наук, проф. (Мексика, Мехико, IPN)

*А. В. Гаврилов*, канд. техн. наук, доц. (Россия, Новосибирск, НГТУ)

*В. В. Голенков*, д-р техн. наук, проф. (Беларусь, Минск, БГУИР)

*В. И. Городецкий*, д-р техн. наук, ведущ. науч. сотр. (Россия, Санкт-Петербург, АО «ЭВРИКА»)

*Б. А. Кобринский*, д-р мед. наук, проф. (Россия, Москва, ФИЦ ИУ РАН)

*С. М. Ковалев*, д-р техн. наук, проф. (Россия, Ростов-на-Дону, РГУПС)

*В. М. Курейчик*, д-р техн. наук, проф. (Россия, Таганрог, ТТИ ЮФУ)

*А. В. Павлов*, д-р физ.-мат. наук, доц. (Россия, Санкт-Петербург, НИУ ИТМО)

*Г. В. Рыбина*, д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва, НИЯУ МИФИ)

*П. В. Сараев*, д-р техн. наук, доц. (Россия, Липецк, ЛГТУ)

*Н. Г. Ярушкина*, д-р техн. наук, проф. (Россия, Ульяновск, УЛГТУ)

### ***Организационный комитет***

Председатель:

*А. В. Юров*, д-р физ.-мат. наук, проф. (Россия, Калининград, БФУ им. И. Канта)

Заместители председателя:

*С. Б. Румовская*, канд. техн. наук, науч. сотр. (Россия, Калининград, КФ ФИЦ ИУ РАН)

*А. А. Шпилевой*, канд. физ.-мат. наук, доц. (Россия, Калининград, БФУ им. И. Канта)

Члены организационного комитета:

*А. В. Барзенков*, ассист. (Россия, Калининград, БФУ им. И. Канта)

*Р. А. Вохмин*, студ. (Россия, Калининград, БФУ им. И. Канта)

*М. Д. Геер*, студ. (Россия, Калининград, БФУ им. И. Канта)

*Ч. М. Зарипов*, студ. (Россия, Калининград, БФУ им. И. Канта)



**Дмитрий Александрович Поспелов** (19 декабря 1932 г. — 30 октября 2019 г.) — специалист в области искусственного интеллекта (ИИ), доктор технических наук, профессор. Окончил в 1956 г. механико-математический факультет Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. С 1956 по 1968 г. работал в Московском энергетическом институте, где помимо преподавательской деятельности активно занимался научными исследованиями в области теории вычислительных систем, многозначных логик, теории автоматов и теории игр.

С 1968 по 1998 г. трудился в Вычислительном центре АН СССР (ныне ВЦ РАН).

С 1968 г. главной областью его научной деятельности становится ИИ: моделирование поведения человека, формализация рассуждений, общие проблемы моделирования жизненных процессов в естественных и искусственных системах.

В частности, Д. А. Поспелов впервые в мире разработал подход к принятию решений, опирающийся на семиотические (логико-лингвистические) модели, который послужил теоретической основой ситуационного управления большими системами. Им создана теория «наивных» псевдофизических логик, моделирующих рассуждения «здравого смысла» о времени, пространстве, действиях, каузальных цепочках и т. д., которая обеспечивает реализацию в интеллектуальных системах рассуждений о закономерностях физического мира и действиях в нем. Д. А. Поспелов предложил формальную модель поступков, описывающую нормативное поведение, что позволяет роботам и другим системам ИИ принимать целесообразные с точки зрения норм решения.

Важнейшим достижением Д. А. Поспелова стало создание междисциплинарной, открытой научной среды, связанной с интенсивным формированием и свободным обменом идеями в процессе взаимодействия между различными научными, учебными, производственными, бизнес-структурами. В мае 1989 г. именно Дмитрий Александрович стал главным инициатором объединения ученых и специалистов по искусственному интеллекту в официальное сообщество, названное Ассоциацией искусственного интеллекта. На учредительном съезде в городе Коломне он был избран первым президентом Ассоциации и многие годы руководил ее деятельностью.

**СВЕТЛОЙ ПАМЯТИ ОСНОВАТЕЛЯ КОНФЕРЕНЦИИ  
«ГИБРИДНЫЕ И СИНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ»  
ВАЛЕРИЯ БОРИСОВИЧА ТАРАСОВА  
ПОСВЯЩАЕТСЯ**

Прошел почти год как Калининградское региональное отделение Российской ассоциации искусственного интеллекта (РАИИ) получило печальное известие: «22 июля 2021 г. ушел из жизни Валерий Борисович Тарасов — кандидат технических наук, доцент кафедры компьютерных систем автоматизации производства Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана, член Научного совета РАИИ, лауреат Премии РАИИ 2002 г. за монографию “От многоагентных систем к интеллектуальным организациям”».

*Валерий Борисович Тарасов (16 февраля 1955 г. — 22 июля 2021 г.) — кандидат технических наук, доцент. Окончил в 1978 г. Московское высшее техническое училище им. Н. Э. Баумана. С 1956 по 2021 г. работал в Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана. Один из ведущих отечественных специалистов в области искусственного интеллекта с энциклопедическими знаниями, широкой и глубокой эрудицией. Им получены фундаментальные результаты в области системного подхода в искусственном интеллекте, синергетического искусственного интеллекта, когнитивной семиотики, теории агентов и многоагентных систем, теории нечетких множеств, мягких вычислений и измерений.*



Валерий Борисович Тарасов — основатель конференции ГИСИС, «родившейся» в январе 2012 г. в Москве на Таганке. Именно он во время нашей встречи произнес сакральную фразу: «А почему бы нам с этого года не начать проводить в Калининграде симпозиум по гибридным и синергетическим интеллектуальным системам?». В феврале В.Б. Тарасов уже представлял организаторов первого Международного симпозиума «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика», получившего одобрение и поддержку Научного совета РАИИ.

Валерий Борисович был бессменным заместителем председателя программного комитета, выступал с интересными и фундаментальными пленар-

ными докладами, приглашал приехать в Калининград российских и зарубежных ученых. Его участие и помощь в организации работы калининградского ГИСИСа заслуживают самой высокой оценки.

Валерий Борисович оставил нам и молодым, начинающим ученым огромное наследие. Список его основных работ по общим проблемам искусственного интеллекта включает 16 публикаций, по теории агентов, многоагентным системам и интеллектуальным организациям — 15, моделированию не-факторов, неклассическим логикам и алгебрам, нечетким системам и моделям, мягким вычислениям — 17, прикладным интеллектуальным системам — 14, сетевым и виртуальным предприятиям — 30, психологическим и эргономическим проблемам ИИ — 10, виртуальным кафедрам и университетам — 12.

Помимо блестящего ученого и организатора Валерий Борисович был веселым, доброжелательным человеком, готовым помочь в сложных ситуациях. Мы чувствовали с его стороны понимание и поддержку, а когда в искусственном интеллекте происходило чересчур много непонятного, получали от него подробные, многостраничные письменные разъяснения. Это помогало продолжать жить и работать.

Светлая память о нашем коллеге, большом друге Калининградского регионального отделения РАИИ, великолепном ученом-эрудите, общительном, веселом и доброжелательном человеке навсегда останется в наших сердцах.

*По поручению Программного и Организационного  
комитетов Всероссийской Поспеловской  
конференции с международным участием  
«Гибридные и синергетические интеллектуальные системы»,  
д-р техн. наук, профессор А. В. Колесников*

## ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1978 г. в издательстве «Мир» вышла книга Р. Шеннона «Имитационное моделирование систем — искусство и наука». С тех пор прошло более 40 лет, а она не «сходит» с рабочего стола, взятая за основу курса «Моделирование процессов и систем» для студентов калининградских вузов. Сегодня, перед написанием предисловия, в сознании возник вопрос: «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы — искусство или наука?» К чему эта ассоциация? Не знаю. Но именно с ответа на этот вопрос решено начать.

Прочитую статью Д. Р. Басыровой «Наука и искусство: основания интеграции», опубликованную в журнале «Наука о человеке: гуманистические исследования» в 2010 г.:

«...неоспоримый факт соперничества: наука и искусство могут не только влиять друг на друга, но и соперничать в некоторых открытиях, причем в области постижения как природы, так и человеческой души».

«Искусство — грандиозный мир, микрокосмос, полноценный и завершённый. Научное исследование не завершается, оно свершается, занимая свое место в цепи предшествующих и последующих научных теорий».

«Искусство вечно. Оно веками накапливает культурные и художественные ценности, и из поколения в поколение отдельные произведения будоражат сердца и умы людей. А наука — это длинная дорога развития человечества, и отдельный ученый, вкуче с его открытиями, — всего лишь ее отрезок».

«В прошлых столетиях искусство еще могло подбрасывать науке пищу для размышления, для новых открытий, но сегодня наука ушла слишком далеко, и ветки лабиринтов науки сужаются настолько, что искусству с его высоты совсем не разглядеть глубины, в которой прокладывает свой путь наука».

«Научные произведения, открытия, теории, гипотезы рано или поздно уйдут в историю и будут иметь второстепенное значение лишь как исторический факт, методический опыт. Совершенное произведение искусства всегда остается вершиной, неповторимым событием».

«При всех различиях в методологических подходах и традициях научно-понятийного и образно-художественного способов познания человеком мира существует единое онтогносеологическое основание их интеграции, корнящееся в целостности самого человека и мира. Ведь человек не только существо рациональное, расшифровывающее бытие вещей в понятийных и категориальных структурах, выносящее себя во имя пресловутой объективности «за скобки» самого мира, фиксируя его как факт, но и существо эмоционально-чувствующее, переживающее со-бытийность мира не как принудительно-

объективный, внешний факт, но как непосредственно проживаемый акт, образно-выразимый, энергично-наполненный человеческой субъективностью. Возможно, на стыке понятийного и образного видения человеком мира родится целостная картина мироздания, собранная, как мозаика, с помощью различных методологических инструментариев, укорененных в онтологии самого человека».

От имени программного комитета желаю участникам конференции плодотворного обмена мнениями, новых и интересных результатов.

*А. В. Колесников,  
председатель программного комитета,  
д-р техн. наук, проф.,  
проф. научно-образовательного кластера  
«Институт высоких технологий»  
БФУ им. И. Канта*

## ПЛЕНАРНЫЕ ДОКЛАДЫ

---

**С. Б. Румовская<sup>1</sup>, А. В. Колесников<sup>2</sup>, А. А. Литвин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Калининградский филиал ФИЦ ИУ РАН, Калининград, Россия

<sup>2</sup> БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия

<sup>3</sup> Областная клиническая больница Калининградской области; БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> sophiyabr@gmail.com, <sup>2</sup> avkolesnikov@yandex.ru, <sup>3</sup> aalitvin@gmail.com

### **КОМПЬЮТЕРНАЯ ПЕРСОНАЛИЗИРОВАННАЯ ДИАГНОСТИКА. ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ**

#### **Введение**

Увеличивающиеся объем и разнообразие диагностической информации усложняют процессы мыслительной деятельности врачей и снижают эффективность мер здоровьесбережения ввиду низкого уровня поддержки персонализированной медицины информационными технологиями, в частности системами искусственного интеллекта. При этом в России смертность от основных неинфекционных заболеваний составляет 68,5% от общей смертности населения [1] (в том числе от заболеваний поджелудочной железы, ее дисфункций и патологий). Превентивная диагностика, профилактика и персонализированная медицина [2] могут привести к снижению данного показателя, что указывает на актуальность исследования проблематики персонализированной оценки функций диагностируемых биологических систем (БС) и риска развития их дефектов, а также разработки функциональных гибридных интеллектуальных систем (ГиИС) персонализированной диагностики и прогнозирования состояния сложных динамических объектов (органов и систем организма человека), интегрирующих разнородные знания о процессе диагностики, а также комбинирующих знания традиционной логики и новые эвристики динамического моделирования биологических систем. Последнее позволит выявить причину накопленных дефектов и прогнозировать будущие состояния объекта диагностики. Таким образом, такие системы будут релевантны гетерогенности диагностических проблем (ДП) и процесса диагностики, обусловленной полиморбидностью [3—5] ДП (наличие нескольких заболеваний одновременно), изменяющей и усложняющей классическую клиническую картину; разнообразием обрабатываемой симптоматической информации и, соответственно, разнообразием направлений медицинских исследований состояния здоровья пациента.

Рассмотрена проблематика персонализированной диагностики и прогнозирования риска развития заболеваний, представлен краткий анализ состояния исследований относительно разработки методов и моделей с целью по-

вышения качества решения проблем в условиях неоднородности и неопределенности информации, а также обоснована актуальность и перспективы предлагаемого исследования.

### 1. Системный подход к организму. Персонализированная медицина

...Врачевание не состоит ни в лечении болезни, ни в лечении причин... Врачевание состоит в лечении самого больного...

*М. Я. Мудров [6, с. 86]*

Развитие идей единства и целостности организма начиная с рубежа XVIII—XIX вв. (рассмотрены, например, в работе Л. Г. Соловей [6], опубликованной в 1965 г.) просматривается в работах патологов и клиницистов.

М. Я. Мудров (1820) высказал положение о целостности организма, о единстве психики и соматики, о роли и значении детального расспроса в распознавании болезней (европейские клиницисты в то время преимущественно опускали опрос больного при диагностике).

И. А. Костомаров (1829) в числе других основал функциональную патологию.

В. В. Пашутин (1870-е гг.) поддерживал идеи целостности организма в патологической анатомии.

Н. Е. Дядьковский (1920—1930-е гг.), изучая сущность патологических процессов, выдвинул «закон сочувствия» и подробно рассмотрел, как заболевание одного органа влияет на состояние всего организма.

Ф. С. Цыцурин (1844) отрицал локативность болезни: местное — всегда отражение общего.

Н. П. Огарев, В. Г. Белинский, Н. Г. Чернышевский, К. Ф. Рулье, казанский профессор анатомии Е. Ф. Аристов, физиолог И. Т. Глебов, терапевт К. В. Лебедев, И. М. Сеченов, В. П. Боткин, И. П. Павлов, физиолог Х. С. Коштыянец и другие неоднократно высказывали идеи о единстве органов в организме и о единстве человека и внешней среды, обосновывая учение о материалистическом психофизическом единстве организма.

Л. В. Попов и М. М. Волков (ученики В. П. Боткина) пытались изменить номенклатуру заболевания, не отражавшую функциональное состояние органов.

Советские медики исходили как из идеи целостности организма, так и из единства организма с той средой, в которой организм развивается, и влияния этой среды на его функции: М. П. Кончаловский ввел понятие о синдромах, Р. А. Лурия развивал функциональную патологию, а Г. Ф. Ланг — неврогенную теорию гипертонической болезни, Н. Д. Стражеско — монистический взгляд на ревматизм, эндокардит и сепсис, утверждая, что все клинические формы эндокардита — проявление гиперергической реакции организма, Н. Д. Стражеско и В. Х. Василенко классифицируют заболевания сердца и нарушения кровообращения как ряд этапов в зависимости от степени развития обмена веществ в тканях и другие.

В 1962 г. профессор И. В. Давыдовский в своей книге «Проблемы причинности в медицине» сказал о науке XVI—XVII вв.: «Механистический детерминизм видел перед собой лишь плоскую, однозначную и непосредственную зависимость явлений, сумму предметов, причин, условий, но не видел целостной взаимозависимой системы факторов, отражающих какую-то принципиальную закономерность» [7, с. 2].

Это высказывание соответствует оценке соотношения математики и реальности, рассмотренной, например, В. Я. Перминовым [8]. Математика — это аддитивная наука, столкнувшаяся с барьером эмерджентности в биологии, медицине, социологии и других системных и гуманитарных науках. Хорошо согласовываясь с механикой и с другими физическими науками, где выполняется принцип аддитивности (свойство величин, состоящее в том, что значение величины, соответствующее целому объекту, равно сумме значений величин, соответствующих его частям), математика входит в неустранимое противоречие с реальным синтезом, протекающим в объекте исследования большой сложности. Математический метод перспективен при описании неживой материи, то есть в тех сферах реальности, в которых преобладает аддитивный синтез систем, но он не может быть преобладающим в сферах реальности, основанных на системности и целевых воззрениях на мир. Как полагает автор, есть все основания утверждать, что сложные явления природы, связанные с системностью и неаддитивностью, никогда не будут объясняться в теориях, подобных теориям математической физики. Математическая реальность должна быть понята как специфический организм, приспособляющийся к своей естественной среде — системе содержательных понятий.

Таким образом, в медицине и биологии математика может применяться фрагментарно при построении моделей для некоторых частных объектов и ситуаций, например как у В. Вольтера при разработке математической модели борьбы за существование начала XX в. [9]: он не пытался сформулировать на математическом языке принципы эволюционной теории, а ограничился ситуацией сосуществования хищника и жертвы в замкнутом биоценозе. Такая неклассическая математизация легла в основу развития теории биологических систем (ТБС) и не дает полностью математизированных теорий, не указывает для содержательной теории родственной ей математической теории, подобно тому, как механика указывала на дифференциальные уравнения как на свою основу.

Параллельно с этими воззрениями со второй половины XIX в. в разные области конкретно-научного знания начинает проникать понятие «система», чему поспособствовало создание эволюционной теории Ч. Дарвина, теории относительности, квантовой физики, структурной лингвистики и др. Теория биологических систем зародилась в рамках *общей теории систем* (ТС). Важный вклад в становление системных представлений внес в начале XX в. А. А. Богданов, предложивший всеобщую организационную науку — тектологию. В конце 1940-х гг. Л. фон Берталанфи предложил программу построения «общей теории систем» как одну из первых попыток обобщенного анализа системной проблематики. Обзор выдвигавшихся в XX в. общесистемных

концепций представлен в [10]. Наиболее конструктивным из направлений системных исследований [11] считается системный анализ (СА), занимающийся применением методов и моделей теории систем для практических ее приложений [12]. В 1950—1970-х гг. разработаны такие методы, как «мозговая атака» (А. Осборн); «дерево целей» (Ч. Чермен и Р. Акофф); «прогнозный граф» (В. И. Глушков); метод морфологического анализа (Ф. Цвикки); метод сценариев (Г. Кан); методы экспертных оценок и сложных экспертиз, а также методы формализованного представления систем. Современная наука о сложных системах развивается в трех направлениях [13]: создание концептуальных и методологических основ (школа Б. Е. Большакова, Дж. Клир и др.); формирование и формализация новых задач (Л. В. Александров, С. Янг и др.); разработка методов и аппарата решения (Дж. Ван Гиг, Б. В. Гладких и др.). В области ТС и СА ведутся работы в следующих организациях: Институт системного анализа ФИЦ ИУ РАН — общепризнанный лидер (исследования сложных технических, экологических и социально-экономических объектов и процессов, информационное и математическое моделирование экономических процессов; создание новых интеллектуальных технологий и СППР; управление здоровьем населения и др.) [14]; Южный федеральный университет (когнитивный подход) [15]; State University of New York at Binghamton (системология) [16] и другие.

Преимущества современных ТС и СА: 1) применяются для решения проблем, которые не могут быть поставлены и решены отдельными методами математики; 2) система выступает изоморфным принципом, несмотря на изучение качественно разных классов явлений: машины, организмы, общество; 3) системный анализ синтезирует логический, индуктивный и дедуктивный способы мышления с привлечением интуитивных подходов (вдохновение, образные типы мышления и др.). Проблематика состоит в недостаточном учете динамических аспектов и процессов развития реальных систем, в отсутствии содержательной системной теории целостного объекта и в приближенном описании причинно-следственных связей и собственно системных отношений в реальных сложных системах.

*Объект теории биологических систем* — системы с более сложным строением, чем в неживой природе. В XX в. развиты широкие направления математических методов, углубляющих теорию Дарвина. Это, во-первых, изучение соотношений видов, конкурирующих или относящихся друг к другу как хищник и жертва, в работах В. Вольтера [9], А. Н. Колмогорова [17]. Во-вторых, еще более обширные исследования по генетической теории эволюции математика Р. Фишера [18]. В 1920—1940-х гг. физиологами Н. А. Беловым [19] и М. М. Завадовским [20] точно сформулирован принцип взаимодействия органов в организме, позже обобщенный в кибернетике в 1960-х гг. как «отрицательная обратная связь». Затем А. А. Малиновский [21] показал, что в дифференциации и регуляции некоторых физиологических процессов основную роль играют положительные обратные связи. В 1930-х гг. академик А. А. Заварзин [22] обнаружил, что в ходе эволюции различные ткани (эпителиальная, нервная и т. д.) на поздних стадиях эволюции распадаются на от-

дельные ткани с меньшим количеством функций. В 1950-х гг. Н. Винер [23] сделал две попытки решить биологические (медицинские) вопросы: о причинах возникновения шизофрении и о расстройствах движений при некоторых заболеваниях нервной системы. Первая попытка была неудачной [24]. В 1960—1970-х гг. были созданы первые математические модели сердечного ритма и распространения нервного импульса, а также исследовались идеи уровне-иерархической организации биологических систем [25; 26] и соотношение биологических управляющих систем разного уровня (принцип А.А. Ляпунова) [27].

Значительная активизация исследований по применению математического моделирования в различных медицинских системах произошла в последнем десятилетии XX в. и в начале XXI в.: российскими учеными разработаны и применены в медицинской практике математические модели адаптации организма и патологических процессов [28; 29]; построены оптимизационная модель выбора начального плана лечения желтухи и классификационно-диагностические модели дооперационной диагностики хирургических заболеваний, осложненных желтухой [30; 31], а также математическая модель ишемической болезни сердца [32], модели для организации медицинской помощи [33; 34] и модели интегрального показателя оценки здоровья населения [35—37]. При этом математическим методам всегда предшествуют системные подходы [38] при изучении систем в биологии и решении задач в медицине.

Несмотря на большие достижения в общей ТС и ТБС, все до сих пор работают лишь над отдельными ее элементами [39]. С 1990-х гг. параллельно с развитием математического моделирования в биологии и медицине началась эра геномики и появились такие математические модели, как, например, полногеномные данные для изучения канцерогенеза, прогнозирования и разработки новых методов лечения раковых заболеваний [40]. В области ТБС и моделирования биологических систем ведутся работы в Первом МГМУ им. И.М. Сеченова (системный подход и системный анализ в медицине и биологии) [41; 42]; Федеральном исследовательском центре «Информатика и управление» РАН (исследуется динамика популяций, анализ ЭКГ, лингвистический анализ для решения проблем медицины и другие) [43—45]; Universidade de Vigo, Spain (динамическое моделирование биологических систем) [46] и другие.

Преимущества современных разработок в рамках ТБС и математических моделей в биологии и медицине: на клеточном уровне и на уровне популяций с помощью ТБС и математического моделирования решаются сложные проблемы в области эволюции, строения и развития организма, психологии, взаимодействия социальных и биологических систем, анализа заболеваний, здравоохранения. Основные проблемы — это: 1) установление соответствия между типом систем и характером их функций и развития; 2) проблема возникновения новых свойств системы, отсутствующих у составляющих ее элементов; 3) применение для моделирования только одного аппарата, например обыкновенных дифференциальных уравнений.

Несмотря на очевидность целостности организма и важности интеграции медицинской помощи (МП), в 1960—1970-е гг. началась фрагментация здравоохранения [47] ввиду специализации МП и потребности в освоении новых медицинских технологий. Число врачебных специальностей быстро выросло в несколько раз, а узкие специалисты зачастую видели в пациенте только заболевание того или иного органа.

Международная классификация болезней [48] базируется на структурном анализе, поэтому врачи мыслят, преимущественно отталкиваясь от понятий воспаления, гипо- и гипертрофии, опухоли и т. д., а в их рассуждениях преобладает анатомо-морфологический анализ. Однако перечисленное относится к дефектам — патологическим состояниям или следствиям заболеваний, в то время как заболевания — сочетание одного или нескольких патологических процессов. В связи с этим актуален переход к системным и функциональным категориям при исследовании объекта диагностики — БС, к рассмотрению всех уровней иерархии БС (рис. 1) [49—54] и в том числе выделению горизонтальных связей, что приводит к исследованию подсистем организма как смешанных иерархических структур с последующим их анализом. Это позволит определить, на каком уровне иерархии системы (подсистемы) организма возникла проблема и где началось накопление биофизических дефектов.

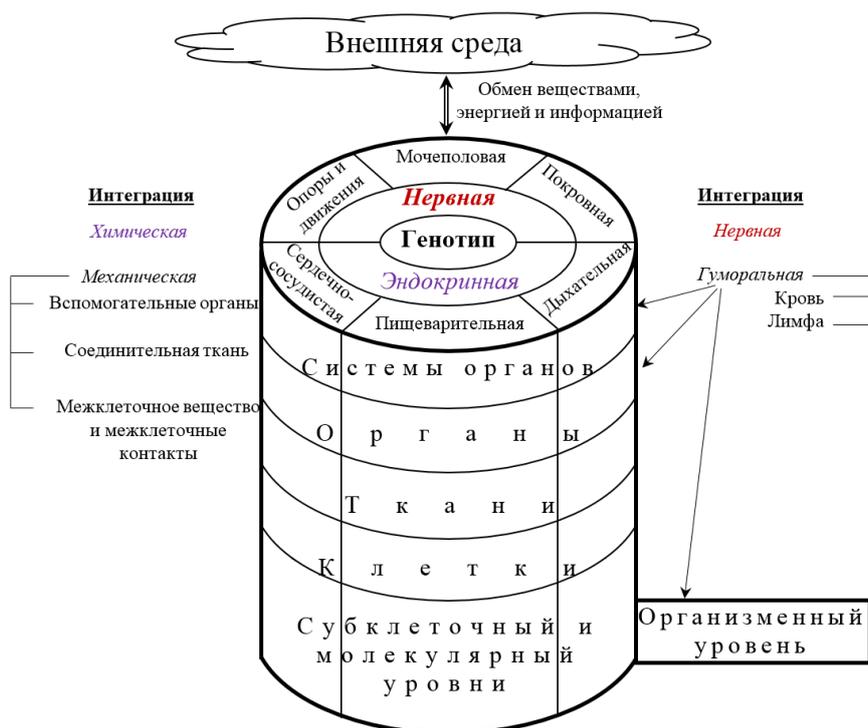


Рис. 1. Организм как сложная открытая целостная биологическая система (по аналогии со «слоеным пирогом» — в терминологии Ю. Одум [55])

Организм человека [49—54] — это сложная открытая целостная биологическая система: сложная, состоящая из множества разнородных элементов (органов, клеток, тканей, органоидов и молекул); открытая, существующая только благодаря непрерывному взаимодействию с окружающей средой (нет обмена — это смерть); биологическая, живая; система, состоящая из взаимосвязанных между собой элементов. В основе развития организма лежит генотип — совокупность наследственных признаков и свойств.

Система органов [49, с. 36] — это интеграция различных органов, объединенных выполнением общих функций. Различают следующие системы органов: опоры и движения, пищеварительную, дыхательную, сердечно-сосудистую, мочеполовую (мужскую, женскую), эндокринную, нервную, соматосенсорную (покровную). Основные системы органов могут включать подсистемы. Например, составными частями сердечно-сосудистой системы являются сердце, артериальная, венозная, лимфатическая и микроциркуляторная системы.

Органы, входящие даже в одну систему, существенно различаются по своему строению. Единство и целостность системы органов определяются прежде всего общей направленностью физиологических процессов и функциональным объединением.

Человеческому организму как живой БС присущи обмен веществ, раздражимость, способность к росту, размножению, подвижность, поддержание постоянства внутренней среды (гомеостаз), пластичность и целостность. Появление данных свойств возможно в результате интеграции структур на всех уровнях организации человеческого организма. Различают четыре вида интеграции: механическую, гуморальную, химическую и нервную.

В качестве механических интеграторов на тканевом уровне выступают межклеточные вещество и контакты; на органном уровне — соединительная ткань; на системном — вспомогательные органы. Гуморальные интеграторы — это кровь и лимфа. Они выполняют интегративную роль на органном, системноорганном и организменном уровнях. Химическая интеграция — это эндокринная регуляция, которая осуществляется гормонами, выделяемыми железами внутренней секреции. Гормоны оказывают свое интегративное действие на всех уровнях: клеточном, тканевом, органном, системноорганном и организменном.

Высший уровень интеграции — нервная интеграция. Нервная система обеспечивает координацию и регуляцию деятельности отдельных органов и систем организма и его приспособление к постоянно изменяющимся условиям внешней среды.

Таким образом, организм человека — это сложная целостная биологическая система, обладающая способностью к саморазвитию, самовоспроизведению, саморегуляции и отличающаяся высокой пластичностью, подвижностью и устойчивостью.

Один из приоритетов стратегического развития Российской Федерации до 2030 г. в «Стратегии научно-технологического развития РФ» [57] — переход

к персонализированному здравоохранению. В 2021 г. под руководством академика РАН, профессора Е. В. Шляхто НЦМУ «Центр персонализированной медицины» учредил «Российский журнал персонализированной медицины».

Общая схема структуры персонализированной медицины (ПМ), спроецированная на стадии болезни и представленная на рисунке 2, — результат анализа работ по проблемам, составу, принципам и методам персонализированной медицины [2, с. 57—68].



Рис. 2. Общая схема структуры персонализированной медицины, традиционная медицина и их место в течении болезни

ПМ (рис. 2) охватывает все стадии болезни, начиная с латентной, в то время как возможности традиционной медицины распространяются только на стадию выраженных клинических проявлений с получением того или иного исхода.

ПМ базируется на принципах совместной работы различных медицинских служб и обмене информацией, координации (участковыми, врачами общей практики) и преемственности наблюдения пациентов различными врачами, то есть каждый этап работы с пациентом должен увязываться с предыдущим

и последующим этапами. Обмен информацией позволяет интегрировать все этапы исследований, синхронизировать диагностику, назначение лечения и взаимодействие между различными специалистами. Причем под совместной работой междисциплинарных медицинских служб подразумеваются коллективные формы оказания первичной помощи — с привлечением узких специалистов и тесной кооперацией с больничными службами. Обязательный элемент — общие клинические рекомендации, регламентирующие работу всех медицинских служб и протоколы движения пациентов в их системе. Здесь, как и во всей сфере ПМ, имеет место низкий уровень поддержки взаимодействия специалистов, их групп, различных медицинских служб информационными технологиями, в том числе персонализированными, а также системами искусственного интеллекта, в идеале с прозрачной логикой получения рекомендаций относительно решения различных проблем, возникающих при диагностике, лечении и мониторинге состояния пациента.

Фармакогенетика, геномика и протеомика (ФГП) развиваются в интересах выработки новых знаний о заболеваниях, реакциях на лекарства и т. д., но остаются по-прежнему дорогостоящими. Фармакогенетика [60] изучает роль наследственных факторов в формировании индивидуального ответа на лекарственные средства, геномика — целостные геномы живых организмов, а протеомика — белки и их взаимодействие в живых организмах (связь между изменениями протеинов и болезненными состояниями) [61]. Следствие развития ФГП и генетического скрининга — персонализированная фармакология, токсикологические предсказания и выявление устойчивости к лекарствам.

Таким образом, переход к персонализированной медицине позволит выявлять индивидуальную предрасположенность к болезням, подбирать персонализированную профилактику, получать точный диагноз при развитии патологического процесса и разумно назначать терапию не на основе личного опыта врача, переходя от одного лечения к другому, а на базе осознанного диагноза с учетом индивидуальных особенностей и реакций на лекарственные препараты. Персонализированная медицина — это интегральная медицина, включающая разработку персонализированных средств лечения, тестирование на предрасположенность к болезням, персонализированную профилактику, а также объединение диагностики с лечением и мониторингом лечения [67]. В рамках будущего исследования предполагается охватить вторую часть данного определения ПМ — возможность профилактики с помощью прогнозирования будущих состояний объекта диагностики, а также объединение диагностики с мониторингом лечения на всех фазах заболевания.

Проблема компьютерной персонализированной диагностики носит междисциплинарный характер. Для ее решения актуальна интеграция знаний по следующим направлениям исследований: 1) гибридные интеллектуальные системы; 2) системы поддержки принятия решений (СППР); 3) теория систем и системный анализ; 4) теория биологических систем и математическое моделирование в медицине.

## 2. Современное состояние исследований по проблеме компьютерной персонализированной диагностики

*Гибридная интеллектуальная система* (англ. hybrid intelligent system) [68] — система, в которой для решения задачи используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности человека.

Исследования по гибридным интеллектуальным системам связаны с такими именами, как А. Н. Борисов, А. В. Гаврилов, И. А. Кириков, П. М. Клачек, А. В. Колесников, С. В. Листопад, Г. С. Осипов, Д. А. Поспелов, С. Б. Румовская, Г. В. Рыбина, С. А. Солдатов, В. Б. Тарасов, И. Б. Фоминых, Н. Г. Ярушкина, S. Goonatilake, S. Khebbal, L. Medsker и др. ГиИС были анонсированы в 1994—1995 гг. L. Medsker [69]. В рамках Калининградской школы в 2001—2007 гг. разработаны неформальная аксиоматическая теория схем ролевых концептуальных моделей для триадической модели «ресурс — свойство — действие» и проблемно-структурная методология функциональных ГиИС [68; 70]; в 2011—2017 гг. ГиИС применили в сочетании с многоагентными системами для решения сложной транспортно-логистической задачи [71], разработали функциональные ГиИС с координацией [72] и применили функциональные ГиИС для решения сложной задачи медицинской диагностики [73]. В 2009—2018 гг. И. Б. Фоминых предложил формализм гибридной интеллектуальной системы на основе темпоральных логических моделей и инженерии образов [74]. Последние 5 лет научными коллективами и отдельными исследователями ведутся работы, в том числе и в области ГиИС в медицине, в Московском государственном техническом университете им. Н. Э. Баумана (ГиИС для обработки больших данных [75]); Балтийском федеральном университете им. И. Канта, Калининград (разработка методов гибридного вычислительного интеллекта [76]); Санкт-Петербургском государственном технологическом институте (техническом университете) (гибридные системы интеллектуального анализа больших данных [77]); Тверском государственном техническом университете, Тверь (разработка моделей интуитивных решений в гибридных интеллектуальных системах [78]); Томском государственном университете систем управления и радиоэлектроники (ГиИС дифференциальной диагностики заболеваний [79]); Белорусском государственном университете информатики и радиоэлектроники, Минск (онтологический подход к проектированию гибридных семантически совместимых интеллектуальных систем [80]); University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu, China (ГиИС диагностики сердечно-сосудистых заболеваний [81]); University of Novi Sad, Novi Sad, Serbia (ГиИС для диагностики первичных головных болей [82]) и др.

Преимущества современных исследований по ГиИС: 1) комбинирование в рамках единой системы различных методов искусственного интеллекта, что позволяет учитывать инструментальную неоднородность практических проблем, позволяя компенсировать слабые стороны одних методов преимуществами других; 2) моделирование знаний специалистов различных направлений дает возможность учесть неоднородность структуры проблемы. Пробле-

матика: 1) успех в решении проблемы ставится в зависимость от качества заменяющей ее системы последовательно решаемых обслуживающих задач и качества функционально соотнесенного с ними поля-множества моделей для синтеза интегрированного метода; 2) элементы ГИИС достаточно жестко связаны, что затрудняет их обновление и поддержку в актуальном состоянии.

*Системы поддержки принятия решений* решают проблемы повседневной деятельности на основе применения баз знаний, баз данных, баз моделей, посредством представления выводов, оценок возможных альтернативных вариантов, рекомендаций решения проблемы.

Основоположниками СППР считаются P.G.W. Keen и S.M.S. Morton, I.D.C. Little, S. L. Alter. Среди отечественных ученых — Б.Г. Миркин, Л.Г. Евланов, В.В. Подиновский, Э.А. Трахтенгерц, О.И. Ларичев, Б.Г. Литвак, А.Б. Петровский и др. В 1978 г. опубликован учебник по СППР [83], в котором исчерпывающе описаны аспекты создания СППР: анализ, проектирование, внедрение, оценка и разработка. Затем в 1980 г. в [84] даны основы классификации СППР, а в 1981 г. Bonczek, Holsapple и Whinston в [85] создали теоретические основы проектирования СППР и выделили ее компоненты. В тот же 1981 г. в [86] R. Sprague и E. Carlson описали разработку СППР на практике. Начиная с 1990-х гг. разрабатывают Data Warehouses — хранилища данных. В 1993 г. E.F. Codd предложил для СППР термин OLAP (Online Analytical Processing) [87] — оперативный анализ данных как онлайн-аналитическая обработка данных для поддержки принятия важных решений. В 2005 г. А. Пастуховым представлены PSTM (Personal Information Systems of Top Managers) [88], которые разрабатывались для конкретного лица, принимающего решение, с предварительной логико-аналитической обработкой информации в автоматическом режиме и выводом информации на один экран. В 2007 г. в [68] предложено СППР разрабатывать как функциональные ГИИС. В области СППР в последний 5 лет ведутся работы в Московском государственном университете технологий и управления им. К.Г. Разумовского (СППР как экспертные системы с базой данных) [89]; Одесской национальной морской академии (СППР для проектирования судовых энергетических установок) [90]; Военно-воздушной академии им. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина (СППР на базе учета трансформации предпочтений) [91]; Белорусском государственном университете (СППР как система нечеткого логического вывода) [92]; University of Hoffenheim (СППР на основе машинного обучения) [93]; National School of Engineers (динамические СППР на байесовских сетях) [94] и другие.

Преимущества современных СППР: 1) посредством медиатехнологий поддерживается возможность взаимодействия нескольких удаленных пользователей; 2) пользователь может получить доступ к приложению в любое время и в любом месте; 3) быстрый доступ к историческим данным, хранящимся в Data Warehouses; 4) визуализация информации графиками и диаграммами; 5) получение данных в реальном времени, если в этом возникает необходимость; 6) применение технологий искусственного интеллекта делает систему релевантной сложности решаемых задач. Проблематика СППР: 1) как правило, они не дают новых знаний, а только поддерживают процесс выработки

решения, автоматизируя рутинную обработку данных и частично моделируя когнитивные способности экспертов; 2) в большинстве своем не имеют под собой четкого математического обоснования; 3) многие интеллектуальные методы требуют большого объема данных для анализа.

### 3. Поддержка принятия индивидуальных медицинских диагностических решений в гибридном искусственном интеллекте «Виртуальный консилиум»

Один из главных вызовов для лица, принимающего решение (ЛПР) в сложных медицинских диагностических ситуациях, в частности при полной дифференциальной диагностике артериальной гипертензии (АГ), — способность качественно осмысливать большой объем разнородной информации на сокращающихся временных интервалах приема пациентов в амбулаторно-поликлинических учреждениях (рис. 3), синтезируя целостное представление об объекте диагностики из нередко противоречивой мозаичной картинке диагностической ситуации. Диагностический процесс в сложных ситуациях медицинской диагностики носит коллективный характер, доступный только в многопрофильном стационарном больничном учреждении (рис. 4). Именно коллективы специалистов (консилиумы) в настоящее время способны оценить ситуации и выработать адекватные диагностические решения.

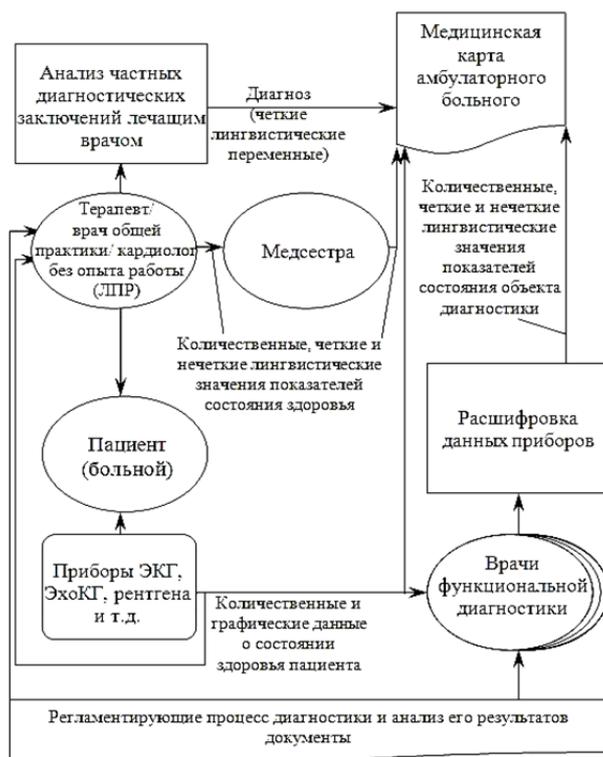


Рис. 3. Концептуальная модель процесса диагностики артериальной гипертензии в амбулаторно-поликлиническом учреждении

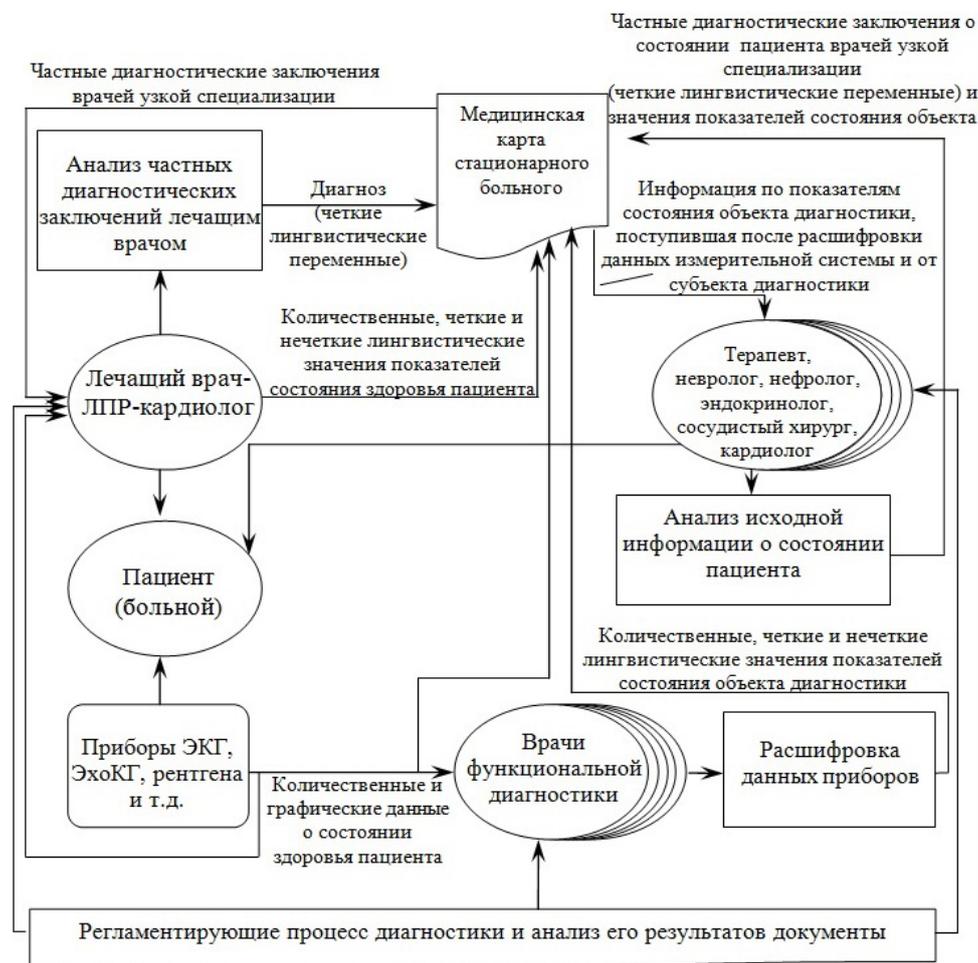


Рис. 4. Концептуальная модель процесса диагностики артериальной гипертензии в многопрофильном стационарном больничном учреждении

Лечащий врач-кардиолог вырабатывает диагноз (рис. 4). Пациент-больной характеризуется множеством симптомов. Для исследований выбраны шесть врачей-экспертов разной специализации (на рисунке 4 — терапевт, невролог, нефролог, эндокринолог, сосудистый хирург, кардиолог), решающих около двенадцати функциональных подзадач, возникающих в 90% случаев диагностики АГ. Каждый из врачей самостоятельно и/или на основе информации от другого врача (исходные данные разнородны), отраженной в «Медицинской карте стационарного больного», формирует промежуточные заключения о состоянии пациента в своей области медицинских знаний согласно нормативным документам, например [95]. Причем в лечебно-профи-

лактических учреждениях (ЛПУ) поликлинического типа (рис. 3) ЛПР — врач общей практики или терапевт (иногда кардиолог) — выступает одновременно в роли врача-ЛПР и врачей узкой специализации.

Исследования диагностического процесса на материалах поликлинического ЛПУ — Диагностического центра Калининградской областной клинической больницы (КОКБ) — по модели на рисунке 3 показали, что 70% пациентов поликлинического учреждения с АГ не знают о своем заболевании, в то время как в стационаре (рис. 4) практически в 100% случаев имеет место адекватное отображение в медкартах данных анамнеза и физикального обследования с подтверждением диагноза лабораторно-инструментальными методами исследования. В связи с этим предложено [96] повысить качество индивидуальных диагностических решений в ЛПУ поликлинического типа внедрением технологии «Виртуальный консилиум» (ВК), моделирующей коллективное обсуждение подзадач диагностики АГ в стационаре. Методы и средства моделирования процесса коллективной выработки решений открывают путь снижения рисков неверных диагностических заключений. Исследования в области искусственного интеллекта (ИИ) привели к возникновению технологии ГиИС. Такие системы интегрируют разнородные модели знаний (в дальнейшем — гетерогенное модельное поле, ГМП) и тем самым моделируют взаимодействие рассуждений в коллективах, принимающих решения. Концептуальная модель на рисунке 4 предполагает формирование полного дифференциального диагноза больного — комбинации прямого диагноза, устанавливаемого по типичной совокупности признаков, и дифференциального, основанного на выявлении различий в проявлениях данной болезни и заболеваний со сходной клинической картиной. Например, полная диагностика артериальной гипертензии [95] дифференцирует первичную АГ или эссенциальную от вторичных АГ, связанных с наличием патологических процессов. Последние выявляются посредством прямой диагностики. ГиИС ВК для решения неоднородной задачи диагностики (НЗД) разработана в соответствии с проблемно-структурной методологией [68] (рис. 5).

Функциональные модули: 1)  $i$ -й для  $i$ -й  $МНСДАГ_{1-9}$  — определение состояния здоровья пациента в рамках  $i$ -й подзадачи диагностики поражений органов-мишеней ( $i=1$ ), факторов риска ( $i=2$ ), цереброваскулярных болезней (3), метаболического синдрома и сахарного диабета (4), заболеваний периферических артерий (5), ишемической болезни сердца (6), эндокринной АГ (7), паренхиматозной нефропатии (8) и реноваскулярной АГ (9) соответственно; выбирается для включения в ВК; 2)  $МЭССС$  — формирование заключительного диагноза АГ (всегда в составе ВК); 3)  $МИНСРЭКГ$  — определение патологического состояния пациента по его ЭКГ; 4)  $МИНССМАД$  — определение нормальных значений и отклонения от них суточного мониторинга артериального давления. Технологические модули разработаны для построения информативного набора признаков для  $МНСДАГ_{1-9}$ . Интерфейсы: 1) модификации структуры — выбор модулей, решающих интересующие пользователя диагностические подзадачи; 2) модификация интерфейса пользователя —

деактивация элементов на интерфейсе пользователя для ввода симптомов пациента; 3) «Диагноз» — визуализация результатов диагностики и корректировка их при необходимости; 4) для ввода множества симптомов.

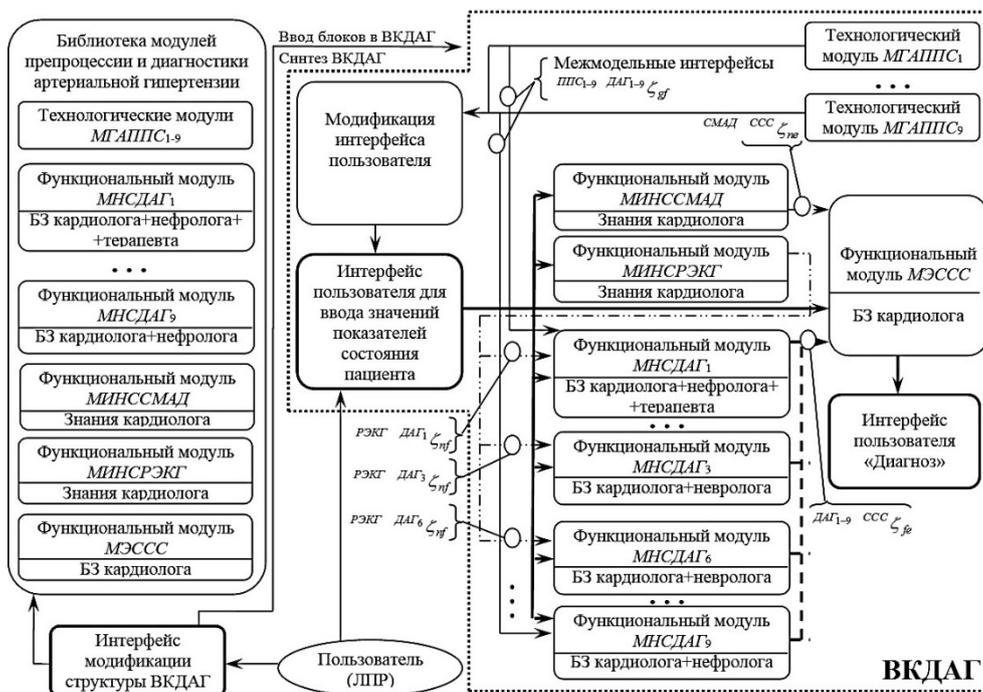


Рис. 5. Функциональная структура виртуального консилиума:

$BЗ$  — база знаний;  $n$  — искусственные нейронные сети;  $e$  — экспертные системы;  $f$  — нечеткие системы;  $g$  — генетические алгоритмы;  $ВКДАГ$  — «Виртуальный консилиум» для диагностики артериальной гипертензии

При исследовании качества интегрированных моделей рассчитаны среднеквадратические ошибки совместной работы моделей ГМП, взаимосвязанных межмодельными интерфейсами для обмена информацией между собой при постановке заключительного диагноза. Размер тестовой выборки, сформированной на базе медицинских карт стационарных больных кардиологического отделения Калининградской областной клинической больницы: 400 наблюдений — 200 с диагнозами эссенциальной АГ и 200 со вторичной АГ. Эталонный диагноз — дифференциальный диагноз АГ. Диагноз включает степень и стадию эссенциальной АГ (или гипертонической болезни), класс общего риска сердечно-сосудистых заболеваний, факторы риска, поражения органов-мишеней, ассоциативные клинические состояния и вторичные АГ.

Минимальная ошибка классификации соответствовала наибольшему составу консилиума, то есть чем шире состав консилиума, тем выше качество его работы — в составе шести врачей дает диагноз, верный в 92% случаев.

#### 4. Перспективы моделирования персонализированной оценки функций диагностируемых биологических систем и риска развития их дефектов

Qui bene interrogat, bene dignoscit (лат.) = Кто хорошо спрашивает, хорошо диагностирует [99, с. 554].

Qui bene dignoscit, bene curat (лат.) = Хорошо распознается — хорошо лечится [99, с. 87].

Решение проблем дифференциальной диагностики и прогнозирования состояния здоровья пациента осложняется полиморбидностью, неоднородностью, неточностью, нечеткостью, динамичностью состояния организма человека, что делает нерелевантными существующие (раздел 2) подходы к разработке СППР в рамках одной из методологий ИИ, где с позиций системного анализа преимущественно рассматривают только процесс принятия индивидуальных диагностических решений и превалирует одноаспектный подход, не учитывающий разнородность диагностического процесса и применяющий только один-два метода имитации интеллектуальной деятельности человека — в основном искусственные нейронные сети и/или нечеткую логику и нечеткие системы, или экспертные системы.

Для преодоления особенностей диагностических проблем в медицине, повышения качества их решения и обеспечения персонализированного предиктивного подхода предлагается разработка методов и моделей интеллектуальных систем компьютерной персонализированной диагностики (ИСКПД) как функциональных ГиИС, комбинирующих (рис. 6): 1) методы и методики системного анализа диагностической проблемы, диагностического процесса и биологических систем (БС); 2) методы и методики динамического (ситуативного) синтеза метода решения ДП в зависимости от диагностической ситуации и фазы заболевания с динамической моделью биологической системы как прототипа «цифрового двойника органов и систем организма». Это создаст переход от эмпирической медицины к аналитической (теоретической), базирующейся на точных обоснованиях тех или иных заключений врача.

При разработке ИСКПД для персонализированной диагностики и прогнозирования состояния здоровья пациента как сложной динамической системы за основу предлагается взять модель гетерогенной диагностики виртуального консилиума [96], методику автоматизированного решения сложной медицинской диагностической задачи с помощью инструментальной среды «Виртуальный консилиум» [96] и модель крупнозернистой функциональной ГиИС [68], в которой определяются множества знаков элементов ИСКПД; множества свойств «входа» и «выхода» элементов; отношения функционирования ИСКПД; отношения интеграции элементов; отношения «входа» ИСКПД и «входов» элементов, а также «выходов» элементов и «выхода» ИСКПД.



Рис. 6. Схема интеллектуальной системы компьютерной персонализированной диагностики

Элементами ИСКПД с помощью базисных методов ГиИС [70] будут моделироваться: 1) функционирование диагностируемой биологической системы, с которой взаимодействуют остальные элементы; 2) выработка решений диагностической проблемы на различных этапах диагностического процесса, метод которой формируется ситуативно на каждой фазе развития заболевания, и выработка прогноза будущих состояний диагностируемой сложной динамической системы. Для этого будут разработаны модель, формирующая прогноз будущих состояний объекта диагностики; модель выработки решений на основе данных анамнеза; модель выработки решений на основе дан-

ных осмотра, пальпации и прослушивания; множество моделей для обработки данных лабораторного обследования и множество моделей для обработки данных инструментального обследования.

В зависимости от типа переменных, используемых в методах и моделях выработки решения и прогноза на разных этапах процесса диагностики (детерминированных, стохастических, логических, лингвистических нечетких и четких), будут подобраны методы автоматизированного решения соответствующих диагностических подзадач из множества классов базисных методов ГиИС. Такое разбиение множества элементов обусловлено особенностями фаз протекания патологических процессов, на которых не надо обрабатывать каждый раз абсолютно всю симптоматическую информацию о пациенте. На каждой фазе необходимо заново динамически синтезировать интегрированную модель выработки решения в зависимости от диагностической ситуации (персонализированная диагностика). Также такое разбиение учитывает возможность поддержки удаленной консультации пациента (каждая модель может работать автономно), которая также не предусматривает доступ ко всему объему симптоматической информации. Входная информация ИСКПД — история болезни и семейный анамнез, данные физикального, лабораторного и инструментального обследований. Выходная информация ИСКПД — полное заключение о состоянии пациента, релевантное эпикризу и диагностической ситуации, а также прогноз его будущих состояний.

При анализе биологической системы (БС), диагностической проблемы и диагностического процесса предполагается использовать комбинацию методов системного анализа — методы структуризации (деревья целей, сетевые и матричные) и методы последовательной формализации решаемой проблемы, что позволит перейти к системным и функциональным категориям при рассмотрении объекта диагностики, к рассмотрению всех уровней иерархии рассматриваемой биологической системы, в том числе к выделению горизонтальных связей. Биологическую систему предлагается представить в виде смешанной иерархической структуры (СИС) [97] как с вертикальными связями разной силы, так и с горизонтальными взаимодействиями между элементами (подсистемами) одного уровня (в том числе использовать для моделирования горизонтальных связей подход к представлению биологических систем одноранговых элементов как динамических сетей, в узлах которых располагаются блоки с обратной связью — *dynamic network motifs* [98]). В узлах СИС будут располагаться системные функциональные единицы (СФЕ) БС — различные клеточные и тканевые структуры. При этом уровень детализации СФЕ может быть различным.

Модель сложной динамической системы на основе полученных данных о принимаемых лекарствах и по результатам лабораторной и инструментальной диагностики предоставляет моделям ГМП, вырабатывающим решение о диагнозе и прогноз, информацию о ее реакциях на воздействие внешней среды — окружающих систем, с которыми она взаимодействует, лекарств, кото-

рые принимает человек, и т.д. Модель БС в сочетании с интегрированной моделью выработки решений о состоянии объекта исследования во всех фазах заболевания даст более обоснованное решение относительно диагноза и прогноза, вскрыв причины развития патологического(их) процесса(ов). Также модель БС за счет предоставления информации о возможной реакции БС на введение того или иного лекарства в определенной дозе предоставит возможность назначения врачом более персонафицированного (персонализированного) лечения на каждой фазе и корректировку его на последующих.

### Заключение

Предварительный анализ предметной области персонализированной диагностики и прогнозирования состояния организма человека подтвердил актуальность предлагаемого исследования. Интеллектуальные системы «компьютерной персонализированной диагностики» повысят эффективность и качество диагностических решений, поскольку консультации будут получены как результат моделирования разнородных знаний о гетерогенном диагностическом процессе и сложной биологической системе, вырабатывая заключение, релевантное сложной диагностической ситуации, а также выведут процессы здоровьесбережения на новый уровень — своевременной, предиктивной диагностики ввиду системного подхода к анализу и моделированию функционирования сложных динамических систем. Это позволит контролировать физическое состояние организма человека для оценки рисков и прогнозирования развития патологических процессов.

Динамическая модель в сочетании с интегрированной моделью выработки решений на всем протяжении диагностического процесса предоставит возможность построить полную траекторию патогенеза заболевания, определить прогноз его состояния и начать лечение в то время, когда еще нет явных структурных нарушений организма. Еще одно преимущество предлагаемого подхода — использование взаимодействующих друг с другом моделей разнородных знаний о выработке решений на разных этапах диагностического процесса, в которых разнообразие хранимой и перерабатываемой информации релевантно разнообразию информации в сложных диагностических ситуациях. ИСКПД потенциально способны динамично синтезировать над неоднородным (гетерогенным) модельным полем новый метод выявления и прогнозирования состояния сложных динамических систем для каждого объекта диагностики индивидуально и применять его для подготовки рекомендаций лицу, принимающему решения.

### Список литературы

1. *Стратегия* формирования здорового образа жизни населения, профилактики и контроля неинфекционных заболеваний на период до 2025 года. URL: <https://gnicpm.ru/wp-content/uploads/2020/01/strategyzoch-2025.pdf> (дата обращения: 25.02.2022).

2. Шляхто Е. В., Конради А. О. Персонализированная медицина. История, современное состояние проблемы и перспективы внедрения // Российский журнал персонализированной медицины, 2021. Т. 1, №1. С. 6—14.

3. Оганов Р. Г., Драпкина О. М. Полиморбидность: закономерности формирования и принципы сочетания нескольких заболеваний у одного пациента // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. 2016. Т. 15, №4. С. 4—9. doi: 10.15829/1728-8800-2016-4-4-9.

4. Ларина В. Н., Самородская И. В., Глибко К. В. и др. Комплексная патология: терминология, оценка тяжести состояния пациентов и возможный подход к их ведению // Клиническая геронтология. 2019. Т. 25, №1—2. С. 49—57. doi: 10.26347/1607-2499201901-02049-057.

5. Лазебник Л. Б., Конев Ю. В. Исторические особенности и семантические трудности использования терминов, обозначающих множественность заболеваний у одного больного // Экспериментальная и клиническая гастроэнтерология. 2018. Вып. 154, №6. С. 4—9.

6. Соловей М. Г. Развитие идей единства и целостности организма в отечественной медицине // Казанский медицинский журнал. 1965. Т. 46, №5. С. 86—89. doi: 10.17816/kazmj63550.

7. Давыдовский И. В. Проблемы причинности в медицине (этиология). М. : Медгиз, 1962.

8. Перминов В. Я. Математика и реальность: гносеологические проблемы математизации знания // Вестник Московского университета. Сер. 7. Философия. 2014. №1. С. 42—68.

9. Тутубалин В. Н., Барабашева Ю. М., Григорян А. А. и др. Структурный анализ движущейся крови. М., 1959.

10. Садовский В. Н. Основания общей теории систем. М., 1974.

11. Чернышов В. Н., Чернышов А. В. Теория систем и системный анализ : учеб. пособие. Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2008.

12. Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Системный подход: предпосылки, проблемы, трудности. М. : Знание, 1969.

13. Скляров И. Ф. Система — системный подход — теории систем. М. : Либроком, 2013.

14. ИСА ФИЦ ИУ РАН. URL: <http://www.frccsc.ru/frc/isa> (дата обращения: 01.03.2022).

15. Горелова Г. В. Применение когнитивного подхода к анализу федеральных целевых программ // Системный анализ в проектировании и управлении : сб. науч. тр. XXI Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. СПб. : Изд-во Санкт-Петербург. политех. ун-та Петра Великого, 2017. С. 82—92.

16. Klir G. J. Uncertainty in Systems: An Autobiographical Retrospect // International Journal of General Systems. 2010. Vol. 39, iss. 4. P. 437—450. doi: 10.1080/03081070903220597.

17. Kolmogoroff A. N. Sulla teoria di Volterra della per l'esistenzo // G. Inst. degli Attuari. 1936. Vol. 7, iss. 1. P. 74—80.

18. Фишер Р. Генетическая теория естественного отбора. М. : Институт компьютерных исследований, Регулярная и хаотическая динамика, 2011.

19. Белов Н. А. Физиология типов. Орел : Красная книга, 1924.

20. Завадовский М. М. Противоречивое взаимодействие между органами. М. : Изд-во МГУ, 1941.

21. Allen A., Jerkes R. Sex and internal secretion. Baltimore, 1932.

22. *Заварзин А.А.* Труды по теории параллелизма и эволюционной динамике тканей: (К 100-летию со дня рождения). Л. : Наука : Ленингр. отделение, 1986.
23. *Винер Н.* Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине. М. : Советское радио, 1958.
24. *Малиновский А.А.* Обратные связи и системные изменения в развитии аутистического мышления у шизофреников и шизоидов // Проблемы кибернетики. 1977. №32. С. 213—223.
25. *Малиновский А.А.* Общие особенности биологического уровня и чередования типов организации // Развитие концепции структурных уровней в биологии. М. : Наука, 1972. С. 271—277.
26. *Малиновский А.А.* Типы управляющих биологических систем и их приспособительное значение // Проблемы кибернетики. 1960. №4. С. 151—181.
27. *Ляпунов А.А.* Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов // Проблемы кибернетики. 1963. Вып. 10. С. 179—194.
28. *Балантер Б.М., Ханин М.А., Чернавский Д.С.* Введение в математическое моделирование патологических процессов. М. : Медицина, 1980.
29. *Славин М.Б.* Системное моделирование патологических процессов. М. : Медицина, 1983.
30. *Девяткова Г.И., Радионова М.В., Попов А.В.* Использование математических моделей в диагностике причин желтухи у хирургического больного // Здоровье и образование. Медико-социальные и экономические проблемы : матер. междунар. науч.-практич. конф. Пермь ; Париж, 2004. С. 66—69.
31. *Девяткова Г.И., Сулонов В.М., Радионова М.В.* Математическое моделирование синдромов ЖКБ. Пермь : Изд-во Перм. ун-та, 2005.
32. *Кирьянов Б.Ф., Майоров В.В.* Математическая модель ишемической болезни сердца // Вестник Новгородского гос. ун-та. Сер.: Медицинские науки. 1998. №7. С. 78—80.
33. *Девяткова Г.И., Михеев В.В.* Моделирование технологий оказания медицинской помощи в хирургическом стационаре на этапе операционной // Стоматология XXI века: Новейшие технологии и материалы : сб. науч. тр. III Всерос. симпозиума. Пермь : Перм. гос. мед. академия, 2000. С. 23—24.
34. *Емалетдинова Л.Ю., Галлиев Ш.И., Разина М.А и др.* Использование непрерывных моделей для оптимизации расположения станций скорой помощи // Вычислительная механика и современные прикладные программные системы : докл. XII междунар. конф. Владимир, 2003. С. 266—267.
35. *Fanshel S., Bush J.* A health status index and its application to health-services outcomes // Operations Research. 1979. Vol. 18, iss. 6. P. 1021—1056.
36. *Медик В.А., Кирьянов Б.Ф., Бачманов А.А.* Линейные модели интегрального показателя оценки здоровья населения // Сборник научных трудов Новгородского научного центра СЗО РАМН. Т. 4. М. : Медицина, 2005. С. 72—78.
37. *Медик В.А., Токмачёв М.С.* Математическая статистика в медицине : учеб. пособие. М. : Финансы и статистика, 2007.
38. *Малиновский А.А.* Становление системного подхода в биологии. URL: [http://lit.lib.ru/img/m/malinowskij\\_a\\_a/text\\_0010/stanowleniesistemnogopodhodawbiologii-sbor-31.pdf](http://lit.lib.ru/img/m/malinowskij_a_a/text_0010/stanowleniesistemnogopodhodawbiologii-sbor-31.pdf) (дата обращения: 28.02.2022).
39. *Гайдес М.А.* Общая теория систем. Антропологическая космоконцепция. Системный анализ происхождения и эволюции Вселенной. Кн. 1. СПб. : СУПЕР Издательство, 2021.

40. Шендеров Б.А. «Омик» — технологии и их значение в современной профилактической и восстановительной медицине // Вестник восстановительной медицины. 2012. №3. С. 70—78.

41. Овсянников Л.Л., Шпитонков М.И. Эволюционно оптимальные параметры организма // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2019. Т. 69, №1. С. 61—69.

42. Овсянников Л.Л. Видовая продолжительность жизни как продукт эволюции // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2019. Т. 69, №2. С. 78—90.

43. Благодосклонов Н.А., Донитова В.В., Киреев Д.А. и др. Лингвистический анализ историй болезни для выявления факторов риска инсульта // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2020. Т. 70, №3. С. 75—85.

44. Магницкий Н.А. О переходе к хаосу в одной модели динамики популяций // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2020. Т. 70, №2. С. 71—74.

45. Шпитонков М.И. Вычисление корреляционной размерности для физиологических временных рядов // Труды Института системного анализа Российской академии наук. 2020. Т. 70, №2. С. 75—79.

46. Villaverde A. F. Symmetries in Dynamic Models of Biological Systems: Mathematical Foundations and Implications // Symmetry. 2022. Vol. 14, iss. 3, №467. doi: 14.467.10.3390/sym14030467.

47. Шевский В.И., Шейман И.М. Проблемы формирования интегрированной системы здравоохранения // Вопросы государственного и муниципального управления. 2013. №3. С. 24—47.

48. МКБ 11. Международная классификация болезней 11 пересмотра. URL: <https://icd11.ru/> (дата обращения: 05.03.2022).

49. Гайворонский И.В., Ничипорук Г.И., Гайворонский А.И. Анатомия человека : учебник : в 2 т. / под ред. И.В. Гайворонского. Т. 1. Система органов опоры и движения. Спланхнология. М. : ГЭОТАР-Медиа, 2018.

50. Физиология человека : учебник / под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротко ; 2-е изд., перераб. и доп. М. : Медицина, 2003.

51. Агаджанян Н.А., Тель Л.З., Циркин В.И. и др. Физиология человека. М. : Медицинская книга ; Н. Новгород : Изд-во НГМА, 2003.

52. Бельченко Л.А. Основы физиологии человека и животных (Организм как целое) : учеб. пособие. Новосибирск : Новосиб. гос. ун-т, 2013.

53. Курепина М.М. Анатомия человека. М. : Владос, 2002.

54. Хакимова Д.М., Хузин Ф.Ф. Введение в патологию. Повреждение клеток и тканей. Процессы адаптации : учеб. пособие. Казань : Казанск. ун-т, 2021.

55. Одум Ю. Основы экологии / пер. с англ. 3-го изд. ; под ред. и с предисл. Н.П. Наумова. М. : Мир, 1975.

56. Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации (утв. указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. №642). Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

57. Новицкий В.В., Гольдберг Е.Д. Патологическая физиология : учебник / 2-е изд., исправ. и доп. М. : ГЭОТАР-МЕД, 2001.

58. Бяловский Ю.Ю. и др. Курс лекций по патофизиологии : учеб. пособие для студентов медицинских вузов : в 4 ч. / под ред. Ю.Ю. Бяловского, В.В. Давыдова. Рязань, 2018. Ч. 1.

59. Ozomaro U., Wahlestedt C., Nemeroff Ch. B. Personalized medicine in psychiatry: problems and promises // BMC Medicine. 2013. Vol. 11, № 132. doi: 10.1186/1741-7015-11-132.
60. Мустафин Р.Н., Гилязова И.Р., Тимашева Я.Р., Хуснутдинова Э.К. Основы фармакогенетики : учеб. пособие. Уфа : ФГБОУ ВО БГМУ Минздрава России, 2020.
61. Оберемок В.В., Левченко Н.Н. Учебный материал лекций по дисциплине «Геномика и протеомика» : учеб.-метод. пособие ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет имени В. И. Вернадского». Симферополь, 2016.
62. Белялов Ф.И. Подходы к персонализированной терапии // Рациональная фармакотерапия в кардиологии. 2018. Т. 14, №3. С. 418—424. doi: 10.20996/1819-6446-2018-14-3-418-424.
63. Галимзянов Х.М., Тризно Н.Н., Лопухин Ю.М. и др. Предиктивно-превентивная и персонифицированная медицина как новая отрасль здравоохранения и ее перспективы // Астраханский медицинский журнал. 2013. Т. 8, № 1. С. 64—70.
64. Кац Я.А., Пархонюк Е.В., Акимова Н.С., Корсунова Е.Н. Индивидуальная диагностика и концепция превентивно-предиктивно-персонифицирующей медицины // Фундаментальные исследования. 2014. № 1. С. 124—128. URL: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=33517> (дата обращения: 05.03.2022).
65. Шевский В.И., Шейман И.М. Проблемы формирования интегрированной системы здравоохранения // Вопросы государственного и муниципального управления. 2013. №3. С. 24—47.
66. Мокрышева Н.Г., Мельниченко Г.А. Персонализированная медицина — этапы формирования концепции и пути практической ее реализации // Российский журнал персонализированной медицины. 2021. Т. 1, № 1. С. 34—42.
67. Дедов И.И., Тюльпаков А.Н., Чехонин В.П. и др. Персонализированная медицина: современное состояние и перспективы // Вестник Российской академии медицинских наук. 2012. Т. 67, № 12. С. 4—12.
68. Колесников А.В., Кириков И.А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М. : ИПИ РАН, 2007.
69. Medsker L.R. Hybrid Intelligent Systems. Boston : Kluwer Academic Publ., 1995.
70. Колесников А.В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / под ред. А.М. Яшина. СПб. : СПбГТУ, 2001.
71. Колесников А.В., Кириков И.А., Листопад С.В. и др. Решение сложных задач коммивояжера методами функциональных гибридных интеллектуальных систем / под ред. А.В. Колесникова. М. : ИПИ РАН, 2011.
72. Колесников А.В., Солдатов С.А. Алгоритм координации для гибридной интеллектуальной системы решения сложной задачи оперативно-производственного планирования // Информатика и ее применение. 2010. Т. 4, № 4. С. 60—66.
73. Румовская С.Б., Колесников А.В., Кириков И.А. Моделирование коллективных решений виртуальным консилиумом // Искусственный интеллект и принятие решений. М. : ИСА ФИЦ ИУ РАН, 2018. № 4. С. 20—31.
74. Фоминых И.Б. Инженерия образов, творческие задачи, эмоциональные оценки // Онтология проектирования. 2018. Т. 8, № 2 (28). С. 175—189. doi: 10.18287/2223-9537-2018-8-2-175-189.
75. Березкин Д.В., Терехов В.И., Черненко И.М. Методы гибридного искусственного интеллекта в задачах обработки, анализа и визуализации потоков больших

данных // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. IV Всерос. Пospelовской конф. с междунар. участием / под ред. А.В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. С. 155—160.

76. *Клачек П. М., Полупан К. Л., Корягин С. И., Либерман И. В.* Гибридный вычислительный интеллект. Основы теории и технологий создания прикладных систем. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018.

77. *Чистякова Т. Б., Тетерин М. А.* Архитектура гибридной системы для интеллектуального анализа больших данных и управления качеством полимерных материалов // Десятая всероссийская мультikonференция по проблемам управления МКПУ-2017 : матер. 10-й Всерос. мультikonф. : в 3 т. / под ред. И. А. Каляев. Ростов н/Д : Южный федер. ун-т, 2017. Т. 1. С. 109—111.

78. *Виноградов Г. П., Кирсанова Н. В., Колегов А. В.* Принятие интуитивных решений в гибридных интеллектуальных системах // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. IV Всерос. Пospelовской конф. с междунар. участием / под ред. А. В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. С. 176—181.

79. *Янковская А. Е., Горбунов И. В., Черногорюк Г. Э.* Влияние способа вычисления весовых коэффициентов признаков и построения безызбыточных безусловных диагностических тестов для гибридной интеллектуальной системы дифференциальной диагностики диссеминированных заболеваний легких // Нечеткие системы, мягкие вычисления и интеллектуальные технологии (НСМВИТ-2017) : тр. VII Всерос. науч.-практ. конф. СПб. : Политехника-сервис, 2017. С. 191—200.

80. *Голенков В. В., Гулякина И. А., Давыденко И. Т. и др.* Онтологическое проектирование гибридных семантически совместимых интеллектуальных систем на основе смыслового представления знаний // Онтология проектирования. 2019. Т. 9, №1 (31). С. 132—151.

81. *Haq A. U., Li J. P., Memon M. H. et al.* A Hybrid Intelligent System Framework for the Prediction of Heart Disease Using Machine Learning Algorithms // Mobile Information Systems. 2018. Vol. 2018. Article ID 3860146.

82. *Simić S., Villar J. R., Calvo-Rolle J. L. et al.* An Application of a Hybrid Intelligent System for Diagnosing Primary Headaches // International journal of environmental research and public health. 2021. Vol. 18, iss. 4. P. 1890. doi: 10.3390/ijerph18041890.

83. *Keen P. G. W., Scott Morton M. S.* Decision support systems: an organizational perspective. Reading, Mass. : Addison-Wesley Pub. Co., 1978.

84. *Alter S. L.* Decision support systems: current practice and continuing challenges. Reading, Mass. : Addison-Wesley Pub., 1980.

85. *Bonczek R. H., Holsapple C. Whinston A. B.* Foundation of Decision Support Systems. N. Y. : Academic Press, 1981.

86. *Sprague R. H., Carlson E. D.* Building Effective Decision Support Systems // Englewood Cliffs. NJ : Prentice-Hall, 1982.

87. *Гордиенко И.* OLAP. Ч. 1. Старо как мир компьютерный. URL: <http://citforum.ru/gazeta/30/> (дата обращения: 05.03.2022).

88. *Журавленко Н. И., Тутова О. В.* Информационные технологии в правоохранительной деятельности : учеб.-метод. пособие. Краснодар : Краснодарский университет МВД России, 2016.

89. *Карпов В. И., Красуля О. Н., Токарев А. В.* Экспертная система поддержки принятия решений в технологии производства колбас заданного качества // Системный анализ в проектировании и управлении : сб. науч. тр. XXI Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т. Санкт-Петербург, 29—30 июня 2017 года. СПб. : Санкт-Петербургский политех. ун-т Петра Великого, 2017. С. 255—265.

90. *Budashko V., Nikolskyi V., Onishchenko O., Khniunin S.* Decision support system's concept for design of combined propulsion complexes // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies.* 2016. Vol. 81, №3 (8). P. 10—21. doi: 10.15587/1729-4061.2016.72543.
91. *Терегулов Д.Р., Сентябов О.И.* Система поддержки принятия решений на основе метода учета трансформации предпочтений // *Информатика: проблемы, методология, технологии : матер. XV междунар. науч.-метод. конф.* Воронеж : Воронежский гос. ун-т, 2015. С. 142—146.
92. *Kurochkin A., Sadov V.* Fuzzy logic inference ruleset augmentation with sample data in medical decision-making systems // *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems: Research Papers Collection.* Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics. 2019. Iss. 3. P. 329—332.
93. *Merkert J., Mueller M., Hubl M.* A Survey of the Application of Machine Learning in Decision Support Systems // *Completed Research Papers of the Twenty-Third European Conference on Information Systems.* 2015. doi: 10.18151/7217429.
94. *Ltifi H., Trabelsi G., Ayed M.B., Alimi A.M.* Dynamic Decision Support System Based on Bayesian Networks // *International Journal of Advanced Research in Artificial Intelligence.* Vol. 1. University of Sfax, National School of Engineers (ENIS), 2012. doi: 10.14569/IJARAI.2012.010105.
95. *Клинические рекомендации.* Артериальная гипертензия у взрослых. URL: [https://scardio.ru/content/Guidelines/Clinic\\_rek\\_AG\\_2020.pdf](https://scardio.ru/content/Guidelines/Clinic_rek_AG_2020.pdf) (дата обращения: 13.02.2021).
96. *Румовская С.Б.* Исследование методов поддержки принятия коллективных диагностических решений и разработка инструментальных средств «Виртуальный консилиум» (на примере диагностики артериальной гипертензии) : дис. ... канд. техн. наук. М., 2017.
97. *Глушков В.М., Валах В.Я.* Что такое ОГАС? М. : Наука, 1981.
98. *Cloutier M., Wang E.* Dynamic modeling and analysis of cancer cellular network motifs // *Integr. Biol.*, 2011. 3 (7): 724—32.
99. *Душенко К.В., Багриновский Г.Ю.* Большой словарь латинских цитат и выражений / под науч. ред. Д.О. Торшилова. М. : Эксмо : Центр гуманитарных научно-информационных исследований ИНИОН РАН, 2013.

**А. П. Еремеев**

*Национальный исследовательский университет «МЭИ», Москва, Россия  
e-mail: eremeev@apmat.ru*

## **СОЗДАНИЕ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СРЕДЫ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ МОНИТОРИНГЕ И УПРАВЛЕНИИ СЛОЖНЫМИ ТЕХНИЧЕСКИМИ И ОРГАНИЗАЦИОННЫМИ СИСТЕМАМИ**

### **Введение**

В условиях перехода к цифровой экономике существенная роль отводится разработке и применению методов и систем искусственного интеллекта, в том числе интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени (ИСППР РВ), помогающих оперативно-диспетчерскому персоналу (далее — лицам, принимающим решения (ЛПР)) при мониторинге и управлении техническими (технологическими) и организационными системами различного назначения.

В 1980-х гг. Д. А. Поспелов обосновал подход к рассмотрению интеллектуальных систем управления как систем семиотического типа с применением ситуационного управления и логико-лингвистических моделей, в которых логические средства используются для преобразования данных, представленных в лингвистической форме [1; 2]. Предложенный подход позволяет конструктивно осуществить цепочку переходов в плане развития систем управления: простые системы управления → системы с адаптацией → модельные системы управления → семиотические системы.

Идеи Д. А. Поспелова применены и развиты в области прикладной семиотики и современных систем искусственного интеллекта как интегрированных/гибридных систем распределенного искусственного интеллекта.

Проблематике создания таких систем посвящены, в частности, ежегодные Всероссийские Поспеловские конференции с международным участием «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы», проводимые в Калининградской области под председательством профессора БФУ им. И. Канта А. В. Колесникова, в научной группе которого предложен и развивается подход к реализации интеллектуальных систем (систем искусственного интеллекта) как гетерогенных систем [3; 4], в которых рассмотрены возможности и средства их реализации

В работах [5—7] был обоснован и исследован подход к разработке ИСППР/ИСППР РВ для помощи ЛПР при мониторинге и управлении сложными объектами энергетики (на примере атомной энергетики) как интегрированных систем семиотического типа с применением ситуационного подхода.

ИСППР семиотического типа с использованием ситуационного подхода может быть конструктивно задана набором

$$SS = \langle M, R(M), F(M), F(SS) \rangle,$$

где  $M = \{M_1, \dots, M_n\}$  — множество формальных или логико-лингвистических моделей, реализующих определенные интеллектуальные функции;  $R(M)$  — множество правил выбора необходимой модели или совокупности моделей в текущей ситуации, то есть правил, реализующих отображение  $R(M): S \rightarrow M$ , где  $S$  — множество возможных ситуаций (состояний), которое может быть и открытым, или  $S' \rightarrow M$ , где  $S'$  — некоторое множество обобщенных ситуаций (состояний), например нормальных (штатных), аномальных или аварийных, при попадании в которые происходит смена модели;  $F(M) = \{F(M_1), \dots, F(M_n)\}$  — множество правил модификации моделей  $M_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ , причем каждое правило  $F(M_i)$  реализует отображение  $F(M_i): S'' \times M_i \rightarrow M'_i$ , где  $S'' \subseteq S$ ,  $M'_i$  — некоторая модификация модели  $M_i$ ;  $F(SS)$  — правило модификации собственно системы  $SS$  — ее базовых конструкций  $M$ ,  $R(M)$ ,  $F(M)$  и, возможно, самого правила  $F(SS)$ , то есть  $F(SS)$  реализует целый ряд отображений (или комплексное отображение)  $F(SS): S''' \times M \rightarrow M'$ ,  $S''' \times R(M) \rightarrow R'(M)$ ,  $S''' \times F(M) \rightarrow F'(M)$ ,  $S''' \times F(SS) \rightarrow F'(SS)$ , где  $S''' \subseteq S$ ,  $S''' \cap S' = \emptyset$ ,  $S''' \cap S'' = \emptyset$ , то есть правила модификации данного типа используются в ситуациях, когда имеющихся множеств моделей, правил выбора и правил модификации недостаточно для поиска решения (решений) в сложившейся проблемной ситуации, причем для модификации  $F(SS)$  могут быть использованы как внутренние средства порождения моделей и правил (гипотез), так и внешние метазнания, отражающие прагматический аспект проблемной ситуации.

Далее будут рассмотрены возможности и средства развития и практического применения аппарата таблиц решений в интегрированных/гибридных ИСППР РВ семиотического типа для помощи ЛППР при мониторинге, диагностике и управлении сложными объектами энергетики [8; 9].

### Задача вибродиагностики турбоагрегата

Базовая архитектура интегрированной ИСППР РВ для оперативно-диспетчерского персонала (ЛППР) энергоблока представлена на рисунке 1 [9]. Система представляет собой интегрированную / гибридную среду, настраиваемую на специфику предметной области (управляемого объекта в целом и его подсистем в частности) и требуемые ограничения (например, время получения решения-рекомендации, учета неопределенности в поступающей информации и т. д.).

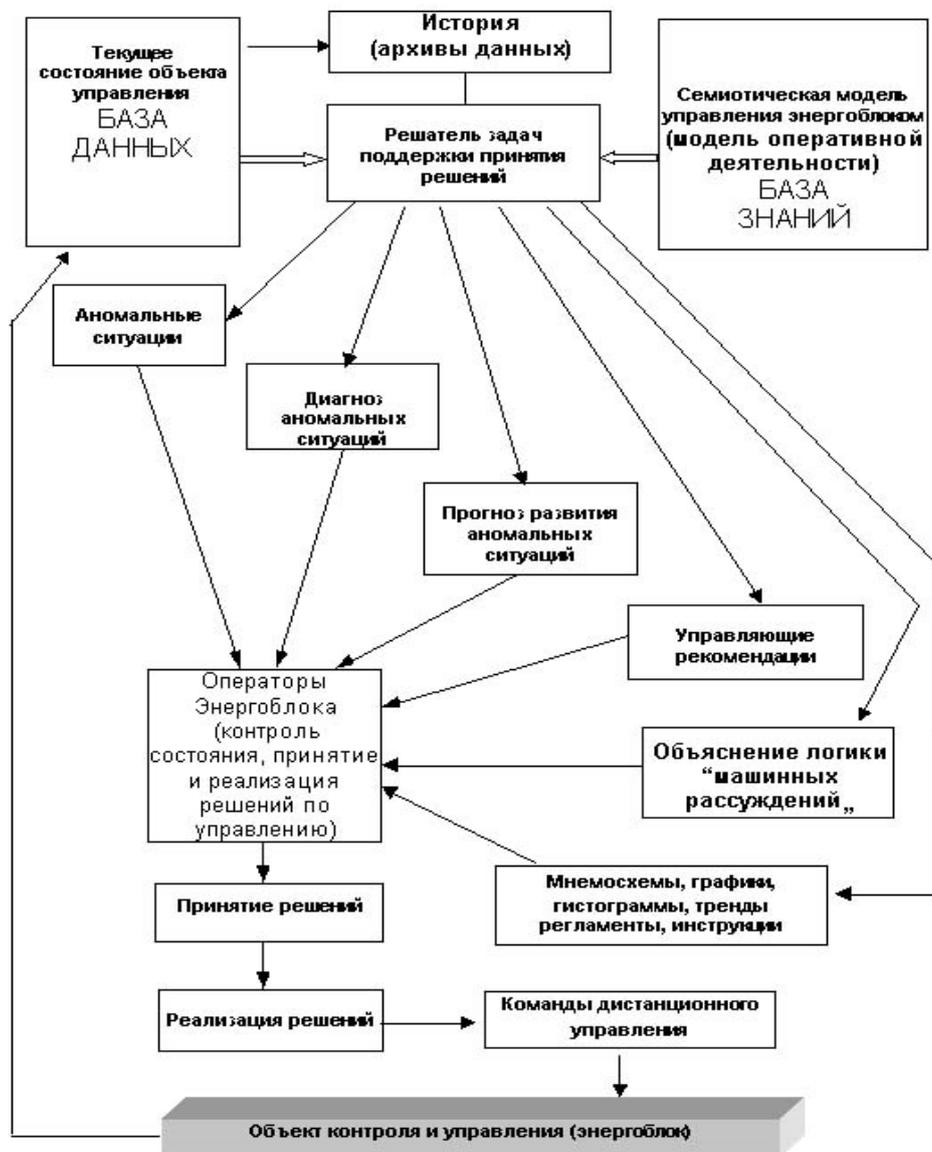


Рис. 1. Базовая архитектура ИСППР РВ энергоблока

Рассмотрим задачу вибродиагностики турбоагрегата на примере диагностики двух из наиболее опасных дефектов — трещин в роторах и обрывов болтов соединительных муфт валопровода. При диагностировании трещин к необходимым измеряемым величинам относятся амплитуды первых и вторых составляющих вибрации опор (мм/с); амплитуды первых и вторых составляющих виброперемещений шеек валов (мкм); частота вращения (об./мин);

температура пара ( $^{\circ}\text{C}$ ) на входе в цилиндрах высокого (ЦВД) и среднего (ЦСД) давления. Местом проявления дефекта могут быть роторы генератора (РГ) и низкого давления (РНД) — более вероятно; роторы высокого (РВД) и среднего (РСД) давления — менее вероятно.

Основные диагностические признаки трещины в роторе: 1) в режиме работы под нагрузкой: возникновение тренда первых составляющих вибрации (вертикальное направление измерений) и прогнозируемое время до достижения предельно допустимого уровня вибрации 7,1 мм/с (для опор) и (или) 250 мкм (для вала) составляет менее 24 ч; возникновение тренда вторых составляющих вибрации (вертикальное направление измерений); значения коэффициентов регрессии, характеризующих влияние изменения (снижения) температуры пара на входе в ЦВД или ЦСД на изменение векторов первых составляющих вибрации, выходят за пределы диапазонов допустимых значений этих коэффициентов (вертикальное и поперечное направление измерений вибрации вала и (или) опор РВД или РСД); 2) в режиме выбега: выход уровней первых составляющих вибрации на основных критических частотах вращения за пределы допустимых значений (вертикальное направление измерений вибрации вала и (или) опор); выход уровней вторых составляющих вибрации на критических частотах вращения второго рода за пределы допустимых значений (вертикальное направление измерений вибрации вала и (или) опор); 3) в режиме валоповорота: выход за пределы допустимых уровней значений отношений размахов перемещений вала в вертикальном направлении к размахам в поперечном направлении.

При диагностировании обрыва болтов соединительных муфт валопровода к необходимым измеряемым величинам относятся амплитуды первых и вторых составляющих вибрации опор (мм/с); амплитуды первых и вторых составляющих виброперемещений шеек валов (мкм); частота вращения (об./мин); активная мощность генератора; сдвиги фаз первых составляющих вибрации вала и (или) опор.

Наиболее вероятное место проявления дефекта — муфта РВД-РСД в турбоагрегатах, выполненных по трехопорной схеме РВД-РСД.

Основные диагностические признаки обрыва болтов соединительных муфт валопровода: 1) в режиме работы под нагрузкой: возникновение тренда первых составляющих вибрации (вертикальное и поперечное направления измерений); прогнозируемое время до достижения предельно допустимого уровня вибрации 7,1 мм/с (для опор) и (или) 250 мкм (для вала) составляет менее 24 ч; значения коэффициентов регрессии, характеризующих влияние изменения активной мощности генератора на изменение векторов первых составляющих вибрации, выходят за пределы диапазонов допустимых значений этих коэффициентов; на смежных опорах векторы изменений первых составляющих вибрации одного направления при изменении активной мощности генератора имеют противофазный или близкий к нему характер; 2) в режиме выбега: те же, что и для трещины в роторе.

Экспертные правила продукционного типа в контексте решаемой задачи вибродиагностики делятся на две группы: правила для диагностики трещин в

роторе и правила для диагностики обрыва болтов соединительных муфт валопровода. Приведем примеры экспертных правил для диагностики трещин в роторе.

**Правило 1.** Если при работе под нагрузкой наблюдается возникновение тренда (возрастание вибрации во времени) в вертикальном направлении измерений по каналу ротора генератора, причем прогнозируемое время до достижения предельно допустимого уровня вибрации 250 мкм (для вала) меньше 24 ч, то регистрируется опасное повышение вибрации на роторе генератора и необходимо продолжить анализ на режиме выбега.

**Правило 4.** Если при работе под нагрузкой тренд не обнаружен или наблюдается возникновение тренда в вертикальном направлении измерений по каналу какого-либо ротора, но прогнозируемое время до достижения предельно допустимого уровня вибрации 250 мкм (для вала) больше 24 ч, а значения коэффициентов регрессии, характеризующих влияние снижения температуры пара на входе в цилиндр высокого или среднего давления на модули изменений векторов первых составляющих вибрации, не выходят за пределы диапазонов допустимых значений этих коэффициентов (вертикальное и поперечное направление измерений вибрации вала и (или) опор РВД или РСД), то необходимо продолжить анализ на рабочем режиме.

**Правило 5.** Если при работе под нагрузкой зарегистрировано опасное повышение вибрации на РГ или РНД или есть подозрение на трещину в РВД или РСД, а на режиме выбега уровни первых составляющих вибрации на основных критических частотах вращения выходят за пределы допустимых значений (вертикальное направление измерения вибрации вала и/или опор) и уровни вторых составляющих вибрации на критических частотах вращения второго рода выходят за пределы допустимых значений (вертикальное направление измерения вибрации вала и (или) опор), причем на режиме валоповорота отношения размахов перемещений вала в вертикальном направлении к размахам в поперечном направлении выходят за пределы допустимых значений, то делается вывод с уверенностью 90 % о наличии трещины в роторе, в отношении которого возникли подозрения при режиме работы под нагрузкой.

Всего в базу знаний прототипа ИСППР РВ введено 11 правил для диагностики трещин в роторе и 21 правило для диагностики обрыва болтов соединительных муфт валопровода.

Нетрудно заметить, что правила связаны с довольно сложным анализом текущей ситуации при достаточно жестких временных ограничениях на поиск решения. Поэтому решено использовать аппарат таблиц решений [8].

Исходная задача вибродиагностики была редуцирована на две независимые подзадачи — диагностику трещин в роторе и диагностику обрыва болтов соединительных муфт валопровода.

*Подзадача диагностики трещин в роторе.* Для компактности записи экспертных правил в табличном виде введем следующие переменные: *diag* — целевая переменная, значение которой — диагноз; *to* — характеризует режим работы турбины (рабочий под нагрузкой или выбега); *tr* — наличие или

отсутствие тренда; *ch* — тип ротора (РГ или РНД); *pr* — прогнозируемое время до достижения предельно допустимого уровня вибрации (меньше или больше 24 ч); *te* — отсутствие или наличие выхода значений коэффициентов регрессии за пределы допустимых значений для РВД или РСД; *ok1* и *ok2* — наличие или отсутствие выхода первых или вторых составляющих вибрации на основных критических частотах вращения за пределы допустимых значений; *avp* — наличие или отсутствие выхода за пределы допустимых значений в режиме валоповорота отношения размахов перемещений вала в вертикальном направлении к размахам перемещений в поперечном направлении; *runmode* — тип отклонения (целое число от единицы до 10); *mes* — тип сообщения, выдаваемого ЛПР; *vibeg* — переход к наблюдению в режиме выбега.

Продукционные правила 1—11 при введенных обозначениях представлены в следующем виде:

**Правило 1 ( $P_1$ ).** Если  $mo = \text{"РАБОЧИЙ"} \ \& \ tr = \text{"ДА"} \ \& \ ch = \text{"РГ"} \ \& \ pr < 24$ , то  $runmode = 1$ ,  $mes = ch$ ,  $vibeg$ .

**Правило 2 ( $P_2$ ).** Если  $mo = \text{"РАБОЧИЙ"} \ \& \ tr = \text{"ДА"} \ \& \ ch = \text{"РНД"} \ \& \ pr < 24$ , то  $runmode = 2$ ,  $mes = ch$ ,  $vibeg$ .

**Правило 3 ( $P_3$ ).** Если  $mo = \text{"РАБОЧИЙ"} \ \& \ (tr = \text{"НЕТ"} \ \vee \ tr = \text{"ДА"} \ \& \ pr > 24) \ \& \ (te = \text{"РСД"} \ \vee \ te = \text{"РВД"})$ , то  $runmode = 6$ ,  $mes = te$ ,  $vibeg$ .

**Правило 4 ( $P_4$ ).** Если  $mo = \text{"РАБОЧИЙ"} \ \& \ (tr = \text{"НЕТ"} \ \vee \ tr = \text{"ДА"} \ \& \ pr > 24) \ \& \ te = \text{"НЕТ"}$ , то  $runmode = 10$ .

**Правило 5 ( $P_5$ ).** Если  $mo = \text{"ВЫБЕГ"} \ \& \ (runmode = 1 \ \vee \ runmode = 2 \ \vee \ runmode = 6) \ \& \ ok1 = \text{"ДА"} \ \& \ ok2 = \text{"ДА"} \ \& \ avp = \text{"ДА"}$ , то  $diag = \text{"ТРЕЩИНА"} \ cf90$ .

**Правило 6 ( $P_6$ ).** Если  $mo = \text{"ВЫБЕГ"} \ \& \ (runmode = 1 \ \vee \ runmode = 2 \ \vee \ runmode = 6) \ \& \ ok1 = \text{"НЕТ"} \ \& \ ok2 = \text{"ДА"} \ \& \ avp = \text{"ДА"}$ , то  $diag = \text{"ТРЕЩИНА"} \ cf60$ .

**Правило 7 ( $P_7$ ).** Если  $mo = \text{"ВЫБЕГ"} \ \& \ (runmode = 1 \ \vee \ runmode = 2 \ \vee \ runmode = 6) \ \& \ ok1 = \text{"ДА"} \ \& \ ok2 = \text{"НЕТ"} \ \& \ avp = \text{"ДА"}$ , то  $diag = \text{"ТРЕЩИНА"} \ cf50$ .

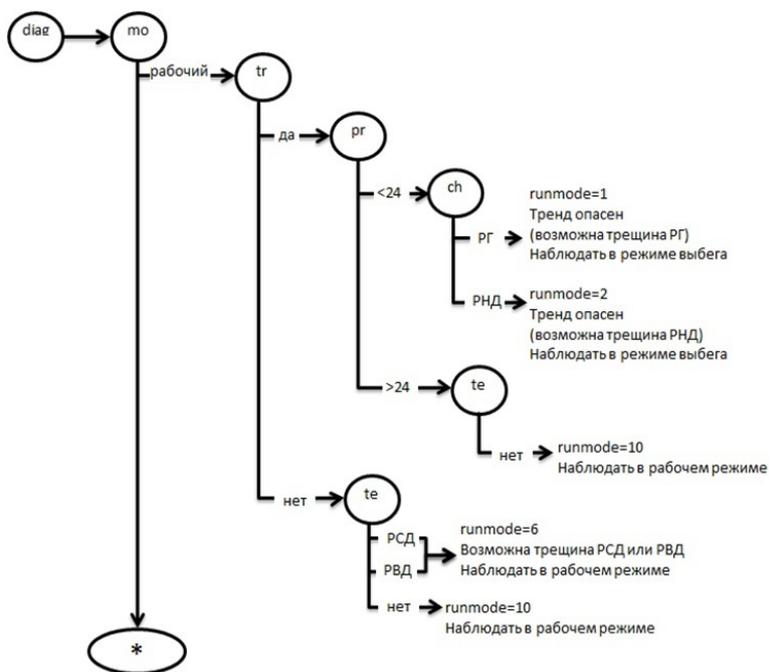
**Правило 8 ( $P_8$ ).** Если  $mo = \text{"ВЫБЕГ"} \ \& \ (runmode = 1 \ \vee \ runmode = 2 \ \vee \ runmode = 6) \ \& \ ok1 = \text{"ДА"} \ \& \ ok2 = \text{"ДА"} \ \& \ avp = \text{"НЕТ"}$ , то  $diag = \text{"ТРЕЩИНА"} \ cf45$ .

**Правило 9 ( $P_9$ ).** Если  $mo = \text{"ВЫБЕГ"} \ \& \ (runmode = 1 \ \vee \ runmode = 2 \ \vee \ runmode = 6) \ \& \ ok1 = \text{"НЕТ"} \ \& \ ok2 = \text{"НЕТ"} \ \& \ avp = \text{"ДА"}$ , то  $diag = \text{"ТРЕЩИНА"} \ cf40$ .

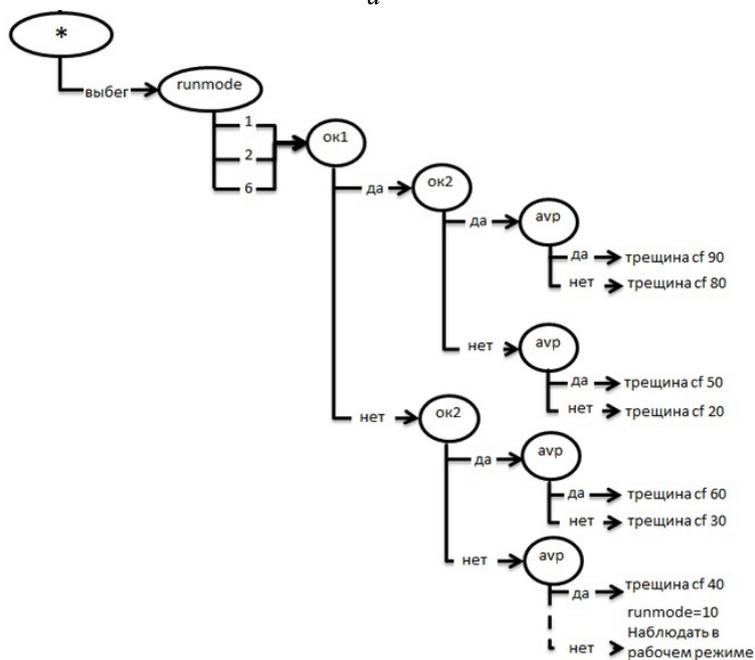
**Правило 10 ( $P_{10}$ ).** Если  $mo = \text{"ВЫБЕГ"} \ \& \ (runmode = 1 \ \vee \ runmode = 2 \ \vee \ runmode = 6) \ \& \ ok1 = \text{"НЕТ"} \ \& \ ok2 = \text{"ДА"} \ \& \ avp = \text{"НЕТ"}$ , то  $diag = \text{"ТРЕЩИНА"} \ cf30$ .

**Правило 11 ( $P_{11}$ ).** Если  $mo = \text{"ВЫБЕГ"} \ \& \ (runmode = 1 \ \vee \ runmode = 2 \ \vee \ runmode = 6) \ \& \ ok1 = \text{"ДА"} \ \& \ ok2 = \text{"НЕТ"} \ \& \ avp = \text{"НЕТ"}$ , то  $diag = \text{"ТРЕЩИНА"} \ cf20$ .

Символы  $\&$  и  $\vee$  соответствуют связкам естественного языка «и» и «или». Анализ правил показывает, что появиться трещина может только в режиме выбега, в режиме работы турбины под нагрузкой возможно лишь возникновение предпосылок к ее появлению, о чем и сообщается ЛПР с дальнейшим продолжением наблюдения. Проверка табличной модели принятия решений (МПР) на корректность (на непротиворечивость и полноту) осуществляется экспертом по построенному предварительно дереву решений (ДР), представленному на рисунке 2. Легко заметить, что даже для рассматриваемого сравнительно несложного примера, включающего всего 11 продукционных правил, эта процедура довольно утомительна и не исключает ошибок.



а



б

Рис. 2. ДР для подзадачи диагностики трещин в роторе: начало (а); продолжение (б)

Данный набор правил был представлен в табличном виде (рис. 3). Условия  $C_1 — C_{10}$  и действия  $A_1 — A_8$  при введенных обозначениях примут следующий вид:

$C_1 = (mo = \text{"РАБОЧИЙ"})$ ,  $C_2 = (tr = \text{"ДА"})$ ,  $C_3 = (pr < 24)$ ,  $C_4 = (ch = \text{"РГ"})$ ,  $C_5 = (te = \text{"РСД"} \text{ or } te = \text{"РВД"})$ ,  $C_6 = (runmode = 1 \text{ or } runmode = 2 \text{ or } runmode = 6)$ ,  $C_7 = (ok1 = \text{"ДА"})$ ,  $C_8 = (ok2 = \text{"ДА"})$ ,  $C_9 = (avp = \text{"ДА"})$ ,  $C_{10} = (tr = \text{"НЕТ"} \text{ or } tr = \text{"ДА"} \ \& \ pr > 24)$ ;  $A_1 = (runmode = 1)$ ,  $A_2 = (runmode = 2)$ ,  $A_3 = (runmode = 6)$ ,  $A_4 = (runmode = 10)$ ,  $A_5 = (mes = ch)$ ,  $A_6 = (mes = te)$ ,  $A_7 = (vibeg)$ ,  $A_8 = (diag = \text{"ТРЕЩИНА"})$ .

	$P_1$	$P_2$	$P_3$	$P_4$	$P_5$	$P_6$	$P_7$	$P_8$	$P_9$	$P_{10}$	$P_{11}$
$C_1$	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
$C_2$	1	1									
$C_3$	1	1									
$C_4$	1	0									
$C_5$			1	0							
$C_6$					1	1	1	1	1	1	1
$C_7$					1	0	1	1	0	0	1
$C_8$					1	1	0	1	0	1	0
$C_9$					1	1	1	0	1	0	0
$C_{10}$		1	1								
$A_1$	1										
$A_2$		1									
$A_3$			1								
$A_4$				1							
$A_5$	1	1									
$A_6$			1								
$A_7$	2	2	2								
$A_8$					1	1	1	1	1	1	1
<i>cf</i>	100	100	100	100	90	60	50	45	40	30	20

Рис. 3. ТР для задачи диагностики трещин в роторе

Проверка на семантическую корректность выявила неполноту МПР, что не было установлено экспертом при анализе решающего дерева. Соответствующее состояние было представлено эксперту, и МПР была пополнена еще одним правилом для режима выбега:

*Правило 12 (P12). Если  $mo = \text{"ВЫБЕГ"} \ \& \ (runmode = 1 \vee runmode = 2 \vee runmode = 6) \ \& \ ok1 = \text{"НЕТ"} \ \& \ ok2 = \text{"НЕТ"} \ \& \ avp = \text{"НЕТ"} \ \& \$*  то (THEN)  $runmode = 10$ .

Данное правило соответствует в табличной МПР правилу

$$\neg C_1 \ \& \ C_6 \ \& \ \neg C_7 \ \& \ \neg C_8 \ \& \ \neg C_9 \rightarrow A_4, \ cf \ 100.$$

Исходная ТР (рис. 3) дополнена правилом P12, соответствующее ДР также скорректировано (добавлена ветвь, помеченная на рисунке 2, б штриховой линией). Аналогичная табличная МПР создана и проверена на корректность для диагностики обрыва болтов соединительных муфт валопровода.

### Заключение

Построенные табличные МПР были протестированы и апробированы в составе прототипа ИСППР РВ. Результаты апробации показали, что разработанные МПР решают поставленную задачу диагностики и выдают ответы, соответствующие заданным экспертным правилам. Далее, используя средства языков CLIPS и C#, реализованы имитаторы предметной области, которые составили основу прототипа ИСППР РВ для мониторинга и вибродиагностики турбоагрегата, а также для обучения оперативно-диспетчерского персонала. При этом модули поиска решения на основе табличной МПР интегрированы с модулями прогнозирования развития ситуаций на основе методов обучения с подкреплением [9].

*Исследования проводятся при финансовой поддержке РФФИ (проекты № 20-07-00498 А, 20-57-00015 Бел\_а).*

### Список литературы

1. *Поспелов Д. А.* Логико-лингвистические модели в системах управления. М. : Энергоиздат, 1981.
2. *Поспелов Д. А.* Ситуационное управление: теория и практика. М. : Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.
3. *Колесников А. В., Листопад С. В.* Концептуально-визуальные основы виртуальных гетерогенных коллективов, поддерживающих принятие решений // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. III Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. С. 8—56.
4. *Кириков И. А., Петренко Е. В., Румовская С. Б., Суворов К. В.* Тенденции развития искусственных гетерогенных систем // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. III Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. С. 158—165.
5. *Вагин В. Н., Еремеев А. П.* Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. №6. С. 114—123.
6. *Башлыков А. А., Еремеев А. П.* Экспертная диагностическая система как компонент интеллектуальной системы поддержки принятия решений реального времени // Новости искусственного интеллекта. 2002. №3. С. 35—40.
7. *Башлыков А. А., Еремеев А. П.* Основы конструирования интеллектуальных систем поддержки принятия решений в атомной энергетике : учебник. М. : ИНФРА-М, 2017.

8. *Еремеев А. П.* Развитие аппарата таблиц решений в контексте создания гибридных интеллектуальных систем семиотического типа // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. III Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. С. 121—132.

9. *Еремеев А. П., Герасимова А. Е.* Разработка средств интеллектуальной поддержки принятия решений в рамках «Цифровой энергетики» // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. V Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2020. С. 18—27.

**А. В. Колесников<sup>1</sup>, А. В. Барзенков<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup> Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия  
e-mail: <sup>1</sup>avkolesnikov@yandex.ru, <sup>2</sup>avbarzenkov@mail.ru

## **СЕМИОТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ КОНЦЕПТОСФЕРЫ МОДЕЛИ МИРА СУБЪЕКТА ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПО РАЗРАБОТКЕ И ПРИМЕНЕНИЮ КОГНИТИВНЫХ ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ**

Посвящается светлой памяти моего друга  
Валеры Тарасова, принесшего в искусственный интеллект «свежий ветер» перемен системной парадигмы.

*А. Колесников*

### **Введение**

«Искусственный интеллект» как научно-популярный термин обозначает искусственную когнитивную систему, компьютерный алгоритм, способный действовать самостоятельно и рационально, в том числе с учетом поступающей из внешней среды информации. Однако сегодня еще рано говорить об искусственном интеллекте (ИИ) как о «сущности», способной думать или действовать как человек [1]. С точки зрения гражданского права система, оснащенная ИИ, — это всего-навсего вещь, объект правоотношений, и доказать ее ответственность, если она из-за сбоя или недостаточного совершенства своих алгоритмов нанесла окружающим вред, невозможно [2]: в Москве водителю пришел штраф от системы ИИ за то, что тень от автомашины пересекла сплошную линию, а других автолюбителей штрафуют за управление автомобилями, передвигавшимся, так же по данным видеоконтроля, со скоростью выше допустимой на 200—300 км/ч [3]; ИИ терпит фиаско в актуальной борьбе с COVID-19 — за период пандемии в мире созданы сотни ИИ-инструментов, не пригодных для клинического использования. В частности, данные сканирования грудной клетки детей, у которых не было COVID-19, вводились в искусственную нейронную сеть в качестве примеров того, как выглядят случаи «не-ковида». В результате ИИ научили распознавать не болезнь, а детей [4].

На полке научных и околонучных ИИ-вещей с рождения термина «искусственный интеллект» в мире скопилось пугающее разнообразие изданий со следующими «заголовками»: *вычислительный интеллект, эмоциональный интеллект, роевой интеллект, множественный интеллект, социальный интеллект, искусственный интеллект, искусственное сознание, искусственный разум, система искусственного интеллекта, символичный искусственный ин-*

---

© Колесников А. В., Барзенков А. В., 2022

*теллект, символический искусственный интеллект, подсимвольный искусственный интеллект, слабый искусственный интеллект, сильный искусственный интеллект, дружественный искусственный интеллект, доверенный искусственный интеллект, объяснимый (объяснительный) искусственный интеллект, нейроморфный искусственный интеллект, распределенный (децентрализованный) искусственный интеллект.* Стоит ли удивляться тому, что в условиях такого разнообразия научная молодежь при отсутствии фундаментальных междисциплинарных знаний, стремясь заработать на жизнь, «шарахается из стороны в сторону», фантазируя о «спасательном круге» в безбрежном океане знаний об ИИ. Наука ИИ за почти 70 лет своего существования неоднократно «бросала» разработчикам-практикам подобные средства: нечеткие множества Л. Заде (1965) и нечеткую логику Э. Мамдани (середина 1970-х гг.), Т. Такаги и М. Сугено (1989), генетические алгоритмы Дж. Холланда (1975), экспертные системы, базы и инженерии знаний Э. А. Фейгенбаума (1970-е гг.), искусственные нейронные сети различных топологий (К. Фукусима, Т. Кохонен, Дж. Хопфилд, П. Вербос, А. И. Галушкин и др.), модель динамической памяти Р. Шенка (конец 1970-х гг.) и прецедентные системы, наконец, сверточные нейронные сети для обработки изображений, впервые предложенные Я. ЛеКуном (США) и Й. Бенджо (Канада) в 1988—1989 гг. и привлекшие к себе внимание в 2012 г., после того как А. Крижевски благодаря им выиграл конкурс по машинному зрению.

Но с «возрастом» ИИ ситуация мало меняется, более того, стали говорить о «мыльном пузыре» искусственного интеллекта. Исчезли «рыцарские поединки» между дисциплинарными школами, что усиливает центробежные тенденции ИИ. Игнорируется тот факт, что каждая технология («спасательный круг») ИИ имеет свои сильные и слабые стороны, а продуманное сочетание этих методов может дать превосходные результаты [5]. Неоправданно забыта мысль основателя одной из школ ИИ в СССР профессора Л. Т. Кузина, высказанная им на секции ИИ во время конференции по АСУ в 1976 г. в Тбилиси: «Мы похожи на группу энтузиастов, которые на телеге пытаются достичь второй космической скорости». Не осознается и недопонимается колоссальная сложность субъекта интеллектуальной деятельности, образно выраженная японским философом и психологом, профессором Т. Судзуки: «Вися над пропастью и держась руками за единственную ветку дерева, называемого интеллектом, добровольно разжать руки и броситься в бездну, зная, что она не имеет конца, — разве это не требует невероятного усилия со стороны того, кто пытается измерить глубину духовной бездны?» В итоге ИИ до сих пор, в XXI в. не научился отличать автомобиль от тени, а человека от болезни.

Для понимания проблематики качества ИИ обратимся к мнению заслуженного деятеля науки РФ В. К. Финна: чтобы компьютерная система могла называться интеллектуальной, она должна в своей архитектуре содержать конструктивное «ядро» приближений к способностям интеллекта для реали-

зации рассуждений и представления знаний: «Интеллектуальная система = Решатель задач + Информационная среда + Интеллектуальный интерфейс» [6] (выделен элемент ядра и составляющая проблемно-структурной (ПС) технологии гибридных интеллектуальных систем (ГиИС) [7]).

Существенная причина низкого качества ИИ-вещей находится в прямой зависимости от неисполнения разработчиками архитектурных и технологических нотаций информационной среды интеллектуальных систем: 1) игнорирование известного в психологии факта, что в процессе решения конструкторских задач в клетках коры головного мозга строится и работает внутренняя Модель Мира — основа поведения субъекта, выступающая в качестве основного психологического механизма решения задач обработки информации, о котором говорили Д. А. Поспелов и В. Н. Пушкин еще в 1972 г. [8]; тем не менее в [9] подчеркнута, что на сегодняшний день нет инструмента, «объяснения» устройства мира для систем ИИ, а в [10, с. 5] сказано следующее: «Говоря о представлении знаний в ИИ и основанных на нем моделях окружающей действительности (Моделях Мира), следует признать, что отсутствие в Моделях Мира субъекта деятельности существенно ограничивает возможности как самих моделей, так и основанных на них интеллектуальных систем»; 2) игнорирование субъектами-конструкторами так же известного факта наличия у субъектов-экспертов, в частности, оперативного управления объектами с высокой пространственно-временной динамикой, их оригинальных внутренних Моделей Мира — основы профессиональной деятельности и психологических механизмов разрешения проблемных ситуаций; существенная разница моделей мира ИИ-вещей и естественных интеллектуальных гетерогенных систем показана в [11]; 3) игнорирование того факта, что ХХ в. принес в ИИ «свежий ветер» перемен социальной, в смысле М. Минского, системной, в смысле В. Б. Тарасова, и гибридной, в смысле А. В. Колесникова, парадигм, исходящих из факта, что отдельно взятая технология ИИ обладает как преимуществами, так и недостатками, и только в продуманной субъектом-конструктором комбинации методов и моделей может возникнуть эмерджентность и синергетический эффект, когда дополнительность и сотрудничество сведут к минимуму частные недостатки и позволят автоматизировано решать сложные задачи практики принятия индивидуальных и коллективных решений; перемены коснулись терминологии, теории, методологии, технологий и практики ИИ.

В докладе представлены новые результаты исследований информационной среды ГиИС как отражения Модели Мира субъекта деятельности по разработке и применению когнитивных ГиИС (КГиИС) в системах оперативного управления объектами с высокой пространственно-временной динамикой в региональных электрических сетях: 1) категоризации и концептуализации информационной среды в ее интегрированной многоуровневой схеме; 2) семиотической модели концептосферы Модели Мира, моделированию смешанных чувственно-вербальных психических конструкций *задача* и *проблема*,

цель управления, фаза управления, жизненный цикл управления; 3) психологических механизмов решения задач и проблем; 4) когнитивной гибридной интеллектуальной адаптивной системы оперативного управления с семиотической моделью концептосферы Модели Мира и двухзвенной моделью имитации мыслительных механизмов субъекта деятельности; 5) архитектуры системы оперативного управления объектами с высокой пространственно-временной динамикой с автоматическим партнером в ее составе.

### 1. Информационная среда проблемно-структурной технологии когнитивных гибридных интеллектуальных систем

Выполняя гибридизацию, субъект-разработчик, следующий ПС-методологии [7], имеет дело с тремя основными ментальными сущностями: моделью сложной задачи (объектом-оригиналом), моделями нескольких методов решения задач (объектами-прототипами), моделью КГиИС (объектом-результатом) (рис. 1, а). Первые два объекта — источники информации для гибридизации, а последний — основа направленного формообразования, изначально программирующая то, что должно появиться в конце, после трансформации информации.



Рис. 1. Субъекты деятельности по разработке и использованию гибридного интеллекта в оперативном управлении:

а — объекты ПС-технологии КГиИС; б — актуальность семиотической модели концептосферы Моделей Мира субъектов-экспертов оперативного управления и субъектов-разработчиков автоматических партнеров по ПС-методологии гибридизации

Объекты-оригиналы — отображение разнородной информации, обеспокоенности субъекта деятельности по поводу имеющегося у него во внутреннем мире устойчивого противоречия, разрыва в деятельности, недостаточности выявленных условий, неопределенности цели. Отличаются значительной сложностью структуры и состава и не «вовлечены» в решение в полном объеме. Объекты-результаты наследуют функциональную неоднородность объектов-оригиналов — основы для разработки гетерогенного модельного поля КГиИС.

Объекты-прототипы «хранят» идеи своих авторов, знания и опыт решения актуальных задач, чаще всего в ограниченном, игровом мире с принятыми и ограниченными в рамках научной школы и дисциплины правилами. Инструментальная неоднородность проблемных ситуаций преодолевается комбинированием и агрегированием в КГиИС положительных признаков над разнообразием информации в шести классах базисных методов.

Объекты-результаты «хранят» идеи, принципы и почти 40-летний опыт гибридизации Калининградской школы ИИ информационно-советующих КГиИС (автоматических партнеров субъекта оперативного управления) для информационной подготовки решений, расширяют умственные способности субъектов-операторов, в своей архитектуре, а также алгоритмах имитации их мыслительных механизмов отображают разнообразие мыслительных механизмов конструирования решений, а также способность из имеющегося опыта устойчивых ментальных представлений динамически, ситуативно создавать интегрированные методы и модели и применять их для преодоления разнообразия проблемных ситуаций.

ПС-технология когнитивных гибридных интеллектуальных систем как один из факторов выработки новых научных знаний, следуя А.И. Ракитову [12], охватывает инструментальную среду, совокупность операций информатики по системному анализу сложных задач и синтезу КГиИС, систему управления деятельностью разработчика и информационную среду этой деятельности:

$${}^3X^n|T = \langle {}^3X^n|O, \Pi^O, M, {}^9X^n|P, L^U \rangle,$$

где  ${}^3X^n|O$  — технологические операции, операционные процедуры, детализирующие этапы деятельности субъекта-разработчика, субъекта оперативного управления (экспертов) и уточняющие операции по входу, выходу, содержанию, файлам данных и знаний;  $\Pi^O$  — логически взаимоувязанная совокупность действий разработчика по преобразованию информации об объектах-оригиналах и объектах-прототипах в объекты-результаты [7];  $M$  — семиотическая модель концептосферы Модели Мира субъекта разработки информационной среды КГиИС (раздел 11);  ${}^9X^n|P$  — множество программных средств поддержки выполнения операций системного анализа сложных задач, синтеза и эксплуатации КГиИС (инструментальная среда);  $L^U$  — система управления деятельностью субъекта-разработчика, программное обеспечение для управления деятельностью разработчика КГиИС в соответствии с жизненным циклом ПС-методологии [5, рис. 8.19].

Информационная среда, или сфера, — это мир информации вокруг человека и мир его информационной деятельности по созданию, преобразованию и потреблению информации [13; 14], совокупность систематизированных и организованных специальным образом данных и знаний [15].

Информационная среда  $M$  проблемно-структурной технологии КГиИС — совокупность знаков-концептов, отображающая в компьютерной семиотической модели концептосферы Моделей Мира субъектов-экспертов оперативного управления и субъектов-разработчиков автоматических партнеров по ПС-методологии гибридизации (в дальнейшем будем использовать термин «Модель Мира субъекта деятельности»). По сути, это искусственный язык для записи семантической информации об объектах-оригиналах, объектах-прототипах, объектах-результатах, операциях  ${}^3X^n|O$  и их логической последовательности  $\Pi^O$ .

Семиотическая модель концептосферы Моделей Мира субъекта деятельности имеет следующие предназначения (рис. 1, б):  $M1$  — средство коммуникации между членами коллектива разработчиков функциональной ГиИС, между коллективами разработчиков (обмен опытом и знаниями) и между разработчиками и субъектами-экспертами в системе оперативного управления (извлечение знаний, изучение опыта, сбор и предварительная обработка информации);  $M2$  — инструмент категоризации, концептуализации и структурирования Модели Мира системы оперативного управления субъектами-экспертами;  $M3$  — средство компьютерного представления пространства, времени и знаний Модели Мира субъекта деятельности;  $M4$  — интеллектуальный интерфейс взаимодействия в человеко-машинной системе;  $M5$  — средство категоризации, концептуализации и структурирования Модели Мира системы оперативного управления субъектами-экспертами, а также Моделей Миров методов моделирования, моделирования решения задач и проблем и планирования деятельности субъекта-разработчика (раздел 5).

## 2. Гибридные интеллектуальные системы в парадигме когнитивной науки о размыкании в окружающую действительность

Когнитивная гибридная интеллектуальная система (КГиИС) — гибридная интеллектуальная система, чьи элементы гетерогенного модельного поля (ГМП) комбинируют предметно-изобразительные (ПИ) и предикативно-вербальные (ПВ) представления знаний, над которым ситуативно синтезируются интегрированные модели, используемые в двухзвенном имитационном механизме сложных психологических конструкций субъекта оперативного управления. КГиИС — «узел отношений», схема и способ видения Мира. В 1991—1992 гг. была анонсирована когнитивная графика А. А. Зенкина и Д. А. Поспелова, а идея КГиИС высказана в 2009—2012 гг. основателем инженерии образов И. Б. Фоминых. В 2015 г. А. В. Колесников и В. А. Данишевский предложили архитектурную схему с когнитивной компонентой для мониторинга и управления качеством электроэнергии в электросетях. В 2017 г. опубликовано несколько работ: А. Н. Аверкин и С. А. Ярушев создали модели для поддержки принятия решений в динамических ситуациях со слабой структурированностью, основанной на гибридной системе, интегрирующей

нечеткую иерархическую модель оценивания и нечеткую когнитивную модель ситуации. С. В. Ульянов и соавт. разработали гибридные когнитивные нечеткие системы управления автономным роботом. Л. В. Массель и В. Р. Кузьмин предложили семиотический подход к интеграции методов ситуационного управления, семантического моделирования и когнитивной графики применительно к электроэнергетике. В 2012—2018 гг. А. А. Башлыков и А. П. Еремеев создали интегрированную интеллектуальную систему реального времени «СПРИНТ-РВ» с когнитивной составляющей «глобус Башлыкова» и когнитивный образ «калейдоскоп» для поддержки принятия оперативно-диспетчерских решений по участку нефтепровода. В 2019 г. когнитивная графика активно применялась в приложениях исследования космоса и медицинской диагностики [16].

В контексте инженерии образов и когнитивной графики в 2016—2021 гг. исследованы «функциональные гибридные интеллектуальные системы визуального управления» [17] и КГиИС [18] как основополагающие концепции автоматических партнеров субъекта оперативной деятельности в системах с высокой пространственно-временной динамикой: региональных интеллектуальных электроэнергетических системах и цифровых консультантов по медицинской диагностике.

Когнитивные ГиИС своими архитектурой и оригинальностью представления знаний воплощают отказ от метафоры Джона фон Неймана мозга человека как вычислительного устройства и обозначают переход к парадигме размыкания в окружающую действительность, и позиционируются в таких зонах развития когнитивной науки в XXI в., как распределенное познание, ситуативное (контекстно-обусловленное) познание и познание в контексте реальной действительности.

Перечислим основные концепции и теории распределенного познания, применяемые в КГиИС: идея познания в естественных условиях когнитивной антропологии Э. Хатчинса [19], идея инженерной психологии гибридного интеллекта и гибридных интеллектуальных систем В. Ф. Венды [20]. В части ситуативного познания используются принцип дополнительности теоретической физики Н. Бора, идея нейрофизиологии существования в мозге «карты местности» Дж. О'Кифа, Мэй-Бритт Мозер и Э. Мозер, ситуативное время мозга исследователей нейрофизиологии из норвежского Института системной нейронауки им. Кавли [21; 22], теория окружающего мира и отражения светового потока психологии Д. Гибсона [23], организация лексической памяти человека, требующая сочетания гипотезы семантических маркеров с предикативной гипотезой психологии Д. А. Миллера [24], теория двойного кодирования психологии А. Паивию [25], схемы психологии У. Г. Найссера [26], психологические конструкции как синергия психических феноменов С. Э. Полякова [27], визуальное мышление Р. Арнхейма [28], идея коллективного интеллекта этнологии Л. Леви-Брюля [29] и гетерогенности мышления психологии П. Тульвисте [30], теория предметного действия и оперативного образа инженерной психологии Д. А. Ошанина [31], закон ситуации науки уп-

правления М. П. Фоллет [32], ситуационный подход в управлении П. Ф. Друкера [33], ситуационное управление Л. С. Болотовой (Загадской), Ю. И. Клыкова и Д. А. Поспелова [34; 35], концептуальные основы интеллектуального управления сложными динамическими объектами В. М. Лохина и И. М. Макарова [36], идея предметно-изобразительного кода (кода образов и схем) и двухзвенности механизма мышления человека лингвистики Н. И. Жинкина [37], интеграция психологических систем Н. У. Смита [38], концептуальная модель взаимодействия мышления человека с системой психологических барьеров Р. М. Грановской [39], феномен неоднородности результата действия человека при решении задач психологии Я. А. Пономарева [40; 41], теория проблемных ситуаций психологии А. М. Матюшкина [42], идеи концептов и концептосферы когнитивной лингвистики З. Д. Поповой и И. А. Стернина [43], идея многомодельной семиотической системы науки управления Я. А. Гельфанд-Бейна, А. В. Колесникова и И. Д. Рудинского [44] и визуальные переменные в когнитивной семиотике Ж. Бертена [45].

Распределенное познание протекает во внешнем по отношению к субъекту деятельности мире, включающем других индивидов, социальные институты, артефакты и пр. Ситуативное познание — это познание, разворачиваемое в среде, в контексте той или иной деятельности и ситуации, во взаимодействии субъекта с окружающим миром. Приход «ситуативного знания» на замену «вечному знанию» в гуманитарных, общественных отраслях, технике и технологиях связан с принципом дополнительности (комплиментарности) Н. Бора — важнейшим методологическим и эвристическим принципом науки: воспроизведение целостности явления требует применения в познании взаимоисключающих «дополнительных» классов понятий. Согласно теории двойного кодирования А. Паивии обработка визуальной информации в КГиИС организована в разных системах, создающих вербальные (предикативно-вербальные) и визуальные (предметно-изобразительные) коды. Первый код обеспечивает решение задач абстрактной символики, разворачивающихся во времени. А визуальный обеспечивает решение задач одномоментного пространственного плана. Созвучную А. Паивии идею универсального предметного кода (УПК, код образов и схем) и двухзвенности механизма мышления человека подтвердил экспериментально Н. И. Жинкин: несловесный ПИ-код, наглядные образы формируются в сознании субъекта деятельности в процессе восприятия им окружающей действительности. Этими образами субъект деятельности мыслит. Единицы УПК — нейрофизиологические единицы, кодирующие и хранящие в биоэлектрической форме все знания субъекта. Ключевая идея концептов и концептосферы современной когнитивной теории З. Д. Поповой и И. А. Стернина — базис концептуализации КГиИС. Концепты — категории мыслительные, ненаблюдаемые, ключевые понятия когнитивной лингвистики, базовые единицы мыслительного кода субъекта, обладающие относительно упорядоченной внутренней структурой, — результат познавательной (когнитивной) деятельности личности и общества. Концепто-

сфера — свод знаний из концептов, обобщающий знания внешнего мира, организующий мыслительные картины, схемы, символы, понятия, фреймы, сценарии, гештальты, пропозиции и когнитемы субъекта деятельности.

Схемы как основное понятие когнитивной психологии У.Г. Найссера — это имеющийся в голове субъекта план сбора и программа переработки информации об объектах и событиях системы деятельности. Схемы с биологической точки зрения — часть нервной системы субъекта. Они онтологизируют Мир, отображая его устройство, делают «невидимое» «видимым». Эксплуатируется идея гетерогенности мышления психологии П. Тульвисте: чем большим числом видов мышления обладает субъект, тем большее количество разновидностей проблемных ситуаций ему доступно. В 1920-е гг. М. Фоллетт говорила о «законе ситуации»: «различные ситуации требуют различных типов знаний» и различного реагирования. основополагающие утверждения ситуационного подхода к управлению: ситуация всегда изменяется; решение должно быть законом ситуации; решения должны включать в себя круговое, а не линейное поведение. В основных чертах основы ситуационного подхода к управлению сформулировал П. Друкер. Авторство термина «ситуационная теория управления» принадлежит Р. Моклеру (1971). Основателями ситуационного подхода часто называют американских исследователей П. Лоуренса и Дж. Лорша. Ситуационное управление (Л.С. Болотова (Загадская), Ю.И. Клыков, Д.А. Поспелов, 1968—1970) основано на построении обобщенной семиотической модели структуры и законов функционирования больших систем, для которых либо точная математическая модель отсутствует, либо ее использование из-за громоздкости практически нецелесообразно. В [46] Д.А. Поспелов одним из первых исследовал эволюцию структур систем управления: от системы управления без обратной связи до системы управления с семиотической моделью. В [5], развивая идеи Д.А. Поспелова, исследованы тенденции эволюции систем управления от многомодельной системы управления до гибридной адаптивной системы управления, а в 2021 г. на III Международной конференции по системам управления, математическому моделированию, автоматизации и эффективной энергетике (г. Липецк, Россия) анонсированы «Когнитивные гибридные интеллектуальные адаптивные системы управления» (КГиИАСУ).

### **3. Структурирование сознанием психического содержания субъекта деятельности в интеллектуальных системах с высокой пространственно-временной динамикой**

Приобретает взрывной характер расширение интеллектуальных возможностей субъекта-оператора и исследование высокодинамичных областей знаний, где требуется «узнать», «понять», «запомнить», «оценить ситуацию», «найти решение» и «проверить исполнение»: центров управления электрическими сетями, пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, радиолокационных станций, корабельных боевых информационно-управляющих систем и др.

Анализ тенденций XXI в.: 1) умные сети электроснабжения, интеллектуальная электроэнергетика и активно-адаптивные сети убедительно показывают их слабую согласованность с постулатом относительности знания, требующим введения в описание явления системы координат субъекта-наблюдателя для снижения относительности и неопределенности; 2) отсутствие в архитектуре автоматических партнеров Модели Мира субъекта оперативной деятельности существенно ограничивает возможности информационной среды и основанных на ней интеллектуальных систем управления; 3) аддитивная математика достигла принципиального предела продвижения в описании системных, синергетических эффектов реальности и психического содержания субъекта оперативного управления, и можно говорить только о сбережении накопленных ею и автоматикой знаний о «пилотировании» электросетей; 4) математические модели должны сотрудничать с эвристическими знаниями и накопленным опытом субъекта-оператора в гибридных и синергетических системах в качестве «автоматических партнеров» оперативных работников для совместного решения задач и проблем управления процессами на доступных человеческому восприятию, обдумыванию и реагированию временных интервалах.

Тенденция к структурированию сознанием психического содержания субъекта деятельности и к созданию психических конструкций замечена исследователями в психологии и в смежных науках. Это нашло отражение в появлении глобальных научных направлений — структурализма и конструктивизма, охвативших в XX в. обширные сферы самых разных гуманитарных исследований.

В психологии, когнитивной лингвистике и смежных науках давно используются и широко обсуждаются понятия, обозначающие сложные психические феномены субъекта деятельности: идеальные типы М. Вебера, ментальные схемы Ф. Бартлетта, схемы К. Лоренца, когнитивные карты Э. Толмэна, схемы и практические концепты Ж. Пиаже, эпистемы М. Фуко, символический порядок Ж. Лакана, фреймы Г. Бейтсона, Ч. Филлмора, М. Минского, И. Гоффмана, личные конструкты Дж. А. Келли, прототипы Э. Рош, пучки признаков, идеальные когнитивные модели Дж. Лакоффа, стереотипы Х. Патнэма, концептуальные схемы, скрипты, когнитивные структуры, сетевые модели, сценарии, психические конструкты, семантические и синтаксические универсалии, ментальные структуры, концепты В. Вундта, М. К. Мамардашвили, А. А. Леонтьева, А. А. Шевцова и психические конструкции С. Э. Полякова.

Применительно к субъекту деятельности в интеллектуальных информационных системах вообще и системах с высокой пространственно-временной динамикой в частности современные идеи и концепции, терминология когнитивной психологии, когнитивной лингвистики, филологии, философии пока не привлекли внимания специалистов по искусственному интеллекту [10]. Для ликвидации этого существенного пробела применительно к проблематике Модели Мира КГиИАСУ ниже тезисно рассматривается теория психических конструктов С. Э. Полякова [27], объясняющая возникновение сложных

психических феноменов в психике субъекта деятельности. Для этого проводятся аналогии объектов-оригиналов, объектов-прототипов и объектов-результатов ПС-методологии гибридизации [5] с психическими конструкциями С. Э. Полякова психического содержания субъектов деятельности по разработке и использованию интеллектуальных систем управления.

Сознание субъекта окружающую реальность в целом репрезентирует сущностно, а доступную восприятию реальность — предметно и вещественно. При отсутствии возможности чувственного репрезентирования реальности сознание по отрывкам данных восприятия продолжает конструировать вербальные репрезентации уже умозрительных сущностей. Сущность — это то, что сознание субъекта деятельности конституирует или конструирует как очевидно отличное от других сущностей и помещает ее в Модель Мира. Сущность включает содержание понятий *объект, явление, свойство, действие* и пр., репрезентируется концептом и обозначается словом, что упрощает Мир и облегчает его понимание.

Относительно семантики триады *слово — понятие — концепт* С. Э. Поляков [27] придерживается мнения Ф. де Соссюра. Слова — сравнительно простые искусственные объекты физической реальности, как и другие звуки, создаваемые субъектами для коммуникации между собой. Сознание субъекта деятельности создает модели-репрезентации воспринимаемых им слов. Слова — это объекты-знаки, а акустические образы слов — носители дополнительного значения или замещающие аналоги сущностей, обозначаемых данными словами. Наиболее удачно определил термин *понятие* Г. Г. Шпет: «...понятием мы можем назвать все то, что выражается в форме слова или совокупности слов» (цит. по: [27, с. 99]). С учетом популярной традиции в когнитивной психологии объединять понятие и концепт С. Э. Поляков вводит два термина *полное понятие*: просто *понятие* и *редуцированное понятие*, понимая под первым психическую конструкцию, образованную ассоциированным с образом определенного слова *концептом*, репрезентующим некую сущность, обозначаемую данным *словом*, а под вторым — *образ слова*, замещающий собой в мышлении *полное понятие*. В результате *образ слова* приобретает способность замещать в сознании субъекта концепт, репрезентующий и обозначаемый словом *предмет*.

По мнению С. Э. Полякова, концепт — устойчивая психическая конструкция или особая форма сложных психических феноменов, репрезентирующая некую сущность реальности, обозначаемую в языке определенным словом. Определение понятия можно назвать вербальной моделью концепта данного понятия, специально создаваемой исследователями. Таким образом, автор предлагает ввести вместо используемого в англоязычной литературе слова *концепт* три новых термина с более четкими значениями: понятие — соответствующее старому *понятию* и / или *концепту*, *концепт* и *редуцированное понятие*.

Психические конструкции не просто случайные наборы связанных между собой мгновенных образов и ощущений, обладающие лишь суммой свойств

этих явлений, а самостоятельные новые целостные психические феномены с новыми свойствами, выполняющие в психике функцию репрезентирования сущностей окружающей реальности и самой психики. Будем различать, следуя С. Э. Полякову, три основные группы психических конструкций: преимущественно чувственные, преимущественно вербальные и смешанные.

Пример первых — полимодальная модель-репрезентация предмета, возникающая в сознании субъекта деятельности как синтез разномодальных ощущений и мгновенных образов, создаваемых разными чувственными анализаторами, и репрезентирующая предмет физического мира.

По мнению Ж. Ф. Ришара, первым зарубежным исследователем, выдвинувшим аргументы в пользу существования репрезентаций, имеющих образную природу, был А. Паивио [25], мысленные образы — С. М. Косслин [47], а Р. Шепард и Дж. Метцлер [48; 49] изучали пространственные репрезентации — иллюзии восприятия и ментальное вращение. Тем не менее еще в 1982 г. Н. И. Жинкин доказал существование у субъекта деятельности несловесного предметно-образного кода, наглядных образов. Интеллект-адресат сообщения не понимает естественного языка (ЕЯ) — у него собственный информационный язык для построения гипотез, доказательств, выводов, решения и т. д. Интеллект вырабатывает понятия, суждения, делает умозаключения и выводы для отражения действительности и мотивов деятельности. Единицы УПК, объединяясь в комплексы, создают комплексные картины, активация признаков-элементов выполняется предикацией.

В современной лингвистике и когнитивной лингвистике есть термины, похожие на УПК: образный код, смешанный код, предметно-схемный код, внутренний субъективный код, предметно-изобразительный код, вторичный код, язык мозга, автономный код, индивидуальный код и др. Когнитивная сущность образных репрезентаций — исходная протосемантическая психическая конструкция, переводящая довербальную информацию в смысловое содержание слова. По мнению А. А. Потебни, внутренняя форма слова есть отношение содержания мысли к сознанию. Она показывает, как представляется субъекту деятельности его собственная мысль.

Пример вторых — вербальные концепты, устойчивые и стандартизованные вербальные психические конструкции, репрезентирующие реальные, гипотетические или вымышленные сущности. В [50] речь идет о «пропозициональных кодах» для кодирования абстрактных знаний в привилегированной и проверенной предикативной модели. Ее базовая структура — «предикат-аргумент», элементарная структура, которой можно присвоить значения «истина» или «ложь». Предикативная модель имеет большой успех в лингвистике для выражения знаний в ЕЯ, поскольку ее преимущество — возможность вычислений для известных языков с предикативной структурой.

Концепты субъекта деятельности территориально распределены между левым (ЛП) и правым (ПП) полушариями мозга и отвечают за процедурный, операциональный аспект его мыследеятельности, за правильность и последовательность мыслительных операций. Это формально-логический, синтакси-

ческий, предикативный механизм комбинирования и перекомбинирования в линейные последовательности (предложения) редуцированных (вырожденных) языковых знаков вне зависимости их отношений к внешнему миру [51]. Языковой знак ЛП субъекта активен; слово осознается как сущность, отдельная, независимо существующая от денотата, как конвенциональный, искусственно сотворенный объект; в слове на первый план выступают потенциальные, синтагматические и парадигматические связи с другими словами; актуальны отношения между знаками и предельно ослаблен семантический аспект. Правое полушарие субъекта деятельности следит за «добротностью» материала, которым оперирует мысль, — устанавливает соответствие содержания мысли и реальности. Языковой знак ПП инертен, не агрегируется с другими знаками; руководствуется законами вещного мира, сочетаемостью денотатов; ПП не осознает произвольности, конвенциональности языкового знака; для ПП слово не отторжимо от предмета, его часть, это такой же признак, как форма, цвет, запах; слово отождествляется с денотатом; слово — естественная часть, признак вещи; обеспечивает денотативную семантику, поступаясь синтактикой — свободой комбинирования знаков; в вещном мире существуют жесткие ограничения на комбинации.

Смешанные чувственно-вербальные психические конструкции — наибольшая часть психических конструкций субъекта деятельности, репрезентирующих аспекты окружающей реальности, не имеющие обозначающих понятий, ответственных за понимание субъектом локации, ситуативного времени и ориентации в личном Я, самооценку, личные цели, мировоззрение, и ограничивающие функционирование сознания, уменьшая неопределенность принятия решений.

#### 4. Категориальный базис Модели Мира субъекта деятельности

А. И. Уемов [52] разработал параметрическую общую теорию систем и новое логическое исчисление, основанное на двух тройках категорий: «вещь — свойство — отношение» и «определенное — неопределенное — произвольное» формального аппарата языка тернарного описания систем. Особенность триады «вещь — свойство — отношение» — все эти категории определяются друг через друга, причем центральная, основная категория — категория вещи.

Вещь — это система качеств; различные вещи — различные системы качеств; одна и та же вещь — одна и та же система качеств; вещи существуют в пространстве и времени.

Свойство обозначает все то, что не является границами данной вещи, то, что, характеризуя вещи, не образует новых вещей. Качество и свойство иногда трудно различимы. Вещи и свойства можно воспринимать чувственно.

Отношение — то, что образует вещь из свойств или других вещей. Отношения чувственно не воспринимаются.

Между категориями вещи, свойства и отношения существует зависимость, представленная на рисунке 2, а, б.

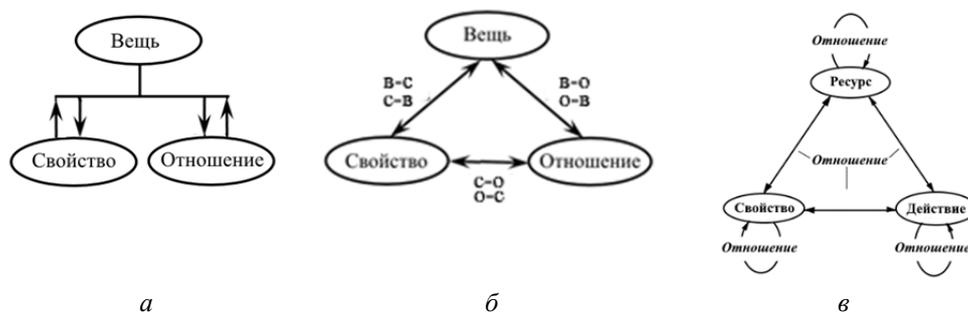


Рис. 2. Триада категорий «вещь — свойство — отношение» А. И. Умова (а) и образное представление триады — «треугольника А. И. Умова» — в форме концептуального графа (в-с, с-в, в-о, о-в, с-о, о-с — обозначения отношений между категориями) (б); концептуальная ролевая модель категориального ядра теории <sup>ПВТ</sup> (раздел 7) (в)

Непосредственное применение рассмотренного категориального ядра к системогенезу Модели Мира субъекта деятельности проблематично: 1) категория вещи — верхний предел абстракции, что вызывает трудности с ее интерпретацией субъектом; 2) имеются трудности с интерпретацией понятия «зависимость» между категориями ядра: поскольку зависимость между ними — это отношение (взаимоотношение), то возникают два толкования концепта «отношение»; 3) категория «отношение» носит общий характер и целесообразно выбрать категорию, которая, являясь отношением, была бы в то же время предметно-ориентированной.

Трудности преодолены следующим образом [5]. Рассматриваются только вещи-ресурсы субъекта деятельности (просто — ресурсы). К ним отнесены энергия электромагнитного поля и природные явления, вне зависимости от эффекта их воздействия. На основе принципа «единства сознания и деятельности» и теории деятельности психологической школы А. Н. Леонтьева и С. Л. Рубинштейна из множества отношений выделены отношения-действия (просто — действия, операции, процессы, в частности технологические и производственные), тем самым подчеркивается интерес к динамическим отношениям, по Д. А. Поспелову, на ресурсах, установление (или разрыв) которых изменяет состояние и режим объекта оперативного управления.

Ресурс — концепт, обозначающий вещь, имеющуюся в распоряжении у субъекта деятельности для решения задач, например распределительная подстанция, воздушная ЛЭП и др.

Действие — концепт, обозначающей отношения на ресурсах как следствие деятельности, поступков и поведения субъекта. Например, преобразование, хранение, передача электроэнергии и др. Действие — единица дея-

тельности, целенаправленная, преднамеренная активность, осуществляемая субъектом деятельности произвольно. Действия могут переходить в операции и наоборот. В русском языке действия обозначаются различными частями речи: глаголами (например, включать, выключать, переключать, предавать, сообщать), существительными (распределение, преобразование, передача), знаками препинания, модальными частицами (например, словами, выражающими различную степень уверенности, неуверенности, союзами, выражающими значение временной соотнесенности действий, и наречиями).

Выполненные преобразования с треугольником А. И. Уемова изображены на рисунке 2, в. Они дают простую и прозрачную категоризацию Модели Мира субъекта деятельности — мира ресурсов, действий, их свойств и девяти классов отношений *ресурс — ресурс, действие — действие, свойство — свойство, ресурс — свойство* и *свойство — ресурс, ресурс — действие* и *действие — ресурс*, а также *действие — свойство* и *свойство — действие*.

Первая особенность модели на рисунке 2, в — ролевой характер, сформулированный перечнем девяти классов отношений. Например, выражение «ресурс — ресурс» — неявно выраженное отношение с двумя ролями, причем обе роли играют ресурсы. Ролевой характер придает модели универсальность и делает независимой от специфики Модели Мира субъекта деятельности. Вторая особенность — ролевой характер модели может отображаться как в ПВ-, так и ПИ-коде (базисе).

*Символизм базовых форм ПИ-базиса.* В результате исследований [53] и с учетом семантики онтологии Моделей Мира Т. П. Григорьевой [54] выбраны шесть базовых форм ПИ-базиса Модели Мира субъекта деятельности (рис. 3).



Рис. 3. Базовые формы ПИ-базиса Модели Мира субъекта деятельности:

- — квадрат, символ ресурса; Δ — треугольник, символ свойства;
- ▷ — пятиточечная стрелка, символ действия; ○ — окружность (круг), символ идеального, сознания, духовного мира;
- — точка, символ квинтэссенции всех знаков;
- — прямая линия, символ разума, составляющая всех геометрических фигур;
- ТЕКСТ — символ слова

□ — символ греческой, дуальной Модели Мира «белое или черное» и линейного мышления: порядок, равенство, постоянство, земля, устойчивость, совершенный тип замкнутого пространства и знак материального мира; Δ — символ поверхности, полной физической и телесной гармонии и равновесия; ○ — символ духовного мира, восточной Модели Мира «белое станет черным» и «белое и есть черное», целостность, непрерывность и первоначальное совершенство, время, динамизм, бесконечное движение, завершение и ис-

полнение;  $\triangleright$  — символ действия, силы, взлета, целенаправленности, энергии, преодоления пространства, импульса; знак направления, полета, скорости и достижения цели;  $\bullet$  — символ точечного восприятия Мира, начинает любое явление, лежит в основе всех измерений, порождает в развитии линию и движение, выражает самопроявление единичного как Единого, полюс (центр, начало отсчета) единства;  $—$  — символ разума у пифагорейцев, составляющая всех геометрических фигур; отрезок прямой линии, на схемах, рисунках символизирует связь, взаимоотношение, отношение чего-либо (кого-либо) к чему-либо другому (кому-либо другому) как в физическом (реальном) мире, так и в мыслительном и духовном мирах; *ТЕКСТ* символизирует вербальные образы.

*Семантика двуединого категориального базиса Модели Мира субъекта деятельности* выражена посредством отображения психического содержания сознания субъекта поведения в лингвокультурологических терминах «концепт» и «концептосфера» З. Д. Поповой и И. А. Стернина [43] и терминах языкознания, психолингвистики, когнитивной лингвистики: «универсальный предметный код», «двухзвенный механизм мышления» Н. И. Жинкина [37]. Несмотря на то что когнитивные исследования доказали, что традиционный подход к мышлению как к процессу оперирования четкими логическими понятиями не отражает сущности ментальной деятельности субъекта, термины «концепт» и «концептосфера» за редким исключением все еще не вошли в обиход специалистов по ИИ.

Концепт в психолингвистике и когнитивной лингвистике — это «квант знания» о реальном и/или воображаемом мирах, единица мышления субъекта деятельности, относительно систематизированный набор когнитивных признаков системы: мыслительные картинки, рамочные понятия и понятия с плотным ядром, фреймы, сценарии и т. д. Концепт включает три составляющие: понятийную, образную, ценностную (прагматическую) и интегрирует информацию, поступающую к субъекту деятельности извне по разным каналам перцепции, обобщает чувственные, вербальные и смешанные психические конструкции.

Концептосфера, по мнению З. Д. Поповой и И. А. Стернина, — область мыслительных образов, единиц УПК, структурированное знание субъектов деятельности, их информационная база, а семантическое пространство языка профессиональной деятельности (ЯПД) субъекта — часть концептосферы, получившая выражение (вербализацию, объективацию) в системе языковых знаков — слов, фразеосочетаний, синтаксических структур и образуемая значениями языковых единиц.

Понятия концепта (концептосферы) и УПК в традиции когнитивной лингвистики — фундамент представлений категориального базиса Модели Мира субъекта деятельности, двуединство которого изображено на рисунке 4.

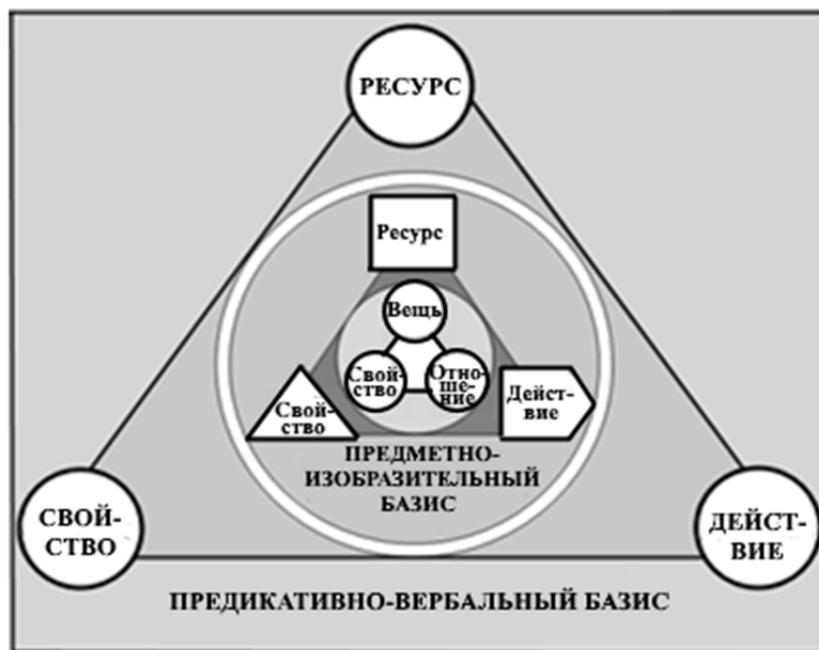


Рис. 4. Категориальный базис Модели Мира субъекта деятельности

ПИ-базис изображен серым кругом, в котором показаны два «треугольника»: внешний, в вершинах которого расположены базовые формы: □ — ресурс, Δ — свойство, ▷ — действие и внутренний, центральный, «порождающий» треугольник А. И. Уемова, заключенный в окружность. Если мысленно провести линии со стрелками от его центра к вершинам внешнего треугольника, то на них расположатся (в направлении от центра) элементы категориального базиса: концепт «вещь — □ — ресурс-слово», концепт «свойство — Δ — свойство-слово» и концепт «отношение — ▷ — действие-слово». Условное перемещение по стрелкам-векторам от центра соответствует таким когнитивным операциям мышления субъекта, как абстрагирование, обобщение, именованье, категоризация и высказывание. Условное движение к центру — дифференциация, редукция, конкретизация и понимание.

ПИ-базис визуально «ограничен круглой оболочкой» и над ним в теории изографов строятся ПИ-представления в Модели Мира субъекта деятельности (раздел 10). ПВ-базис визуально «ограничен квадратной оболочкой», и над ним в теории схем ролевых концептуальных моделей строятся ПВ-представления Модели Мира субъекта деятельности (раздел 8). Перечень лексем двуединого ПИ- и ПВ-категориального базиса Модели Мира субъектов-оператора и субъектов-конструктора приведен в таблице.

Лексика категориального базиса Модели Мира субъекта деятельности

Лексема	Код	Лексема	Код
Ресурс	${}^1x^0 \in {}^1X^0$	Динамический ресурс	${}^{102}x^0 \in {}^{102}X^0$
Свойство	${}^2x^0 \in {}^2X^0$	Пространственная структура	${}^{103}x^0 \in {}^{103}X^0$
Параметр	${}^{21}x^0 \in {}^{21}X^0$	Р-ситуация	${}^{104}x^0 \in {}^{104}X^0$
Характеристика	${}^{22}x^0 \in {}^{22}X^0$	О-ситуация	${}^{105}x^0 \in {}^{105}X^0$
Имя	${}^{23}x^0 \in {}^{23}X^0$	Событие	${}^{11}x^0 \in {}^{11}X^0$
Действие	${}^3x^0 \in {}^3X^0$	Время	${}^{12}x^0 \in {}^{12}X^0$
Единица измерения	${}^4x^0 \in {}^4X^0$	Цель	${}^{13}x^0 \in {}^{13}X^0$
Значение	${}^5x^0 \in {}^5X^0$	Потребность	${}^{131}x^0 \in {}^{131}X^0$
Состояние	${}^6x^0 \in {}^6X^0$	Эмоция	${}^{132}x^0 \in {}^{132}X^0$
Оценка	${}^7x^0 \in {}^7X^0$	Мотив	${}^{133}x^0 \in {}^{133}X^0$
Задача	${}^8x^0 \in {}^8X^0$	Установка	${}^{134}x^0 \in {}^{134}X^0$
Однородная задача	${}^{81}x^0 \in {}^{81}X^0$	Интегрированный объект	${}^{22}x^0 \in {}^{22}X^0$
Состав проблемы	${}^{82}x^0 \in {}^{82}X^0$	Интегрированный метод	${}^{221}x^0 \in {}^{221}X^0$
Декомпозиция проблемы	${}^{83}x^0 \in {}^{83}X^0$	Интегрированная модель	${}^{222}x^0 \in {}^{222}X^0$
Неоднородная задача-проблема	${}^{84}x^0 \in {}^{84}X^0$	Крупнозернистый элемент	${}^{223}x^0 \in {}^{223}X^0$
Фаза управления	${}^{85}x^0 \in {}^{85}X^0$	Мелкозернистый элемент	${}^{224}x^0 \in {}^{224}X^0$
Жизненный цикл управления	${}^{86}x^0 \in {}^{86}X^0$	Гетерогенное модельное поле	${}^{225}x^0 \in {}^{225}X^0$
Метод	${}^9x^0 \in {}^9X^0$	Гибрид	${}^{23}x^0 \in {}^{23}X^0$
Автономный метод	${}^{91}x^0 \in {}^{91}X^0$	Крупнозернистый гибрид	${}^{231}x^0 \in {}^{231}X^0$
Автономная модель	${}^{92}x^0 \in {}^{92}X^0$	Архитектура гибрида	${}^{232}x^0 \in {}^{232}X^0$
Локативность	${}^{10}x^0 \in {}^{10}X^0$	Мелкозернистый гибрид	${}^{233}x^0 \in {}^{233}X^0$
Статический ресурс	${}^{101}x^0 \in {}^{101}X^0$		

Двуединство ПИ- и ПВ-базисов Модели Мира субъекта деятельности отражено в содержании понятия «концептосфера», причем первый наследует следующие свойства УПК: 1) непроизносимость, отсутствие материальных признаков слов ЯПД, нет последовательности знаков, а есть изображения, образующие цепь или группировку; 2) обозначаемое здесь одновременно и знак; 3) предметность: когда, например, субъект-оператор говорит: *подстан-*

ция Северная, то за буквами или звуками ЯПД он понимает сам ресурс — подстанцию Северная на окраине Калининграда; когда же субъект-оператор представляет себе подстанцию Северная, то не независимо от каких-либо букв или звуков он имеет в виду сам ресурс как предмет, могущий породить множество электроподстанций Калининградской области; 4) представления как изобразительные компоненты схематичны; 5) схемы ресурсов — единое целое, каждый элемент которого непроизносим, но по которому можно восстановить произносимые слова ЯПД; 6) универсальность языка ПИ-базиса, с которого возможны переводы на все другие языки; 7) язык ПИ-базиса свободен от избыточности; 8) в языке ПИ-базиса связи, отношения предметны, то есть содержательны, а не формальны, и конвенциональное правило составляется *ad hoc* на время мыслительной операции.

Структурирование знаний в Модели Мира субъекта деятельности на двуедином категориальном базисе подчиняется следующей конвенции: 1) без предметно-изобразительных представлений над ПИ-базисом невозможен никакой ЯПД над ПВ-базисом, а без языка ПВ-представлений внутренняя, изобразительная речь субъекта деятельности бессмысленна; 2) применение ЯПД в коммуникации возможно только через фазу внутренней речи в ПИ-базисе; решение мыслительной задачи, то есть поиск контролируемого выхода из проблемной ситуации, в определенном отношении отображается в ЯПД в переосмыслении лексических значений; зарождение мысли (постановка задачи) осуществляется в языке ПИ-представлений; 3) механизм мышления субъекта деятельности реализуется двумя противостоящими динамическими звеньями — ПИ-кодом (внутренней речью) и ПВ-речедвигательным кодом (экспрессивной речью). В первом звене мысль задается, во втором она передается и снова задается для первого звена.

Именно двухзвенность механизма мышления субъекта деятельности над личной Моделью Мира резко отличает его от искусственных устройств с применением формально-логических средств переработки поступившей информации.

##### **5. Статика интегрированной, многоуровневой схемы Модели Мира субъекта деятельности**

Модель Мира — целостное отражение окружающей субъекта деятельности среды. Она направляет, организует (ограничивает) восприятие и формирует комплекс идей и концепций, с помощью которых субъект поведения понимает общество, социальный порядок и самого себя в обществе. Ее целостность позволяет субъекту воспринимать предметы, объекты и события среды не как независимые изолированные единицы, а как части значимого целого, целого, которое уже не простая сумма его составляющих. За счет целостности Модель Мира позволяет понимать мир, интегрируя внутри нее представления о событиях, разделенных во внешнем пространстве и времени, но объ-

ективно связанных между собой. Именно в Модели Мира берут свое начало гипотезы, которые субъект выдвигает, предвидя какое-то событие и планируя свое поведение. Модель Мира — внутренний полигон, где отрабатываются проблемные ситуации и навигатор дальнейшего поведения [39].

Элементы модели мира в статике — психические процессы, а, следуя А. Н. Леонтьеву [55], основная структура Модели Мира субъекта деятельности — иерархия, организующая психические конструкты в единое целое, а ее элементы функционируют в соответствии с их местом в этой структуре.

Пофантазируем о содержании Модели Мира субъекта в окружающей его среде на примере пруда. «Если бросить в пруд камень, по воде пойдут концентрические круги, вовлекающие в свое движение, на разном расстоянии, с различными последствиями, кувшинку и тростник, бумажный кораблик и поплавок рыболова. Предметы, существовавшие каждый сам по себе, пребывавшие в состоянии покоя или дремоты, как бы оживают, они вынуждены реагировать, вступать во взаимодействие друг с другом. Движение распространяется вширь и вглубь. Камень, устремляясь вниз, расталкивает водоросли, распугивает рыб; достигая дна, он вздымает ил, натывается на давно забытые предметы; некоторые из них оголяются, другие, напротив, покрываются слоем песка. За кратчайший миг происходит множество событий и микрособытий. Так же и слово, случайно запавшее в голову субъекта, распространяет волны вширь и вглубь, вызывает бесконечный ряд цепных реакций, извлекая при своем «западании» звуки и образы, ассоциации и воспоминания, представления и мечты. Процесс этот тесно сопряжен с опытом и памятью, с воображением и сферой подсознательного и осложняется тем, что разум не остается пассивным, он все время вмешивается, контролирует, принимает или отвергает, созидает или разрушает» [56, с. 6].

Схема интегрированной, многоуровневой Модели Мира субъекта деятельности, сконструированная в теории  $^{IB}T$  (раздел 7), изображена на рисунке 5. Эта схема создана из 14 трехролевых конструктов, часть которых задает межуровневое взаимодействие. В общей сложности выделены 10 взаимосвязанных и взаимодействующих друг с другом схем ролевых концептуальных моделей, названных Моделями Миров, чтобы подчеркнуть определенную связь с Моделями Мира субъектов-экспертов и субъектов-конструкторов. Первые варианты схемы Модели Мира опубликованы в [5] и развиты в [57].

На нижнем уровне показана Модель Мира измерений (действий) значений свойств-параметров посредством мер. От качества измерений во многом зависит и качество деятельности. Мир измерений связан с миром *ресурсов, свойств, действий и операций* трехролевой моделью «значение — мера — свойство», изображенной в вертикальной плоскости, что отображает телеметрию в Мир ресурсов, свойств, действий и операций, представлений и трансформации когнитивного и оперативного образов уже в другой информационной модели. В этом Мире актуальны концепты *состав, иерархия, структура, процесс, маршрут, сеть, локативность, статический ресурс, динамический ресурс и пространственная структура*.

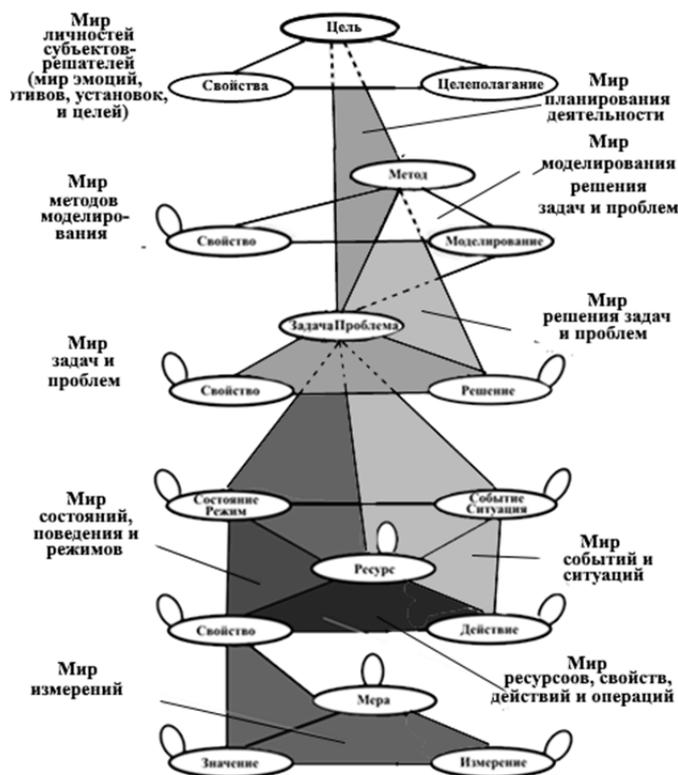


Рис. 5. Интегрированная, многоуровневая схема Модели Мира субъекта деятельности

Над Миром ресурсов, свойств и действий отражены два Мира: Мир событий и ситуаций и Мир состояния, поведения и режимов. Здесь актуальны концепты *событие*, *P-ситуация*, *O-ситуация*, *состояние* и *режим*. В первом из них существуют знаки мгновенных действий, значимых для субъекта деятельности изменений в окружающей объективной реальности, в его поведении и внутреннем мире — событий и знаков сочетаний условий и обстоятельств, создающих определенную обстановку, положение — ситуаций. Во втором существуют знаки представлений, обнаруживаемых через «мгновенное сечение» параметров элементов электросети, например электродвижущей силы источников и задающих токи (мощности) нагрузок — состояний, параметров режима, например значений частоты, токов в ветвях, напряжений в узлах, полной, активной и реактивной мощностей электропередачи, а также значений несимметрии, несинусоидальности — режима, траекторного движения состояний — поведения. Подробнее этот Мир на примере интеллектуализации региональной электроэнергетики рассмотрен в [58].

Субъект деятельности в схеме на рисунке 4 представлен Мирами задач и проблем и их решения и выше расположенными Мирами, где актуальны концепты *задача*, *проблема*, *однородная задача*, *неоднородная задача*, *состав проблемы*, *декомпозиция проблемы*, *фаза управления* и *жизненный цикл управления* (раздел 12).

Мир решения задач и проблем отображен трехролевым конструктом «задача (проблема) — метод — решение». Мир решения в этой триаде специфичен и для субъекта оперативного управления избыточен в том смысле, что концепт *метод* для успешной работы субъекту не нужен: ему не требуется ни сознательное управление психологическими механизмами, ни даже знание о них. Еще одна специфическая онтологическая особенность семантики Мира решения задач и проблем — концепт *метод* одновременно и составная часть конструктов «задача (проблема) — метод — моделирование» Мира моделирования решения задач и проблем, и «метод — свойство — моделирование» Мира методов моделирования.

Если в Мире решения задач концепт *метод* раскрывает свое содержание как «реальный психологический механизм» решения задачи (проблемы) субъектом деятельности, то в Мире методов моделирования содержание этого концепта иное: метод — совокупность приемов и операций практического или теоретического освоения действительности, подчиненных решению конкретной задачи или проблемы. В Мире методов моделирования — объектов-прототипов ПС-методологии гибридизации актуальны концепты *метод*, *автономный метод* и *автономная модель*. Метод и модель в Мире методов моделирования — две тесно взаимосвязанных друг с другом сущности. Будучи разработанной в соответствии с некоторым методом, модель, а далее и машинная программа, всегда будут несвободны, связаны его свойствами, наследуя все его плюсы и минусы. С другой стороны, будучи созданной, модель выступает в роли метода, инструмента решения задач, и вполне естественно, что метод будет наследовать свойства модели. Термин *автономный базис* понимается как ограниченное количество классов методов моделирования, используемых в Мире моделирования решения задач и проблем для создания разнообразия генетического материала при синтезе интегрированных методов и моделей. Таких классов в ПС-технологии семь, включенных в конфигурактор (см. рис. 34, б, на с. 129): аналитические, статистические, символьные (экспертные системы (англ. knowledge based systems — системы, использующие для рассуждений базы знаний), нечеткие системы (fuzzy logic systems — системы моделирования посредством нечеткого вывода), прецедентные CBR-системы (case based reasoning — рассуждения на основе прецедентов), коннекционистские, искусственные нейронные сети (artificial neural nets — сетевая модель из математических моделей биологических нейронов, способная обучаться на примерах, адаптируя свои параметры, извлекая и фиксируя знания из примеров), эволюционные, генетические алгоритмы (genetic algorithms — алгоритмы, оперирующие с рядами бинарных цифр: нулей и единиц, имитирующие эволюцию на популяции хромосом и использующие механизмы се-

лекции и репродукции по аналогии с живой природой) и изобразительные, геоинформационные системы, оперирующие гео моделями и визуальными переменными (geographic information system).

В Мире моделирования решения задач и проблем актуальны концепты *интегрированный объект, интегрированный метод, интегрированная модель, крупнозернистый элемент, мелкозернистый элемент, гетерогенное модельное поле, гибрид, крупнозернистый гибрид, мелкозернистый гибрид* и *архитектура гибрида*. Это уже Мир конструирования КГиИАСУ. Основные роли в этом Мире исполняют субъекты-разработчики: постановщики задач, алгоритмисты, программисты и др.

Интегрированный метод — подмножество отношений интеграции на множестве генотипов автономных методов, содержащем минимум две структуры методов работы с различными видами знаний. Интегрированная модель — подмножество отношений интеграции на множестве автономных моделей, содержащем минимум две модели с различными видами знаний. Крупнозернистый элемент (функциональный или технологический) — метод, модель, алгоритм, программа из автономного базиса. Мелкозернистое описание элементов используется на различных уровнях детализации методов, моделей, алгоритмов и программ автономного базиса [5]. Гетерогенное модельное поле — множество элементов КГиИС, построенных на как минимум двух разных классах методов автономного базиса. ГМП функционально избыточно и отражает известный в психологии факт, что решение проблем увязано меньше с логикой, а скорее, активизирует все ресурсы субъекта: эмоциональные, психофизиологические, поведенческие и интеллектуальные. В ГМП сочетаются абстрактные и конкретные модели преодоления проблемных ситуаций, взаимодействующие с психологическими сущностями: знаковыми (вербально-пропозициональное мышление) в одном случае, наглядными (образно-визуальное мышление) — в другом и собственными движениями (моторно-ручной интеллект) — в третьем. Гибрид в информатике, объект-результат ПС-методологии гибридизации традиционно понимается как гибридная интеллектуальная система, в которой для решения задачи используется более одного метода имитации интеллектуальной деятельности субъекта оперативного управления. Гибрид имеет вход, выход, функционирует в неоднородном пространстве состояний, что названо гибридным имитационным процессом.

В крупнозернистом гибриде элемент и вычисления представлены в автоматных терминах «вход — состояние — выход» и соответствием между однородными задачами в составе неоднородной и элементами КГиИС. Мелкозернистый гибрид разрабатывается в ситуации, когда нет сколько-нибудь значимого ГМП для гибридизации и квалифицированный субъект конструкторской деятельности, манипулируя инструментальной неоднородностью объектов-прототипов на уровне «модулей-зерен», заменяет неэффективные вычислительные зерна одного объекта-прототипа, как правило, на полнофункциональный элемент, разработанный одним из методов из другого класса автономного базиса. Архитектура гибрида — взаимосвязанная межмодельными

интерфейсами мультимодельная совокупность функциональных и технологических элементов для сбора, хранения, обработки и отображения информации субъекту деятельности с целью «узнать», «понять», «запомнить», «оценить ситуацию», «найти решение» и «проверить исполнение».

В Мире личностей субъектов-решателей актуальны концепты *профессиональная познавательная потребность осознания проблемной ситуации* (кратко *потребность осознания*), *эмоция, мотив, установка и цель*. Процесс достижения желаемой цели субъектом деятельности разворачивается так: профессиональная познавательная потребность осознания проблемной ситуации (мотив) — эмоция — установка — цель — ... другая потребность осознания.

Мотив — необходимая предпосылка деятельности, внутреннее условие деятельности субъекта, состояние, вызванное негативными явлениями, событиями и процессами в системе управления электросетями, например аварией, аварийным отключением, отказом, повреждением, физическим износом, перегрузкой, погашением. Для выражения познавательных потребностей используется язык мотивов, побуждающих деятельность, придающих ей личностный смысл и могущих конкурировать [59].

В отечественной психологии Л. С. Выготский, С. Л. Рубинштейн и А. Н. Леонтьев заложили методологические основы, преодолевающие традиционный разрыв познавательных и эмоциональных процессов субъекта деятельности и, в частности, отрыва мышления от эмоционально-мотивационной сферы. Эмоции комплексно выражают отношение к проблемной ситуации и состояние субъекта в момент формирования этого отношения. Они преобразуют рассудочное осознание ситуации в наказ или запрет предметного действия для высказывания приказа достигнуть цели. Эмоциональные состояния выполняют в мышлении регулирующие и эвристические функции, что подтверждается в репликах испытуемых: «Только легкие задачи я могу решить без эмоций, а трудные никогда...», «Необходимость хладнокровно решать задачу мешает мне подробно рассмотреть найденный вариант...» Таким образом, перенос опыта из одной ситуации в другую осуществляется субъектом деятельности как на логической, так и на эмоциональной основах. Эмоциональный опыт — один из механизмов наведения на решение, который влияет на переструктурирование задачи в процессе ее решения.

Попытка создания модели эмоций впервые предпринята психологом П. Симоновым и развита в работах В. О. Леонтьева и И. Б. Фоминых [60], в которых эмоция, оценка «внутрисистемного критика» определена как числовая функция, имеющая смысл силы эмоции, от некоторого набора параметров, описывающих проблемную ситуацию. Алгебра эмоций позволяет вычислять величину и знак сложной эмоции с помощью простых операций над ее составляющими. А. С. Миненко и А. П. Семенова [61] для обозначения эмоций ввели вектор из четырех компонент, комбинируя которые можно описать 48 качественно различных эмоций.

Установки (позиция, занятая субъектом по отношению к цели) выполняют те же функции, что и мотивы, но только по отношению к подсознатель-

ным целям. Установки мобилизуют, стабилизируют деятельность, освобождают от необходимости контроля и принятия решений в стандартных ситуациях, чем обеспечивает действиям повышенную скорость, экономичность и отточенность, ускоряют научение в новых ситуациях, но сходных со старым обстоятельствами, минимизируя усилия личности.

Ценности субъекта деятельности формируются обобщением типичных прошлых ситуаций и представлены понятиями, лично или исторически способными генерировать разнообразие чувств и отношений, побуждая к действию. Накапливая опыт, субъект создает шкалу ценностей.

«Цель» в кибернетическом контексте — конечная ситуация, заданная формальным описанием и достигаемая в ходе функционирования системы: технического устройства, живого организма и человека — осознанный субъектом образ будущих результатов, косвенно связанных с мотивом, опосредствующий движение смыслов в деятельности, влияющий на их становление и обогащение [62].

«Цель диспетчерского управления» — разработка и ведение режимов энергосистем, обеспечивающих надежное и бесперебойное снабжение потребителей электрической и тепловой энергией удовлетворительного качества при максимальной экономичности работы энергосистемы в целом, создание возможности безопасного обслуживания оборудования энергосистемы [63].

Целеобразование — процесс, фокусирующий мотивационно-эмоциональные компоненты саморегуляции мышления, и становление когнитивных структур субъекта деятельности. Оно выступает в формах процесса возникновения гностических целей в проблемной ситуации; самостоятельной деятельности по генерированию целей; постановки целей другому субъекту, вызванных потребностями совместной деятельности.

Целеполагание — прерогатива субъекта деятельности. Поэтому выбор прагматически значимой в конкретной ситуации цели множества осмысленных и синтаксически правильных целей остается за ним. Мировоззренческая схема цели в русском языке, по Н. Д. Арутюновой, — линия, а образ цели — путь, дорога. Анализ конечной цели как направления в  $n$ -мерном пространстве признаков — последовательная «линейная» конкретизация более определенными ближними целями, «лежащими» на «пути» данного направления. В естественном русском языке цели выражаются, как правило, инфинитивами (*Inf*) со следующей базовой структурной схемой: минимальной — *Inf* (например, *ликвидировать аварию*); расширенной — *Inf* < *a* >, где < *a* > — расширение схемы *Inf* (например, *ликвидировать аварию на трансформаторной подстанции*). Сложные цели — результат конъюнкции реализаций базовых схем, например *ликвидировать аварию на линии электропередачи и запитать трансформаторную подстанцию*. Формулировки целей включают действия, обозначаемые чаще всего глаголом в инфинитивной форме и отглагольными существительными.

В [64] построена функционально-деятельностная модель цели «средства — результат», а в [65] предложена семиотическая система рассуждений о целях,

реализующая логико-лингвистическое моделирование анализа и полагания целей, переводя данные процессы с традиционного, субъективного, на субъективно-объективизированный уровень, что обеспечивает их конструктивность и способствует логической правильности процессов и их результатов.

В Мире планирования для субъекта деятельности актуальны концепты *цель, план «дорожная карта», план, график, план-график, ведомость*, а также *маршрутная и технологическая карты*.

По образному выражению П. Друкера, управление — процесс, превращающий неорганизованную толпу в эффективно работающую группу. Для этого превращения необходимо определить общую цель, распределить между участниками действия по достижению цели, стимулировать исполнителей и периодически контролировать результаты.

Планирование — процесс определения желаемого будущего состояния организации и разработки программ действий по его достижению [66].

Оперативное планирование — процесс определения целей подразделений, согласованных с внешними и общими внутренними целями организации и разработка программы краткосрочных действий по их достижению.

Например, планирование ремонта оборудования электрических сетей включает разработку перспективных (пятилетних), годовых и месячных планов-графиков графиков [67]. Ниже приведены два фрейма планов-графиков годового ремонта оборудования подстанций и распределительных электрических сетей, составленные по формам документов, рекомендованных в [67]:

**План-график ремонта оборудования подстанций** ((год)((Высшее напряжение, кВ),(наименование подстанции)(вид оборудования)(диспетчерский номер))(Тип оборудования)(Вид ремонта — капитальный, средний, текущий))(Срок службы от последнего капитального, среднего ремонта, год)(Планируемое время ремонта (Начало, дата)(Окончание, дата)(Сметная стоимость ремонта, тыс. руб.)(Исполнитель)).

**План-график ремонта распределительных электрических сетей** ((год)((Напряжение, кВ)(Наименование объекта электросети)(Характеристика объекта (Воздушная линия (протяженность, км (по трассе) (по цепям))(Кабельная линия (протяженность, км (по трассе)(по цепям))(Трансформаторная подстанция, шт/кВа)(Распределительная подстанция, шт/присоединение) (Совмещенная подстанция, шт/присоединение) (Вид ремонта — капитальный, средний, текущий) (Срок службы от последнего капитального ремонта, год)(Планируемое время ремонта (Начало, дата)(Окончание, дата)).

Цель субъекта деятельности — образ того, к чему направлен мотив, поэтому она способна осуществлять связи между будущим и настоящим. Образование таких связей позволяет цели как образу будущего влиять на настоящее и формировать его. Без цели познание лишено смысла — бессмысленно заниматься поиском, не зная, что ищешь. Цель виртуальна, ее образ в будущем в настоящем организует пространство поиска и определяет его границы.

Осознав профессиональные познавательные потребности, субъект деятельности формирует образ желаемого будущего — цель и соответственно организует свои действия. Решение задачи эффективно, если начато с уяснения цели и сопровождается пониманием использования ожидаемого результата.

При этом начинаются целеполагание и организации поведения в соответствии с избранной целью — целесообразность. Первый процесс связан с размещением на вершине иерархии в Мире личностей субъектов-решателей конкретной цели, второй — с принятием рационального пути к этой цели.

#### **6. Динамика процессов в Модели Мира субъекта деятельности. Психические время и пространство**

По мере развития и обучения Мир представляется субъекту все более сложным, накапливаются детали, возрастает количество связей. С увеличением количества слоев в иерархии легче опознать и интерпретировать внешние события, легче найти нечто похожее и, присоединив его, объяснить. Избыточность Модели Мира удаляет субъекта от реальности и выхолащивает ее. Преобразование Модели Мира идет по пути интерпретации значительной части воспринятых и выделенных вниманием событий и преобразования в процессе достижения целей с помощью образно-словесного контекста [68].

Динамика Модели Мира поддерживается в сознании субъекта внутренним диалогом, за счет чего обеспечивается непрерывная смена позиции, благодаря формированию психикой виртуальных собеседников-личностей. Психическая жизнь субъекта динамична и состоит в перемещении между этими личностями и перемещении в воображаемом пространстве и временном интервале каждой из них.

Х. Паскуаль-Леоне [69] развил теорию конструктивных операторов и различал конструкты: структуры опыта, фиксирующие инварианты ситуативных взаимодействий субъекта со своим окружением; фигуративные конструкты для опознания знакомых объектов и событий; оперативные — правила преобразования информации — и управляющие, представляющие типовые планы действий в проблемных ситуациях. Модификация конструктов — непрерывное динамичное развитие и совершенствование элементов Модели Мира.

Основные динамические характеристики Модели Мира субъекта деятельности: пульсации, работа цензуры с новыми нормами, особые законы времени, пространства и сохранения энергии ментального поля, особенности взаимодействия настоящего, прошлого и будущего, временной перекося, появление сценариев и фантомных программ, сдвиги устойчивости, инерционность и психологическая защита. Рассмотрим некоторые из них.

Пульсации Модели Мира субъекта, соотносимые с периодами облегчения доступа новой информации, — периодически повторяющиеся изменения, не зависящие от опыта и образования. Ритм и амплитуда пульсаций гипотетически связаны с темпераментом субъекта, скоростью его обменных процессов и влияют на периодическое повышение и понижение скорости продвижения к

цели. По мнению Дж. Келли, система личностных конструкторов Модели Мира субъекта деятельности тоже пульсирует: конструкторы перегруппировываются, образуются новые связи, закрепляемые сжатием.

Модель Мира субъекта как система психических конструкторов и механизмов создает условия построения и динамики «внутри» индивидуума виртуальной модели происходящего: законы физического мира в психическом мире не работают. Например, психическое время радикально отличается от физического, оно обратимо, что выражается в единстве прошлого и будущего, памяти и предсказания. Если в физическом мире будущее не влияет на прошлое, то в психике причинность нарушается: прошлое и будущее возможны одновременно. Как отмечал А. Маслоу [70], прошлое существует в субъекте деятельности в каждый отдельный момент в форме удерживаемой в подсознании Модели Мира, а будущее — в форме целей, идеалов и надежд.

Восприятие времени определяют возраст и культура субъекта. При движении от будущего к настоящему деятельность субъекта направлена вперед: ею движут планы, цели, стремления и мечты — нечто из будущего. Цель связывает будущее и настоящее, направляет и формирует восприятие, мышление и поведение в текущий момент. Временная перспектива структурируется, в нее включаются мотивы и намерения. От настоящего к прошлому субъект обращается в конфликтах сегодняшних событий и памяти о минувшем. Возможно мысленное перемещение субъекта к настоящему как от реального прошлого, так и возможного прошлого и даже от варианта вероятного будущего. Взаимовлияние прошлого, настоящего и будущего в Модели Мира может создать «перекос» в их соотношении.

Главное отличие психического пространства Модели Мира субъекта деятельности от пространства реального — возможность совмещения двух несовместимых виртуальных объектов, расчленения и манипулирования ими без качественного повреждения. Особенности пространства Модели Мира субъекта позволяют конструировать в режиме «а что будет, если» иные реальности и выходить за пределы закономерностей реальности, сохраняя воздействие на психику. Виртуальная реальность может включать представления (образы), понятия (вербальные выражения), порождать соответствующие чувства и эмоции, материально не воплощенные и не подтвержденные опытом. Психическое пространство субъекта деятельности проявляется при решении образно-графических задач, требующих мысленного вращения и деформации фигур. При приближении к правильному решению растет эмоциональное возбуждение, предвосхищение решения, «чувство близости решения», по О. К. Тихомирову [71]. В мысленном эксперименте оживляются накопленные сценарии предвосхищающих схем и осуществляется их перенос — применение ранее усвоенных систем навыков и принципов решения задач в новых условиях. Кроме особых законов преобразования времени и пространства в Модели Мира субъекта, в психическом пространстве не работает закон сохранения энергии.

Устойчивость Модели Мира субъекта деятельности обусловлена возрастной целеориентацией, уровнем иерархии, с которого цели, мотивы установки управляют актуальным поведением. Для частных целей и установок нижних уровней устойчивость невысока в отличие от мотивации и осознанных целей и идеалов верхнего уровня. По мере накопления опыта субъектом деятельности элементы Модели Мира «окостеневают», а возрастные, профессиональные, статусные стереотипы становятся результатом психической инерционности.

### 7. Теория предикативно-вербальных представлений в Модели Мира субъекта деятельности

Теория предикативно-вербальных представлений  ${}^{ПВ}T$  изучает теоретико-множественные представления, а применение логических правил вывода сопровождается содержательными рассуждениями и поэтому относится к неформальным аксиоматическим теориям и включает четыре списка [5]:

$${}^{ПВ}T = \langle {}^{ПВ}T^{ТН}, {}^{ПВ}T^{ТО}, {}^{ПВ}T^A, {}^{ПВ}T^{ВТ} \rangle,$$

где  ${}^{ПВ}T^{ТН}$ ,  ${}^{ПВ}T^{ТО}$  — неопределяемые и определяемые термины соответственно; категориальное ядро  ${}^{ПВ}T^{ТН} = {}^{ПВ}T^{ТО} = \{вещь, свойство, отношение\}$  (раздел 4);  ${}^{ПВ}T^A$  — аксиомы;  ${}^{ПВ}T^{ВТ}$  — высказывания-теоремы или схемы ролевых концептуальных моделей (РКМ), выводимые из  ${}^{ПВ}T^A$  по фиксированным логическим правилам.

Концептуальная ролевая модель категориального ядра КГиИС «ресурс — свойство — действие» на рисунке 2, в (с. 57) дает достаточно простое и прозрачное структурирование Модели Мира субъекта деятельности, утверждая, что это есть Мир ресурсов, действий их свойств и девяти классов отношений *ресурс — ресурс, действие — действие, свойство — свойство, ресурс — свойство* и *свойство — ресурс, ресурс — действие* и *действие — ресурс, а также действие — свойство* и *свойство — действие*, которые ниже обозначены как  $r$ , а их множества —  $R$ .

Введем множество  $X^0 = \{^1X^0, ^2X^0, ^3X^0\}$ , в том числе и одноэлементных, где  $^1X^0$ ,  $^2X^0$ ,  $^3X^0$  — множества базисных понятий, обозначающих ресурсы, свойства и действия соответственно, и построим на  $X^0$  полный граф  $G = \langle X^0, R^0 \rangle$ . Тогда имеем классификацию базовых ролевых отношений

$$R^0 = \{^{11}R^0, ^{22}R^0, ^{33}R^0, ^{12}R^0, ^{21}R^0, ^{13}R^0, ^{31}R^0, ^{32}R^0, ^{23}R^0\},$$

где  $^{11}R^0$ ,  $^{22}R^0$ ,  $^{33}R^0$ ,  $^{12}R^0$ ,  $^{21}R^0$ ,  $^{13}R^0$ ,  $^{31}R^0$ ,  $^{32}R^0$ ,  $^{23}R^0$  — множества отношений *ресурс — ресурс, свойство — свойство, действие — действие, ресурс — свойство, свойство — ресурс, ресурс — действие, действие — ресурс, действие — свойство, свойство — действие* соответственно.

Таким образом, после того как определен граф  $G$ , имеем  ${}^{PB}T^{TH} = \{\text{вещь, свойство, отношение}\}$ ,  ${}^{PB}T^{TO} = \{\text{вещь, свойство, отношение, ресурс, действие}\}$ , и можно ввести аксиоматику теории  ${}^{PB}T$ .

**Аксиоматика ролевых конструкторов.** Аксиома 1 ( $A_1$ ). Если  ${}^\alpha X^0 \subseteq X^0$ , а  ${}^{\alpha\alpha} R^0 \subseteq R^0$ , то существует одноролевой конструктор  $co^1 = \langle {}^\alpha X^0 \alpha\alpha R^0 {}^\alpha X^0 \rangle$ , где  $\alpha = 1, 2, 3$ . Графическая интерпретация  $co^1$  показана на рисунке 6, а. Одноролевой конструктор имеет в качестве ролей одну и ту же категорию. Одноролевых конструкторов по определению три, по числу петель на графе  $G$ . Они могут быть записаны для  $\alpha \in \{1, 2, 3\}$ . Одноролевой конструктор — это точечная диаграмма. Например, в ЯПД субъекта оперативного управления электросетями можно выделить следующие одноролевые конструкторы: *ТЭЦ-2 рядом с ТЭС Прегольская, опора — часть линии электропередачи*, то есть те, в которых присутствует только одна из базисных категорий.

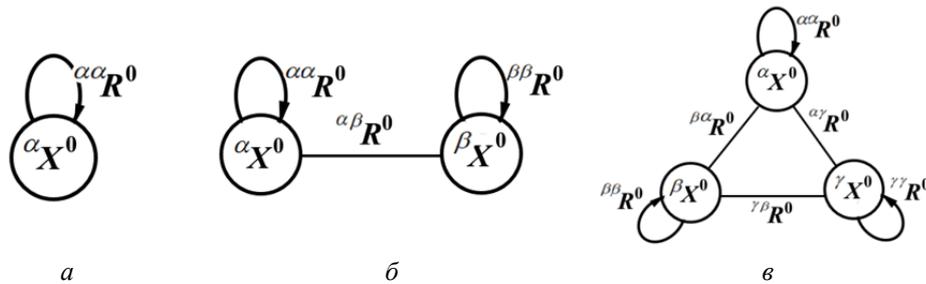


Рис. 6. Графическая интерпретация ролевых конструкторов теории  ${}^{PB}T$ :  
 а — одноролевого  $co^1$ ; б — двухролевого  $co^2$ ; в — трехролевого  $co^3$

Аксиома 2 ( $A_2$ ). Если  ${}^\alpha X^0, {}^\beta X^0 \subseteq X^0$ , а  ${}^{\alpha\alpha} R^0, {}^{\beta\beta} R^0, {}^{\alpha\beta} R^0 \subseteq R^0$ , то существует двухролевой конструктор

$$co^2 = \langle {}^\alpha X^0 \alpha\alpha R^0 {}^\alpha X^0 \wedge {}^\beta X^0 \beta\beta R^0 {}^\beta X^0 \wedge {}^\alpha X^0 \alpha\beta R^0 {}^\beta X^0 \rangle,$$

где  $\alpha, \beta = 1, 2, 3$ .

Графическая интерпретация  $co^2$  изображена на рисунке 6, б. Двухролевой конструктор включает два одноролевых конструктора, связанных отношениями  ${}^{\alpha\beta} R^0$ . Двухролевых конструкторов по определению шесть, по количеству ребер на графе  $G$ . Переход от одноролевой модели к двухролевой означает переход от точечной к линейной диаграмме. Например, в ЯПД субъекта оперативного управления электросетями можно выделить следующие двухролевые конструкторы: *трансформаторная подстанция Северная расположена на севере города Калининграда, ремонтные работы идут на ЛЭП ВЛ-325*, то есть те, в которых есть только две из трех базисных категорий.

Применение двухролевого конструкта, несмотря на его кажущуюся теоретическую и практическую завершенность, в определенной степени тормозит развитие информационной среды Мира моделирования (раздел 5). Линейная диаграмма, какой бы длинной она не была, не обеспечивает целостную картину Модели Мира субъекта деятельности.

Аксиома 3 ( $A_3$ ). Если

$${}^{\alpha}X^0, {}^{\beta}X^0, {}^{\gamma}X^0 \subseteq X^0, \text{ а } {}^{\alpha\alpha}R^0, {}^{\beta\beta}R^0, {}^{\gamma\gamma}R^0 \subseteq R^0, {}^{\alpha\gamma}R^0, {}^{\beta\alpha}R^0, {}^{\gamma\beta}R^0 \subseteq R^0,$$

то существует трехролевой конструкт

$$\begin{aligned} co^3 = & \langle {}^{\alpha}X^0 {}^{\alpha\alpha}R^0 {}^{\alpha}X^0 \wedge {}^{\beta}X^0 {}^{\beta\beta}R^0 {}^{\beta}X^0 \wedge {}^{\gamma}X^0 {}^{\gamma\gamma}R^0 {}^{\gamma}X^0 \\ & \wedge {}^{\alpha}X^0 {}^{\alpha\gamma}R^0 {}^{\gamma}X^0 \wedge {}^{\beta}X^0 {}^{\beta\alpha}R^0 {}^{\alpha}X^0 \wedge {}^{\gamma}X^0 {}^{\gamma\beta}R^0 {}^{\beta}X^0 \rangle \end{aligned}$$

где  $\alpha, \beta, \gamma = 1, 2, 3$ ;  $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ .

Графическая интерпретация  $co^3$  изображена на рисунке 6, в. Трехролевых конструктов по определению девять, то есть по числу вариантов различной ориентации дуг на графе  $G$ . Переход от двухролевой модели к трехролевой означает переход от формы линейной разомкнутой диаграммы к форме треугольной замкнутой диаграммы, концептуально полной для триады «ресурс — свойство — действие» в Модели Мира субъекта деятельности. Например, в ЯПД субъекта оперативного управления электросетями можно выделить следующий трехролевой конструкт: *трансформаторная подстанция Северная расположена на севере города Калининграда и идут ремонтные работы на ЛЭП ВЛ-325*. В выражении одновременно присутствуют ресурсы, свойства, действия со связывающими их отношениями.

В итоге имеем  ${}^{ПВТ}A = \{A_1, A_2, A_3\}$  и три множества конструктов  $CO^1 = \{co_1^1, \dots, co_3^1\}$ ,  $CO^2 = \{co_1^2, \dots, co_6^2\}$ ,  $CO^3 = \{co_1^3, \dots, co_9^3\}$ . На категориальном ядре  $X^0$  нет никаких других конструктов. Расширение категориального ядра дано в таблице раздела 4 (с. 61).

*Правило склеивания ролевых конструктов.* Чтобы перейти к построению множества высказываний-теорем  ${}^{ПВТ}BT$  теории  ${}^{ПВТ}$ , сформулируем на  $X^0$  правило склеивания:

1) трехролевой конструкт  $co^3 \in CO^3$  — схема  $ch^3 \in CH$  ролевых концептуальных моделей;

2) если  $ch = A_1 \wedge {}^{\alpha}X^0 {}^{\alpha\alpha}R^0 {}^{\alpha}X^0 \wedge B_1$  — схема РКМ, где  $A_1, B_1$  — любые фрагменты (в том числе и пустые) модели, не содержащие  ${}^{\alpha}X^0 {}^{\alpha\alpha}R^0 {}^{\alpha}X^0$ , исключая случай  $A_1 = B_1 = \emptyset$  и  $co = A_2 \wedge {}^{\alpha}X^0 {}^{\alpha\alpha}R^0 {}^{\alpha}X^0 \wedge B_2$  — двух или трехролевой конструкт, где  $A_2, B_2$  — любые фрагменты (в том числе и пустые), не содержащие  ${}^{\alpha}X^0 {}^{\alpha\alpha}R^0 {}^{\alpha}X^0$ , исключая случай  $A_2 = B_2 = \emptyset$ , то  $ch = A_1 \wedge {}^{\alpha}X^0 {}^{\alpha\alpha}R^0 {}^{\alpha}X^0 \wedge B_1 \wedge A_2 \wedge B_2$  — схема РКМ (склеивание треугольников вершиной);

3) если  $ch_1 = A_1 \wedge {}^\alpha X^0 \alpha^\beta R^0 \beta X^0 \wedge B_1$ ,  $ch_2 = A_2 \wedge {}^\beta X^0 \beta^\alpha R^0 \alpha X^0 \wedge B_2$  — схемы РКМ, причем  $A_1 = A_2$ ,  $B_1 = B_2$  — непустые фрагменты, то  $ch_3 = A_1 \wedge {}^\alpha X^0 \alpha^\beta R^0 \beta X^0 \wedge {}^\beta X^0 \beta^\alpha R^0 \alpha X^0 \wedge B_1$  — схема РКМ (добавление обратного отношения);

4) если  $ch_1 = A_1 \wedge {}^\alpha X^0 \alpha^\beta R^0 \beta X^0 \wedge B_1$ ,  $ch_2 = A_2 \wedge {}^\alpha X^0 \alpha^\beta R^0 \beta X^0 \wedge B_2$  — схемы РКМ, причем  $A_1, A_2, B_1, B_2$  — непустые фрагменты, то  $ch_3 = A_1 \wedge A_2 \wedge {}^\alpha X^0 \alpha^\beta R^0 \beta X^0 \wedge B_1 \wedge B_2$  — схема РКМ (склеивание треугольников сторонами);

5) в схеме РКМ не может быть более одного не связанного одноролевого конструкта;

6) никаких других схем РКМ нет.

Таким образом, схемы РКМ  $ch \in CH$  строятся из конструктов-аксиом и есть высказывания-теоремы неформальной аксиоматической теории  ${}^{PB}T$ , полученные по правилу склеивания.

## 8. Предикативно-вербальные представления в Модели Мира субъекта деятельности

«Три мира и три тайны» — так охарактеризовал миропонимание «реальный — мысленный — культурный» Р. Пенроуз [73]. Не без основания отнесем к числу таких тайн, повсеместных, интересных и загадочных особенностей — эмерджентность, описывающую мелкие вещи, образующие большие вещи со свойствами, отличающимися от суммы их частей. Эмерджентность — сложность, возникающая из простоты и отношений, — древнейшей категории Аристотеля, не мыслившего самостоятельного бытия отношения без вещей [73].

Отношение — всеобщая категория, приобретающая предметно-содержательный характер применительно к определенной системе: материальной, социальной, духовной, формальной (в логике и математике), вербально-языковой (литература, деловая проза, принятия решений и т. п.), визуально-образной (изобразительное искусство, архитектура, принятие решений, конструирование, обучение и т. п.). Индикаторы отношений — предикаты.

Исследованию представлений о лексических (объектных, семантических) отношениях в Модели Мира субъекта посвящены работы по философии, логике, математике, информатике, методологии науки и теории систем А. И. Умова, Е. К. Войшвилло, Ю. А. Шрейдера, Д. П. Горского, В. Ш. Рубашкина, С. В. Лурье, Л. Ф. Замятиной, З. Вендлера, А. Я. Райбекаса, В. И. Свидаевского, М. М. Новоселова, Г. Д. Левина, П. М. Колычева, по филологии, языковедению, лингвистике, прикладной лингвистике В. В. Мартынова, Ю. Д. Апресяна, Н. Д. Арутюновой, Л. В. Щербы, О. Н. Селиверстовой, Д. Н. Шмелева, Г. Д. Ахметовой, Э. Ф. Скороходько, Е. С. Кубряковой, З. В. Поповой, Ю. Н. Караулова, Г. А. Золотовой, Н. С. Трубецкого, Т. В. Бульгиной, Л. М. Васильева, Т. Д. Шабановой, А. В. Бондарко, Ю. С. Степанова, А. И. Варшавской, М. В. Все-

володовой, В. И. Кодухова, Н. Н. Леонтьевой, Н. С. Валгиной, когнитивной лингвистике, контрастивной лингвистике Н. Н. Болдырева, Э. А. Сорокиной, А. И. Стернина, Е. В. Дзюбы, У. Чейфа, общей психологии, психофизиологии, психологии речи, психолингвистики Т. Н. Ушаковой, В. П. Белявина, Ю. А. Сорокина, В. Н. Пушкина, С. А. Дружилова, А. Н. Соколова, психотерапии В. Н. Мякишева, новым методам управления, искусственному интеллекту, представлению знаний в интеллектуальных системах Д. А. Пospelова, А. В. Колесникова, Л. Б. Нисенбойма, Е. Ю. Кандрашиной, Л. В. Литвинцевой, Г. С. Осипова и С. О. Варосян.

Предикативная модель долгие годы предопределяла «лингвистический поворот» в философии познания [74]. Ее преимущество — вычисления. В классической логике Аристотеля субъект — это предмет, о котором выносится суждение. Субъект  $S$  соотносится либо с ресурсом деятельности, либо с вербальным концептом в психике человека. Суждение о нем выносится в форме предиката  $P$ , утвердительного или отрицательного высказывания. Структуру атрибутивного суждения представляет формула  $S — P$  со связкой *есть* как компонент, выражающий присущность или неприсущность признака предмету.

Впоследствии атрибутивную логику вытеснила реляционная логика, определяющая предикат не как свойство отдельного предмета ( $S — P$  или  $S$  *есть*  $P$ ), а как отношение между двумя (или тремя и т. д.) предметами (аргументами, термами), что нашло отражение в использовании формул  $P(x, y)$ ,  $P(x, y, z)$ , где  $P$  символизирует двухместный или одноместный предикат, например: *располагаться на* (трансформатор, подстанция) = трансформатор *расположен на* подстанции; *располагаться между* (ЛЭП, ТЭЦ-2, подстанция Северная) = ЛЭП *расположена между* ТЭЦ-2 и Калининградом.

В формулах символ предиката помещают за скобками, чтобы подчеркнуть господство предиката над другими компонентами суждения. По этой причине и атрибутивное суждение может быть представлено формулой  $P(x)$ . Обобщая сказанное, можно дать следующее определение предиката в традиции языкознания.

Предикат (лат. *predicatum* — заявленное, упомянутое, сказанное) — термин логики и языкознания, обозначающий конститутивный член суждения — то, что высказывается (утверждается или отрицается) о субъекте. В славянских терминологических системах «предикат» заменен на «сказуемое», с которым ассоциируется формальный аспект этого члена предложения, а с термином «предикат» — содержательный.

По количеству актантов предикаты делятся на одноместные (*сигнал аварийный*); двухместные (*дома близко к ЛЭП*); трехместные (*дом близко к ЛЭП и видеокамере*); четырехместные (*дерево заслоняет опору ЛЭП от видеонаблюдения большими ветками*); есть еще пяти-, шести-, и семиместные предикаты. Грамматический предикат характеризуется определенным местом в линейной структуре предложения. В его позиции чаще всего выступает глагол. Предикативность — важнейшая характеристика атомарного предложения — двусложной конструкции, воссоздающей произвольную ситуацию, сочетаю-

щую субъект с определенным предикатом. На синтаксическом уровне предикат (рис. 7) — ядерная структура с  $n$  актантами. Ядро — глагольная конструкция, а актанты объединяются с ядром системой отношений. Узлы в этой конструкции — имена (существительное, местоимение, числительное) в их атрибутивной форме.



Рис. 7. Структурная схема предиката

Обозначения: ДЕЙСТВИЕ — ядро, глагольная конструкция; СУБЪЕКТ; ОБЪЕКТ 1, ..., ОБЪЕКТ 7 — актанты предиката;  $r_0$  — отношение «быть субъектом»;  $r_i$  — отношения предиката

Если обозначить ДЕЙСТВИЕ,  ${}^d x_1$  — ядро предиката (предикатор), в общем случае — глагольная конструкция, имеющая дополнительно атрибутивные компоненты; СУБЪЕКТ,  ${}^c x_1$  — субъект предиката, материальная сущность, нематериальный объект, «пусто»; ОБЪЕКТ 1,  ${}^o x_1, \dots, \text{ОБЪЕКТ } 7, {}^o x_7$  — актанты; могут быть представлены отдельными объектами или в форме конкретных характеристик предикатора, обозначенных наречиями (*вчера, сегодня, там, здесь* и т. п.);  $r_0$  — отношение быть субъектом,  $r_1, \dots, r_7$  — отношения предиката, то синтаксис (формализованная запись) предиката для атомарного предложения принимается в следующей линейно-последовательной интерпретации:

(ДЕЙСТВИЕ) *иметь субъектом* (СУБЪЕКТ) и (ДЕЙСТВИЕ) *иметь объектом* (ОБЪЕКТ1) и (ДЕЙСТВИЕ) *иметь место* (ОБЪЕКТ2) и (ДЕЙСТВИЕ) *иметь результат* (ОБЪЕКТ3) и (ДЕЙСТВИЕ) *иметь средство* (ОБЪЕКТ4) и (ДЕЙСТВИЕ) *иметь средство* (ОБЪЕКТ5) и (ДЕЙСТВИЕ) *откуда* (ОБЪЕКТ6) и (ДЕЙСТВИЕ) *куда* (ОБЪЕКТ7),

или

$$\begin{aligned} & (\text{ДЕЙСТВИЕ}) (r_0(\text{СУБЪЕКТ}) \wedge r_1(\text{ОБЪЕКТ1}) \wedge r_2(\text{ОБЪЕКТ2}), \\ & \wedge r_3(\text{ОБЪЕКТ3}) \wedge r_4(\text{ОБЪЕКТ4}) \wedge r_5(\text{ОБЪЕКТ5}) \wedge r_6(\text{ОБЪЕКТ6}) \\ & \wedge r_7(\text{ОБЪЕКТ7})), \end{aligned}$$

что может быть переписано в линейной форме сообщения:

$$\left( {}^D x_1 \right) \left( r_0 \left( {}^C x_1 \right) \wedge r_1 \left( {}^O x_1 \right) \wedge r_2 \left( {}^O x_2 \right) \wedge r_3 \left( {}^O x_3 \right) \wedge r_4 \left( {}^O x_4 \right) \wedge r_5 \left( {}^O x_5 \right) \wedge r_6 \left( {}^O x_6 \right) \wedge r_7 \left( {}^O x_7 \right) \right).$$

При этом сокращается «размер» сообщения, оно кодируется, то есть происходит замена по установленной заранее договоренности, конвенционально имен отношений *иметь субъектом, иметь объектом, иметь местом* и других на их кодовые обозначения (*r*-коды)  $r_0, \dots, r_7$  соответственно, а также имен (слов) ДЕЙСТВИЕ, СУБЪЕКТ, ОБЪЕКТ на их *x*-коды.

Такое кодирование названо предикативно-вербальным *r<sub>k</sub>x*-кодированием, а сами коды имен отношений и понятий формируются по правилам соответственно с классификацией отношений *ресурс — ресурс, свойство — свойство, действие — действие, ресурс — свойство, свойство — ресурс, ресурс — действие, действие — ресурс, действие — свойство, свойство — действие* и их формально-логических свойств [5].

Предикативно-вербальные *r<sub>k</sub>x*-коды включают не только признак имени: отношение — *r*, понятие — *x*, их номер в лексическом словаре, признак формально-логических свойств (симметричное, транзитивное и др., прямое, обратное), но и, по Д. А. Поспелову, признак *k* принадлежности к классам по Д. А. Поспелову (классификации, признаковые, количественные, сравнения, принадлежности, и др.) и девяти указанным выше классам.

Формирование синтагматических, ситуационных отношений, воссоздающих пространственно-временные и причинно-следственные связи, явно или неявно присутствующих в сообщениях субъекта, происходит иным путем. Это отношения *быть временем, быть пространством, быть причиной, быть следствием* и т. п. В традиции когнитивной лингвистики реализации этих отношений — синтагмы и синтагматические цепи.

Синтагма, по П. М. Колычеву [76], — двучленное соположение каких-либо элементов языка в линейной последовательности:

ЗНАЧЕНИЕ *равно 50*, ПОДСТАНЦИЯ СЕВЕРНАЯ *рядом* КАЛИНИНГРАД,  
ТРАНСФОРМАТОР *находится на* ПОДСТАНЦИИ.

На абстрактном уровне синтагма представляется следующей формой:

$$(\text{ОБЪЕКТ } 1)r(\text{ОБЪЕКТ } 2) \text{ или } \left( {}^O x_1 \right) r \left( {}^O x_2 \right), \text{ или } \left( {}^O x_1 r_1 {}^O x_2 \right),$$

где ОБЪЕКТ 1,  ${}^O x_1$  — символьная абстракция от *значение, подстанция Северная, трансформатор*; ОБЪЕКТ 2,  ${}^O x_2$  — символьная абстракция от *50, Калининград, подстанции*; *r* — символьная абстракция от *равно, рядом, находится на* и им подобным.

Синтагма, «тройка» как простая ядерная конструкция, по Д. А. Поспелову, — основная единица языка отношений ситуационного управления. В средней ее

позиции находится отношение  $r$ , а в крайних позициях, называемых левым  ${}^o x_1$  и правым полюсами  ${}^o x_2$ , — понятия (круглые скобки использованы как разделители). Отношения  $r$  связывают между собой ресурсы, выступающие в них как определенные роли, семантика которых специфицируется видом отношения. Такие отношения  $r$  называются ролевыми.

Из синтагм строятся линейные последовательности математических символов — синтагматические цепи, например

$$({}^o x_1 r_1 {}^o x_2) \wedge ({}^o x_1 r_1 {}^o x_3) \wedge \dots \wedge ({}^o x_4 r_1 {}^o x_5).$$

Синтагмы и их цепи преобразуются по алгебраическим правилам [77].

В разделе 7 аксиоматически введены, по сути, два варианта «синхронизированных» представлений семиотических знаков: линейно-предикативная, последовательно формируемая запись в нотации  $r_kx$ -кодов и графическая интерпретация концептуальными графами, вершины и дуги которых были именованы  ${}^k x$  — и  ${}^k r$ -кодами соответственно. В итоге графическую форму приобрели три базисных схемных конструкта: *точка*, *отрезок линии* и *треугольник*, из которых по правилам склеивания треугольников вершиной, добавления обратного отношения и склеивания треугольников стороной строились сложные составные схемы знаков, обозначающие ресурсы и их отношения, а также ментальные сущности субъекта деятельности в Модели Мира.

Предикативно-вербальные представления в Модели Мира субъекта используются как ПВ-звено в когнитивно-ориентированной двухзвенной модели процесса поддержки принятия решений, реализованное в языке ПВ-описания  ${}^{PB}L$  [7; 78]:

$$\begin{aligned} {}^{PB}L = & {}^{PB}L_1^m \cup {}^{PB}L_2^{pcd} \cup {}^{PB}L_3^{pcdn} \cup {}^{PB}L_4^\Pi \cup {}^{PB}L_5^S \cup \\ & \cup {}^{PB}L_6^h \cup {}^{PB}L_7^u \cup {}^{PB}L_8^f \cup {}^{PB}L_9^m \cup {}^{PB}L_{10}^{ah} \cup {}^{PB}L_{11}^{au} \cup {}^{PB}L_{12}^{be} \cup {}^{PB}L_{13}^{цель}, \end{aligned}$$

где  ${}^{PB}L_1^m$ ,  ${}^{PB}L_2^{pcd}$ ,  ${}^{PB}L_3^{pcdn}$ ,  ${}^{PB}L_4^\Pi$ ,  ${}^{PB}L_5^S$ ,  ${}^{PB}L_6^h$ ,  ${}^{PB}L_7^u$ ,  ${}^{PB}L_8^f$ ,  ${}^{PB}L_9^m$ ,  ${}^{PB}L_{10}^{ah}$ ,  ${}^{PB}L_{11}^{au}$ ,  ${}^{PB}L_{12}^{be}$ ,  ${}^{PB}L_{13}^{цель}$  — языки ПВ-описания производных отношений ( $m$ ), ресурсов — свойств — действий ( $pcd$ ), иерархий ресурсов, свойств и действий ( $pcdn$ ), ситуаций ( $\Pi$ ) и состояний ( $S$ ), однородных задач ( $h$ ), неоднородных задач ( $u$ ), фаз управления ( $f$ ), жизненного цикла управления ( $fc$ ) и автономных методов ( $m$ ), крупно- и мелкозернистых элементов КФГиИС ( $ah$ ), когнитивных функциональных ГиИС ( $au$ ), их поведения ( $be$ ) и целей соответственно.

ПВ-язык  ${}^{PB}L_1^m(X^0, R_{ij}^0, {}^{PB}\mathcal{P}_1) = {}^{PB}\{r_{ij}^n\}$  — множество знаков производных отношений  $R_{ij}^n$ , выводимых из целевых отношений  $r_1^0$  — *иметь* и  $r_2^0$  — *быть* и базовых понятий:  ${}^i X^0$  ( $i$  — категориальный признак (таблица в разделе 4, с. 61) по правилам  ${}^{CB}\mathcal{P}_1 = \{{}^{CB}p_{11}, {}^{CB}p_{12}\}$ .

ПВ-язык

$${}^{PB}L_2^{pcd} (X^0, {}^1R_{ij}^n, (, ), {}^{PB}\mathcal{P}_2) = {}^{PB} \{ {}^i x_k \}$$

— множество знаков производных понятий (ПП)

$$\{ {}^1x_1, \dots, {}^1x_{NX1}, {}^2x_1, \dots, {}^2x_{NX2}, {}^3x_1, \dots, {}^3x_{NX3} \} = X,$$

получаемых из  $X^0, {}^1R_{ij}^n, (, )$  по правилам  ${}^{PB}\mathcal{P}_2$  и обозначающих простые ресурсы, свойства и действия. ПВ-язык

$${}^{PB}L_3^{pcdn} (X^0, X, {}^5R_{ij}^n, (, ), {}^{PB}\mathcal{P}_3) = {}^{PB} \{ {}^i x_k^n \}$$

— множество знаков ПП  $\{ {}^1x_1^n, \dots, {}^1x_{NN1}^n, {}^2x_1^n, \dots, {}^2x_{NN2}^n, {}^3x_1^n, \dots, {}^3x_{NN3}^n \} = X^n$ , получаемых из  $X^0, X, {}^5R_{ij}^n, (, )$  по правилу  ${}^{CB}p_{31} \in {}^{CB}\mathcal{P}_3$ , общему для свойств, ресурсов и действий. ПВ-язык

${}^{PB}L_4^\Pi (X^0, X^n, \{ {}^f R_{ij}^n \}, (, ), {}^{PB}\mathcal{P}_4) = {}^{PB} \{ {}^i \pi_k \}$  — множество знаков ПП  $\{ {}^1\pi_1, \dots, {}^1\pi_{N\pi1}, {}^3\pi_1, \dots, {}^3\pi_{N\pi2} \} = \Pi$ , получаемых из  $X^0, X^n, {}^3R_{ij}^n, {}^4R_{ij}^n, {}^6R_{ij}^n, (, )$  по правилу  ${}^{PB}p_{41} \in {}^{PB}\mathcal{P}_4$ . ПВ-язык

$${}^{PB}L_5^S (\Pi, {}^{PB}\mathcal{P}_5) = {}^{PB} \{ s_k \}$$

— множество знаков состояний  $\{ s_1, \dots, s_{NS} \} = S$ , формально выводимых по правилу  ${}^{PB}p_{51} \in {}^{PB}\mathcal{P}_5$ .

Специфицируем знаки

$${}^{PB}L_6^h, {}^{PB}L_7^u, {}^{PB}L_8^f, {}^{PB}L_9^m, {}^{PB}L_{10}^{\alpha h}, {}^{PB}L_{11}^{\alpha u}, {}^{PB}L_{12}^{be}, {}^{PB}L_{13}^{цель}.$$

$${}^{PB}L_6^h ({}^{PB}L_1^m, \dots, {}^{PB}L_5^S, {}^6X^0, {}^8X^0, {}^9X^0, R^n, {}^{PB}\mathcal{P}_6(\pi^h)) = {}^{PB} \{ {}^8x^n | h \},$$

$${}^{PB}L_7^u ({}^{PB}L_6^h, {}^{88}R_3^n, {}^{PB}\mathcal{P}_7^u) = {}^{PB} \{ {}^8x^n | u \}, \quad {}^{PB}L_7^\Pi ({}^{PB}L_6^h, {}^{88}R_3^n, {}^{PB}\mathcal{P}_7^\Pi) = {}^{PB} \{ {}^8x^n | \Pi \},$$

$${}^{PB}L_8^f ({}^{PB}L_6^h, {}^{85}X^0, {}^5R_{ij}^n, {}^{PB}\mathcal{P}_8) = {}^{PB} \{ {}^{85}x^n | f \} = {}^{PB} \{ {}^{85}x^n | f \},$$

$${}^{PB}L_8^{fc} ({}^{PB}L_6^f, {}^{86}X^0, {}^{8585}R_{ij}^n, {}^{PB}\mathcal{P}_8) = {}^{PB} \{ {}^{86}x^n | fc \} = {}^{PB} \{ {}^{86}x^n | fc \},$$

$${}^{PB}L_9^m ({}^{PB}L_1^{rn}, \dots, {}^{PB}L_5^S, {}^{PB}L_6^h, {}^{PB}\mathcal{P}_9(\hat{m}^a, \tilde{m}^a, )) = {}^{PB} \{ {}^{91}x^n | m \},$$

$${}^{PB}L_{10}^{\alpha h} ({}^{PB}L_1^{rn}, \dots, {}^{PB}L_5^S, {}^{PB}L_9^m, {}^{PB}\mathcal{P}_{10}(\bar{\alpha}^h(t)|_j, \tilde{\alpha}^h(t)|_j)) = {}^{PB} \{ {}^1\bar{x}^n | \alpha h, {}^1\tilde{x}^n | \alpha h \},$$

$$\begin{aligned}
 {}^{PB}L_{11}^{au}({}^{PB}L_1^{rn}, \dots, {}^{PB}L_5^S, {}^{PB}L_{10}^{\alpha h}, \psi\phi \ddot{R}^n; {}^{PB}\mathcal{P}_{11}(\bar{\alpha}^u(t), \tilde{\alpha}^u(t))) &= {}^{PB}\{\bar{x}^n(t)|^{au}, {}^1\tilde{x}^n|^{au}\}, \\
 {}^{PB}L_{12}^{be}({}^{PB}L_1^S, \dots, {}^{PB}L_5^S, {}^{PB}L_{11}^{au}, {}^{22}R^n; {}^{PB}\mathcal{P}_{12}(\bar{\alpha}^{uu}(t), \tilde{\alpha}^{uu}(t))) &= {}^{PB}\{{}^6be^n\}, \\
 {}^{CB}L_{13}^{цель}({}^{CB}L_2^{pc\delta}, {}^{CB}L_3^{pc\delta n}, {}^{CB}L_4^\Pi, {}^{CB}L_4^S, {}^{131}x^n, {}^{132}x^n, {}^{133}x^n, {}^{134}x^n, {}^{12}x^n, {}^{13}x^0, {}^{CB}\mathcal{P}_{20}) &= \\
 &= {}^{CB}\{{}^{13}x^n|^{цель}\},
 \end{aligned}$$

где  $\hat{m}^a$  — макро-,  $\tilde{m}^a$  — микроуровневое представление метода;  $\bar{\alpha}^h(t)|_j$  — крупно- и  $\tilde{\alpha}^h(t)|_j$  — мелкозернистое представление элементов;  ${}^1\bar{x}^n(t)|^{au}, {}^1\tilde{x}^n|^{au}$  — знаки крупно- и мелкозернистых гибридов.

Ниже дан пример формализованного ПВ-представления знака *линия электропередачи* в языке  ${}^{PB}L_2^{pc\delta}$ , удобном для восприятия субъектом деятельности:

*линия электропередачи = быть электроустановка иметь имя ((номер ВЛ-325) (диспетчерское наименование ВЛ 330 кВ Битеный-Советск №1)) иметь параметр (номинальный ток выключателя (иметь единицу измерения А иметь значение 2000) (номинальный ток разъединителя (иметь единицу измерения А иметь значение 2000)) (номинальный ток трансформатора (иметь единицу измерения А иметь значение 2000)) (наибольший ток трансформатора (иметь единицу измерения А иметь значение 2000)) (номинальный ток ВЧ заградителя (иметь единицу измерения А иметь значение 2000)) (длительная допустимая токовая нагрузка проводов при 0 °С (иметь единицу измерения А иметь значение 1914)) (длительная допустимая токовая нагрузка проводов при +25 °С (иметь единицу измерения А иметь значение 1448)) иметь характеристику ((год ввода в эксплуатацию 1971) (тип воздушная)(марка провода ошиновки 2хАС-300)(марка провода ЛЭП 2хАСО-300/39)) иметь в составе (провод, траверса, изолятор, арматура, опора, грозозащитный трос, разрядник, заземление, секционированное устройство, молниезащита, птицевозащитное устройство, гаситель вибрации, канал связи, ВЧ-заградитель, устройство плавки гололеда) быть предназначенным для (передача электроэнергии) иметь состояние (режим) (нормальный).*

Знак *линия электропередачи* может быть записан и в линейно-предикативной, последовательно формируемой нотации *гкx*-кодов, что повышает эффективность вычислений теоретико-множественных, предикативных выражений в лингвистической модели.

## 9. Теория изографов предметно-изобразительных представлений в Модели Мира субъекта деятельности

Данный раздел повторяет фрагмент текста [79] в силу наличия в оригинал-макете последнего искажений в некоторых формулах.

Изограф — расширение плоского гиперграфа, по А. А. Зыкову [80], на естественное и немедленное восприятие отношений субъектом деятельности в двух независимых измерениях по  $X$  и  $Y$  в ортогональной системе координат и третьем (независимом от  $X$  и  $Y$ ) измерении по  $Z$  — энергии светового потока, по Ж. Бертену [45], и на: 1) плоские прямоугольные геокоординаты; 2) метрическое пространство экранных координат интерактивной машинной графики и специфицирующие в топологии связные множества.

Изографом назван следующий объект:

$$H = (\mathbf{X}, P_1, P_2, P_3),$$

где  $\mathbf{X} = \{X, U, V, W, M, \Pi, \mathcal{E}\}$  — неоднородное семейство множеств (носитель модели);  $X = \{x_i \mid i \in \overline{1, N_X}\}$  — множество точек-вершин;  $U = \{u_{ij} \mid i, j \in \overline{1, N_U}\}$  — множество линий-ребер;  $V = \{v_k \mid k \in \overline{1, 6}\}$  — множество визуальных переменных, по Ж. Бертену:  $v_1$  — форма,  $v_2$  — размер,  $v_3$  — текстура,  $v_4$  — цвет,  $v_5$  — ориентация,  $v_6$  — контраст;  $W = \{W_k \mid k \in \overline{1, 6}\}$  — семейство множеств значений-градаций визуальных переменных;  $W_k = \{w_l \mid l \in \overline{1, N_{WK}}\}$  — множество значений-градаций  $v_k$  визуальной переменной;  $M = \{m_1, m_2, \dots, m_{NM}\}$  — множество топологических математических моделей;  $\Pi = \{A_\Pi, D_\Pi, X_\Pi, Y_\Pi\}$  — семейство множеств картографической проекции географических координат в плоские прямоугольные координаты (геокоординаты);  $A_\Pi = \{a_{\Pi_1}, a_{\Pi_2}, \dots, a_{\Pi_{N\Pi}}\}$  — множество алгоритмов обработки картографических данных;  $D_\Pi$  — множество исходных пространственно-координированных данных алгоритмов  $a_{\Pi_j} \in A_\Pi \mid j \in \overline{1, N_\Pi}$ ;  $X_\Pi = \{x_\Pi \mid x_\Pi \in \mathbb{R}\}$ ,  $Y_\Pi = \{y_\Pi \mid y_\Pi \in \mathbb{R}\}$  — множества геокоординат;  $\mathcal{E} = \{A_\mathcal{E}, D_\mathcal{E}, X_\mathcal{E}, Y_\mathcal{E}\}$  — семейство множеств экранной системы координат метрического евклидова пространства;  $X_\mathcal{E} = \{0, 1, \dots, 1023\}$ ,  $Y_\mathcal{E} = \{0, 1, \dots, 767\}$  — множества экранных координат (натуральных чисел) по горизонтали и вертикали соответственно монитора с некоторым разрешением;  $A_\mathcal{E} = \{a_{\mathcal{E}_1}, a_{\mathcal{E}_2}, \dots, a_{\mathcal{E}_{N\mathcal{E}}}\}$  — семейство множеств алгоритмов интерактивной машинной графики;  $D_\mathcal{E} = \{{}^1D_\mathcal{E}, {}^2D_\mathcal{E}, \dots, {}^6D_\mathcal{E}\}$  — семейство множеств исходных данных по каждой визуальной переменной для алгоритмов  $a_{\mathcal{E}_i} \in A_\mathcal{E} \mid i \in \overline{1, N_\mathcal{E}}$ ;  $P_1, P_2, P_3$  — семейства множеств предикатов инцидентора, визуализатора и исполнителя соответственно.

Рассмотрим носитель модели  $X$  подробнее. Множество вершин  $X$  неоднородно и включает три подмножества вершин-точек планарной плоскости- $X = \{ {}^\phi X, {}^K X, {}^B X \}$ , где  ${}^\phi X = \{ \cdot X, \bar{X}, \square X, \triangle X, \circ X, \triangleright X, {}^T X \}$  — множество формообразующих вершин фигур:  $\cdot X = \{ \cdot x \}$  — точка;  $\bar{X} = \{ \bar{x}_1, \bar{x}_2 \}$  — линия (прямая, кривая, замкнутая);  $\square X = \{ \square x_1, \square x_2, \square x_3, \square x_4 \}$  — квадрат;  $\triangle X = \{ \triangle x_1, \triangle x_2, \triangle x_3 \}$  — треугольник;  $\circ X = \{ \circ x_1, \circ x_2 \}$  — окружность;  $\triangleright X = \{ \triangleright x_1, \triangleright x_2, \triangleright x_3, \triangleright x_4, \triangleright x_5 \}$  — пятиточечная стрелка (вместо символа  $\blacktriangleright$  здесь и ниже использован символ  $\blacktriangleright$ ),  ${}^T X = \{ {}^T x_1, {}^T x_2, {}^T x_3, {}^T x_4 \}$  — ТЕКСТ;  ${}^K X = \{ {}^K x_1, {}^K x_2, \dots, {}^K x_{NK} \}$  — множество вершин контура ребра-фигуры,  ${}^B X = \{ {}^B x_1, {}^B x_2, \dots, {}^B x_{NB} \}$  — множество вершин внутренней области ребра-фигуры.

Ребра  $u_{ij} \in U$  изографа — множества, гомеоморфные кругу с границей и содержащие все инцидентные вершины.

Визуальная переменная  $v_j \in V \mid j \in \overline{1,6}$  принимает значение  $w_{jm}$  на соответствующих множествах

$$V_1 = \{ V_1^0, V_1^n \}, V_2 = \{ w_{21}, \dots, w_{2S} \}, V_3 = \{ w_{31}, \dots, w_{3T} \}, V_4 = \{ w_{41}, \dots, w_{4C} \}, \\ V_5 = \{ w_{51}, \dots, w_{5O} \}, V_6 = \{ w_{61}, \dots, w_{6K} \}; \\ V_1^0 = \{ \cdot w_{11}^0, \bar{w}_{12}^0, \square w_{13}^0, \triangle w_{14}^0, \circ w_{15}^0, \triangleright w_{16}^0, {}^T w_{17}^0 \}$$

— множество базовых символов форм (ноль в качестве правого верхнего индекса; левый верхний индекс символизирует формы:  $\cdot w_{11}^0$  — точки,  $\bar{w}_{12}^0$  — линии,  $\triangle w_{13}^0$  — треугольника,  $\square w_{14}^0$  — квадрата (прямоугольника),  $\circ w_{15}^0$  — окружности (овала),  $\triangleright w_{16}^0$  — пятиточечной стрелки (стрелки),  ${}^T w_{17}^0$  — текста). Базовые формы комбинируются по правилам исполнения операций над изографами, и результирующая форма-комбинация относится в множество  $V_1^n = \{ \square w_{11}^n, \square w_{12}^n, \dots, \square w_{1A}^n, \triangle w_{11}^n, \triangle w_{12}^n, \dots, \triangle w_{1B}^n, \triangleright w_{11}^n, \triangleright w_{12}^n, \dots, \triangleright w_{1I}^n \mid n \in \overline{1, N}$  — производных (сложных) форм, где  $N$  — уровень сложности формы (если она содержит только базовые формы, то  $n=1$ , если хотя бы одну форму первого уровня, то  $n=2$  и т. д.).

Число элементов  $V_2 - V_6$  ограничено, мощности этих множеств психологически обоснованы и рассмотрены, например, в [45; 81].

Множество  $M$  топологических математических моделей объектов реального физического пространства (геометрических фигур) в системе условных геометрических построений, подчиненных целям геометрической дея-

тельности и пространственного мышления, оперирующего образами, содержание которой — воспроизведение и преобразование пространственных свойств и отношений объектов: их формы, величины и взаимного положения частей. Эти модели отражают систему пространственных, метрических и конструктивных свойств евклидова пространства, а также реализуют задачи создания геометрических образов на интуитивном, логико-символическом, знаковом уровнях во внутреннем плане субъекта деятельности [82].

Семейство множеств  $\Pi$  — теоретико-множественное представление положения точки на земной поверхности или, более широко, в географической оболочке. При этом используются картографические проекции географических координат в плоские прямоугольные геокоординаты и алгоритмы обработки картографических данных: система координат СК-95, система «Параметры Земли» ПЗ-90 [83] и Всемирная геодезическая система координат 1984 (WGS-84) [84]. Формат геокоординат: градусы и их десятичные доли (минуты и секунды не используются). Например, описание точки с координатами  $45^{\circ}34'55''$  северной широты и  $15^{\circ}30'0''$  западной долготы выглядит так:  $45.581944^{\circ}, -15,5^{\circ}$ . Положительные знаки геокоординат представляются (в большинстве случаев опускаемым) знаком «+» либо буквами: «N» или «с. ш.» — северная широта, «E» или «в. д.» — восточная долгота; отрицательные знаки геокоординат представляются либо знаком «-», либо буквами: «S» или «ю. ш.» — южная широта, «W» или «з. д.» — западная долгота.

Семейство множеств  $\mathcal{E}$  — теоретико-множественное представление экранной системы координат метрического евклидова пространства  $E^2$  с *a priori* определенным расстоянием между точками  $(x_{31}, y_{31})$  и  $(x_{32}, y_{32})$  как длины отрезка, соединяющего эти точки [82].

Отношения на носителе  $X$  задаются семействами множеств предикатов  $P_1, P_2, P_3$  — инцидентора, визуализатора и исполнителя соответственно.

Инцидентор  $P_1 = \{ {}^{\phi}P_1, {}^kP_1, {}^BP_1 \}$  — семейство множеств предикатов инцидентора формы фигуры

$${}^{\phi}P_1 = \{ \cdot P_1, \bar{P}_1, {}^{\square}P_1, {}^{\wedge}P_1, {}^{\circ}P_1, {}^{\triangleright}P_1, {}^T P_1 \},$$

где

$$\cdot P_1 = \{ \cdot \rho_1(u_i, \cdot x) | u_i \in U, \cdot x \in \cdot X \},$$

$$\bar{P}_1 = \{ \bar{\rho}_1(u_i, \bar{x}_e) | u_i \in U, \bar{x}_e \in \bar{X}, e \in \{1, 2\} \},$$

$${}^{\square}P_1 = \{ {}^{\square} \rho_1(u_i, {}^{\square}x_e) | u_i \in U, {}^{\square}x_e \in {}^{\square}X, e \in \overline{1; 4} \},$$

$${}^{\wedge}P_1 = \{ {}^{\wedge} \rho_1(u_i, {}^{\wedge}x_e) | u_i \in U, {}^{\wedge}x_e \in {}^{\wedge}X, e \in \overline{1; 3} \},$$

$$\circ P_1 = \left\{ \circ \rho_1(u_i, \circ x_e) \mid u_i \in U, \circ x_e \in \circ X, e \in \{1, 2\} \right\},$$

$$\triangleright P_1 = \left\{ \triangleright \rho_1(u_i, \triangleright x_e) \mid u_i \in U, \triangleright x_e \in \triangleright X, e \in \overline{1; 5} \right\},$$

$${}^T P_1 = \left\{ {}^T \rho_1(u_i, {}^T x_e) \mid u_i \in U, {}^T x_e \in {}^T X, e \in \overline{1; 4} \right\},$$

множества предикатов инцидентора контура формы фигуры —

$${}^K P_1 = \left\{ {}^K \rho_{1g}(u_i, {}^K x_c) \mid u_i \in U, {}^K x_c \in {}^K X, c \in \overline{1; NK}, g \in \overline{1; N_U} \right\}$$

и множества предикатов инцидентора внутренней области формы фигуры —

$${}^B P_1 = \left\{ {}^B \rho_{1t}(u_i, {}^B x_b) \mid u_i \in U, {}^B x_b \in {}^B X, b \in \overline{1; NB}, t \in \overline{1; N_U} \right\}.$$

Каждой вершине  $x_i \in X$  изографа  $H$  отнесем множество  $U(x) \doteq U_H(x) \doteq \{u \in U \mid P_1(x, u)\}$  всех инцидентных ей ребер, а каждому ребру — множество  $X(u) \doteq X_H(u) \doteq \{x \in X \mid P_1(x, u)\}$  всех инцидентных ему вершин. Инцидентор задается булевыми матрицами

$$A_1^1(H) \doteq a_{1ij}^1, \quad A_1^2(H) \doteq a_{1ij}^2, \quad A_1^3(H) \doteq a_{1ij}^3.$$

Значения элементов  $a_{1ij}^1$  булевой матрицы инцидентора формы фигуры  $A_1^1(H) \doteq a_{1ij}^1$  вычисляются в зависимости от выполнения следующего условия:

$$\begin{aligned} & {}^\Phi \rho_1(u_i, {}^\Phi x_j) = ({}^\cdot \rho_1(u_i, {}^\cdot x_j) = I) \wedge ({}^- \rho_1(u_i, {}^- x_j) = I) \wedge \\ & \wedge ({}^\square \rho_1(u_i, {}^\square x_j) = I) \wedge ({}^\wedge \rho_1(u_i, {}^\wedge x_j) = I) \wedge ({}^\circ \rho_1(u_i, {}^\circ x_j) = I) \wedge \\ & \wedge ({}^\triangleright \rho_1(u_i, {}^\triangleright x_j) = I) \wedge ({}^T \rho_1(u_i, {}^T x_j) = I), \end{aligned}$$

$$a_{1ij}^1 = \begin{cases} 1, & {}^\Phi \rho_1(u_i, {}^\Phi x_j) = I, \\ 0, & {}^\Phi \rho_1(u_i, {}^\Phi x_j) = L. \end{cases}$$

Значения элементов  $a_{1ij}^2, a_{1ij}^3$  булевых матриц инцидентора  $A_1^2(H) \doteq a_{1ij}^2, A_1^3(H) \doteq a_{1ij}^3$  контура фигуры и ее внутренней области, соответственно, вычисляются в зависимости от выполнения следующих условий:

$$a_{1ij}^2 = \begin{cases} 1, & {}^K \rho_1(u_i, {}^K x_j) = I, \\ 0, & {}^K \rho_1(u_i, {}^K x_j) = L, \end{cases} \quad a_{1ij}^3 = \begin{cases} 1, & {}^B \rho_1(u_i, {}^B x_j) = I, \\ 0, & {}^B \rho_1(u_i, {}^B x_j) = L. \end{cases}$$

Визуализатор  $P_2$  — семейство предикатов  $P_2 = \{ {}^\Phi P_2, {}^K P_2, {}^B P_2 \}$ , где

$${}^\Phi P_2 = \{ {}^\Phi \rho_{2t}(u_i, v_j, w_{jm}) \mid u_i \in U, v_j \in V, w_{jm} \in W_j, \\ i \in \overline{1; N_U}, j \in \overline{1; 6}, m \in \overline{1; N_{W_j}}, t \in \overline{1; 7} \}$$

— множество из семи предикатов визуализатора формы фигуры,  ${}^K P_2 = \{ {}^K \rho_{2t}(u_i, v_j, w_{jm}) \}$  — контура формы фигуры,  ${}^B P_2 = \{ {}^B \rho_{2t}(u_i, v_j, w_{jm}) \}$  — внутренней области формы фигуры. Предикат

$$\rho_{2t}(u_i, v_j, w_{jm}) = \rho_{2t}(u_i, v_j) \circ \rho_{2t}(v_j, w_{jm})$$

задается прямоугольной булевой матрицей порядка  $N_U \times 6$  и шестью матрицами-строками по числу визуальных переменных. В общей сложности визуализатор специфицируется тремя матрицами  $A_2(H) \doteq a_{2ij}$  и девятью матрицами-строками  $A_{2w}(H) \doteq a_{2uj}$ . Элементы булевых матриц принимают значения в зависимости от следующих условий:

$$a_{2ij} = \begin{cases} 1, & \rho_{2t}(u_i, v_j) = I, \\ 0, & \rho_{2t}(u_i, v_j) = J, \end{cases} \quad a_{2uj} = \begin{cases} 1, & \rho_{2t}(v_j, w_{jm}) = I, \\ 0, & \rho_{2t}(v_j, w_{jm}) = J. \end{cases}$$

Истинность предикатов  $\rho_{2t}(u_i, v_j)$ ,  $\rho_{2t}(v_j, w_{jm})$  интерпретируется следующим образом: «визуальная переменная  $v_j$  используется в образном представлении ребра  $u_i$ » и «визуальная переменная  $v_j$  приняла значение  $w_{jm}$ » соответственно.

Исполнитель  $P_3$  — семейство предикатов  $P_3 = \{ {}^\Phi P_3, {}^K P_3, {}^B P_3 \}$ , где

$${}^\Phi P_3 = \{ {}^\Phi P_3^{\Pi}, {}^\Phi P_3^{\Theta} \}, \quad {}^K P_3 = \{ {}^K P_3^{\Pi}, {}^K P_3^{\Theta} \}, \quad {}^B P_3 = \{ {}^B P_3^{\Pi}, {}^B P_3^{\Theta} \},$$

$$P_3^{\Pi} = \{ \rho_3^{\Pi}(u_i, m_j, a_{\Pi k}, d_{\Pi}) \mid u_i \in U, m_j \in M, a_{\Pi k} \in A_{\Pi} \},$$

$$d_{\Pi} = ({}^{V_1} d_{\Pi}, {}^{V_2} d_{\Pi}, \dots, {}^{V_6} d_{\Pi}) \in {}^{V_1} D_{\Pi} \otimes {}^{V_2} D_{\Pi} \otimes \dots \otimes {}^{V_6} D_{\Pi},$$

$${}^V d_{\Pi} = (x_{\Pi}, y_{\Pi}) \in X_{\Pi} \otimes Y_{\Pi}, i \in \overline{1; N_U}, j \in \overline{1; N_M}, \Pi k \in \overline{1; N_{\Pi}},$$

$$P_3^{\Theta} = \{ \rho_3^{\Theta}(u_i, m_j, a_{\Theta k}, d_{\Theta}) \mid u_i \in U, m_j \in M, a_{\Theta k} \in A_{\Theta} \},$$

$$d_{\Theta} = ({}^{V_1} d_{\Theta}, {}^{V_2} d_{\Theta}, \dots, {}^{V_6} d_{\Theta}) \in {}^{V_1} D_{\Theta} \otimes {}^{V_2} D_{\Theta} \otimes \dots \otimes {}^{V_6} D_{\Theta},$$

$${}^V d_{\mathcal{O}l} = (x_{\mathcal{O}l}, y_{\mathcal{O}l}) \in X_{\mathcal{O}} \otimes Y_{\mathcal{O}}, i \in \overline{1; N_U}, j \in \overline{1; N_M}, \mathcal{O}k \in \overline{1; N_{\mathcal{O}}},$$

где  ${}^V d_{\mathcal{O}l}, {}^V d_{\mathcal{O}l}$  — геокоординаты и экранные координаты пикселя соответственно. Предикаты

$$\begin{aligned} \rho_3^{\Pi} (u_i, m_j, a_{\mathcal{O}k}, d_{\mathcal{O}l}) &= \rho_3^{1\Pi} (u_i, m_j) \circ \rho_3^{2\Pi} (m_j, a_{\mathcal{O}k}) \circ \rho_3^{3\Pi} (a_{\mathcal{O}k}, d_{\mathcal{O}l}), \\ \rho_3^{\mathcal{O}} (u_i, m_j, a_{\mathcal{O}k}, d_{\mathcal{O}l}) &= \rho_3^{1\mathcal{O}} (u_i, m_j) \circ \rho_3^{2\mathcal{O}} (m_j, a_{\mathcal{O}k}) \circ \rho_3^{3\mathcal{O}} (a_{\mathcal{O}k}, d_{\mathcal{O}l}) \end{aligned}$$

— композиции двухместных предикатов

$$\begin{aligned} A_3^{1\Pi} (H) &\doteq a_{3ij}^{1\Pi}, & A_3^{2\Pi} (H) &\doteq a_{3ij}^{2\Pi}, & A_3^{3\Pi} (H) &\doteq a_{3ij}^{3\Pi}, \\ A_3^{1\mathcal{O}} (H) &\doteq a_{3ij}^{1\mathcal{O}}, & A_3^{2\mathcal{O}} (H) &\doteq a_{3ij}^{2\mathcal{O}}, & A_3^{3\mathcal{O}} (H) &\doteq a_{3ij}^{3\mathcal{O}}. \end{aligned}$$

Элементы булевых матриц предиката  $\rho_3^{\Pi} (\dots, \dots)$  принимают значения в зависимости от выполнения следующих условий:

$$a_{3ij}^{2\Pi} = \begin{cases} 1, & \rho_3^{2\Pi} (m_j, a_{\mathcal{O}k}) = И, \\ 0, & \rho_3^{2\Pi} (m_j, a_{\mathcal{O}k}) = Л, \end{cases} \quad a_{3ij}^{3\Pi} = \begin{cases} 1, & \rho_3^{3\Pi} (a_k, d_{\mathcal{O}l}) = И, \\ 0, & \rho_3^{3\Pi} (a_k, d_{\mathcal{O}l}) = Л. \end{cases}$$

Истинность предиката  $\rho_3^{1\Pi} (u_i, m_j)$  интерпретируется следующим образом: «ребру-фигуре соотнесена математическая модель картографической проекции», предиката  $\rho_3^{2\Pi} (m_j, a_{\mathcal{O}k})$  — «есть алгоритмы обработки картографических данных, реализованные программно для соотнесения геокоординат и экранных координат ребра-фигуры», а предиката  $\rho_3^{2\mathcal{O}} (a_k, d_{\mathcal{O}l})$  — «для алгоритмов обработки картографических данных заданы исходные данные, которые введены в компьютер и использованы соответствующими алгоритмами программы для соотнесения геокоординат и экранных координат ребра-фигуры».

Элементы булевых матриц предиката  $\rho_3^{\mathcal{O}} (\dots, \dots)$  принимают значения в зависимости от выполнения следующих условий

$$a_{3ij}^{2\mathcal{O}} = \begin{cases} 1, & \rho_3^{2\mathcal{O}} (m_j, a_{\mathcal{O}k}) = И, \\ 0, & \rho_3^{2\mathcal{O}} (m_j, a_{\mathcal{O}k}) = Л, \end{cases} \quad a_{3ij}^{3\mathcal{O}} = \begin{cases} 1, & \rho_3^{3\mathcal{O}} (a_k, d_{\mathcal{O}l}) = И, \\ 0, & \rho_3^{3\mathcal{O}} (a_k, d_{\mathcal{O}l}) = Л. \end{cases}$$

Истинность предиката  $\rho_3^{1\mathcal{O}} (u_i, m_j)$  интерпретируется следующим образом: «ребру-фигуре соотнесена одна или несколько математических моделей», предиката  $\rho_3^{2\mathcal{O}} (m_j, a_{\mathcal{O}k})$  — «есть алгоритмы один или несколько, реализованные программно для воспроизведения на экране монитора ребра-

фигуры», а предиката  $\rho_3^{3\Omega}(a_k, d_{\Omega})$  — «для алгоритмов заданы исходные данные, которые, будучи введены в компьютер и использованы соответствующими алгоритмами программами в вычислениях, воспроизведут на экране монитора ребро-фигуру».

Весомую значимость в спецификации изографами схемных представлений в Модели Мира субъекта деятельности играют композиции таких базовых форм изографов, как  $\bigcirc$  — *окружность*,  $\triangle$  — *треугольник*,  $\bullet$  — *точка* и *ТЕКСТ*.

Точка — нульмерный, аксиоматически задаваемый объект, а в пространстве евклидовых экранных координат есть кортеж  $(x, y)$  натуральных чисел, который указывает место, расположение или положение [85]. Как изобразительный элемент она характеризуется концентрацией форм или зрительного восприятия в некотором центре, привлекающем и фиксирующем зрительный фокус. В связи с этим нульмерный объект *точка* будем заменять формой *окружность* небольшого диаметра, визуально хорошо различимого в экранных координатах с заливкой черным цветом. Так будем обозначать однопараметрически (количественно) заданное целевое свойство, например частоту переменного электрического тока (Гц) (рис. 8, *а*). В многоцелевых случаях, а также когда цель задана качественно, лингвистически на обозначениях вместо точки будем использовать форму  $\bigcirc$  (рис. 8, *б*). Наконец, в проблемных ситуациях, когда возможны количественный параметр и качественные характеристики целеполагания, будем использовать форму  $\bigcirc$  с формой  $\bullet$  в центре.

На рисунке 8, *в* дан изограф ролевого визуального отношения «задача имеет свойство» как результат операции примыкания формы  $\triangle$  — *треугольник*, находящейся внутри формы  $\bigcirc$  — *окружность* и соприкасающейся с ней двумя вершинами.

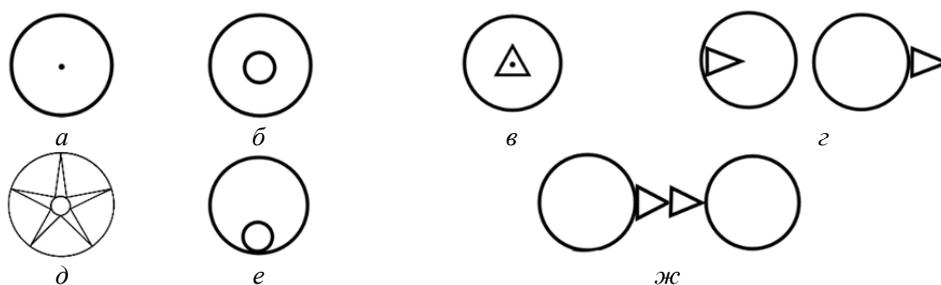


Рис. 8. Примеры изографов для Модели Мира субъекта деятельности:  
*а* — «задача имеет цель» для однопараметрического, количественно заданного целевого свойства; *б* — «задача имеет цель» для качественно, лингвистически заданной цели и многоцелевого случая; *в* — «задача имеет планируемый к достижению целевой параметр»; *г* — «задача имеет свойство»; *д* — *метод*; *е* — «задача в составе проблемы»; *ж* — «выход задачи-1 поступает на вход задачи-2» как фрагмент изографа декомпозиции проблемы

Алгебраически это означает, что построен изограф

$$H = H' \Pi^{\circ-\Delta} H'', \quad H' = (X'; P'_1, P'_2, P'_3) \mid X' \supset \circ X' = \{\circ X\},$$

$$H'' = (X''; P''_1, P''_2, P''_3) \mid X'' \supset \Delta X'' = \{\Delta X\},$$

где  $\Pi^{\circ-\Delta}$  — операция примыкания окружности и треугольника (треугольник внутри окружности), в множество  $V_1^n$  изографа  $H$  добавлен элемент  $\circ w^1 \in V_1^n$ , обозначаемый схемой  ${}^{81}sh^1 \in {}^{81}SH^1 \in {}^{1111}L_5^h$  семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности. Рассмотрим изографы  $H, H', H''$  содержательно на метрической плоскости в экранных координатах (рис. 9).

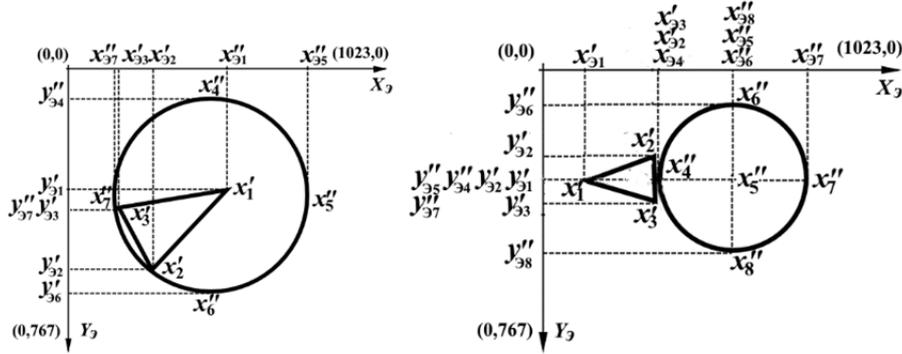


Рис. 9. Изображение изографов  $H, H', H''$  на метрической плоскости в экранных координатах ролевого визуального отношения «задача иметь свойство»

Сформулируем правила вычисления ролевых визуальных отношений «задача иметь свойство» для случаев *треугольник примыкает внутри окружности*:

$$\forall H', H'' (x'_i \in \Delta X' \mid i \in \overline{1;3}, x'_j \in \circ X'' \mid i \in \overline{4;7}, x'_2, x'_3 \in {}^K X^\circ, x'_1 \in {}^B X^\circ) \rightarrow \\ \rightarrow \circ w^1 \in V^1 \mid V^1 \in H$$

и *треугольник примыкает снаружи окружности*:

$$\forall H', H'' (x'_i \in \Delta X' \mid i \in \overline{1;3}, x'_j \in \circ X'' \mid i \in \overline{4;8}, x'_1 \in {}^K X^\circ, x'_4 \in {}^K X^\Delta, (y'_{33} - y'_{32}) = (y'_{31} - y'_{32}), \\ (x'_{32} = x'_{33}), (x'_{31} > x'_{34}) (y'_{31} = y'_{32} = y'_{34} = y'_{35} = y'_{37}) \rightarrow \circ w^1 \in V^1 \mid V^1 \in H.$$

На рисунке 10 пояснены вычисления многоролевого визуального отношения «задача иметь планируемый к достижению целевой параметр параметр» (рис. 8, в) объединением базовых форм *окружность, треугольник и точка*.

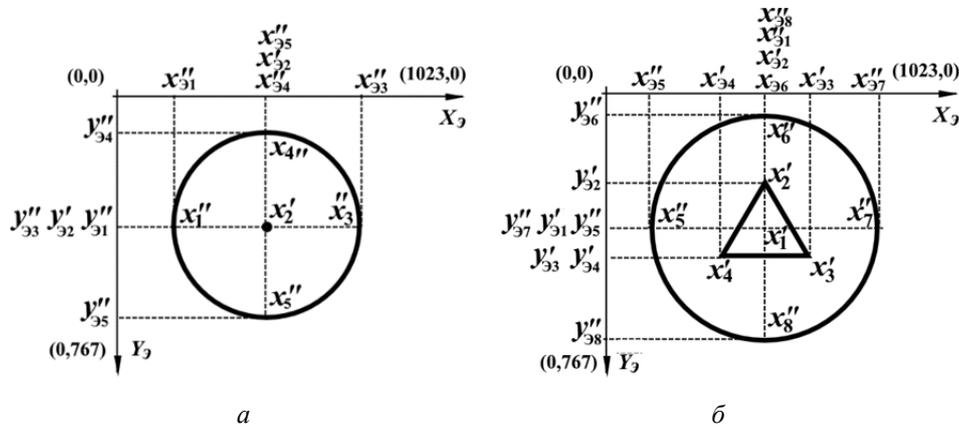


Рис. 10. Изображения изографов  $H, H', H''$  на метрической плоскости в экраннх координатах, поясняющее установление многоролевого визуального отношения «задача иметь планируемый к достижению целевой параметр параметр» как объединение:

- $a$  — изографа «задача иметь цель»;
- $b$  — изографа «задача планирует к достижению параметр параметр»

Сформулируем правило вычисления ролевого визуального отношения «задача иметь цель» для случая *точка в центре окружности*:

$$\forall H', H'' (x'_2 \in \bullet X', x''_j \in \circ X'', j \in \{1, 3, 4, 5, 6\} \quad x'_2 \in \bullet X''^{\circ}, (x''_{93} - x'_{92}) = (x'_{92} - x'_{91}) = (y''_{95} - y'_{92}) = (y'_{92} - y''_{94}), x''_{95} = x'_{92} = x''_{94}, (y'_{91} = y'_{92} = y''_{93})) \rightarrow \circ w^1 \in V^1 | V^1 \in H,$$

и правило вычисления ролевого визуального отношения «задача планирует к достижению параметр параметр» для случая *треугольник в центре окружности*:

$$\forall H', H'' (x'_i \in \wedge X' | i \in \overline{1; 3}, x''_j \in \circ X'' | i \in \overline{4; 8}, x'_i \in \bullet X^{\wedge}, x'_1, x'_2, x'_3, x'_4 \in \bullet X^{\circ}, (x'_{93} - x'_{92}) = (x'_{92} - x'_{94}), (y'_{94} - y'_{91}) = (y'_{91} - y'_{92}), (y'_{91} = y''_{95} = y''_{97})(x''_{96} = x'_{92} = x'_{91} = x''_{98}) \rightarrow \circ w^1 \in V^1 | V^1 \in H.$$

На рисунке 11, *a* пояснено, как вычисляется визуальное отношение «задача в составе проблемы», а на рисунке 11, *б* — «задача иметь цель решения цель», «задача иметь метод решения метод», «задача иметь начальное состояние состояние (режим)».

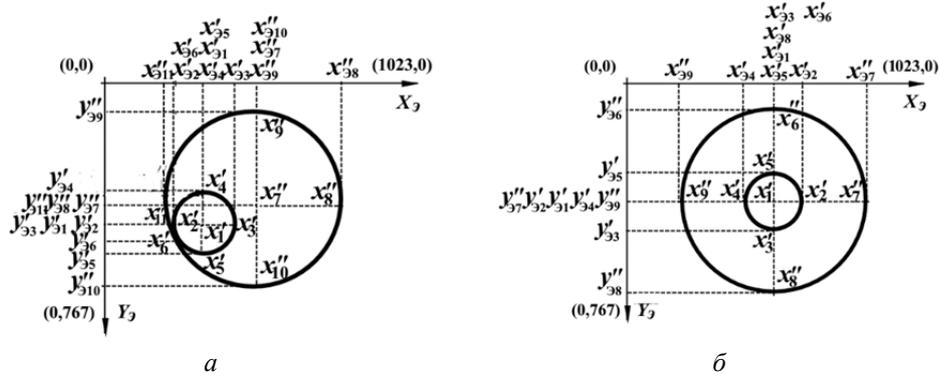


Рис. 11. Изображение изографов  $H, H', H''$  на метрической плоскости в экраных координатах ролевого визуального отношения «задача в составе проблемы» (а); «задача иметь цель решения цель», «задача иметь метод решения метод», «задача иметь начальное состояние состояние (режим)» (б)

Сформулируем правило вычисления ролевого визуального отношения «задача в составе проблемы»:

$$\forall H', H''(x'_i \in \overset{\circ}{X}' | i \in \overline{1;6}, x''_j \in \overset{\circ}{X}'' | i \in \overline{7;11}, x'_6 \in {}^K X'^{\circ}, {}^K X''^{\circ}, x'_1, x'_2, \dots, x'_5, \in {}^B X''^{\circ}, x'_{26} > x'_{22}, y'_{26} > y'_{22}) \rightarrow \overset{\circ}{w}^1 \in V^1 | V^1 \in H$$

и правило вычисления ролевых отношений «задача иметь цель решения цель», «задача иметь метод решения метод», «задача иметь начальное состояние состояние (режим)»:

$$\forall H', H''(x'_i \in \overset{\circ}{X}' | i \in \overline{1;5}, x''_j \in \overset{\circ}{X}'' | i \in \overline{6;9}, x'_1, x'_2, \dots, x'_5, \in {}^B X''^{\circ}, (x'_{22} - x'_{21}) = (x'_{21} - x'_{24}) = (y'_{23} - y'_{21}) = (y'_{21} - y'_{25}), (x'_{27} - x'_{21}) = (x'_{21} - x'_{29}) = (y'_{28} - y'_{21}) = (y'_{21} - y'_{25}), x''_6 = x''_8 = x'_{25} = x'_{21} = x'_{23}, (y'_{29} = y'_{24} = y'_{21} = y'_{22} = y'_{27})) \rightarrow \overset{\circ}{w}^1 \in V^1 | V^1 \in H.$$

На рисунке 12, а пояснено, как вычисляется визуальное отношение «задача иметь свойство вход». Сформулируем правило вычисления ролевого визуального отношения «задача иметь свойство вход»:

$$\forall H', H''(x'_i \in {}^A X' | i \in \overline{1;3}, x''_j \in \overset{\circ}{X}'' | i \in \overline{4;8}, x''_4 \in {}^K X^{\circ}, x'_4 \in {}^K X^A, x'_3 \in {}^K X^{\circ}, x'_3 \in {}^K X^A, x'_{23} = x'_{24}, (y'_{21} - y'_{23}) = (y'_{23} - y'_{22}), (x'_{21} = x'_{22}), (x'_{23} > x'_{21})(y'_{23} = y'_{24} = y'_{25} = y'_{27}) \rightarrow \overset{\circ}{w}^1 \in V^1 | V^1 \in H.$$

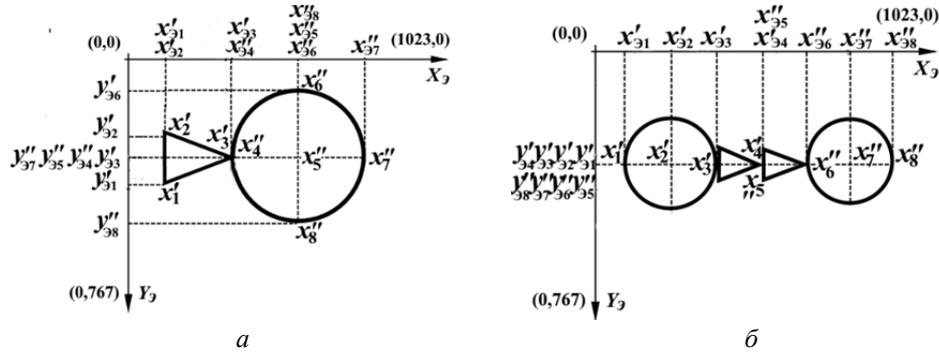


Рис. 12. Изображение изографов  $H, H', H''$  на метрической плоскости в экраннх координатах ролевых визуальных отношений:  
 а — «задача иметь свойство вход»; б — «выход задачи-1 поступает на вход задачи-2»  
 как фрагмента изографа декомпозиции проблемы

На рисунке 12, б дан изограф ролевого визуального отношения «выход задачи-1 поступает на вход задачи-2» как результат операции примыкания одной производной формы  $\circ w_1^1 \in V^1$  к другой производной форме  $\circ w_2^1 \in V^1$ . В результате получаем производную форму  $\circ w^2 \in V^2$ , обозначаемую схемой  ${}^{83}sh^2 \in {}^{83}SH^1 \in {}^{III}L_7^{ок}$  семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности.

Алгебраически это означает, что построен изограф

$$H = H' \Pi^{\wedge-\Delta} H'',$$

$$H' = (X'; P'_1, P'_2, P'_3) | X' \supset V_1^1 = \{\circ w_1^1\},$$

$$H'' = (X''; P''_1, P''_2, P''_3) | X'' \supset V_1^{''1} = \{\circ w_2^{''1}\},$$

где  $\Pi^{\wedge-\Delta}$  — операция примыкания треугольников друг к другу, в множество  $V_1^2$  изографа  $H$  добавлен элемент  $\circ w^2 \in V_1^2$ , обозначаемый схемой  ${}^{81}sh^2 \in {}^{81}SH^2 \in {}^{III}L_5^h$  семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности.

Сформулируем правило вычисления ролевого визуального отношения «выход задачи-1 поступает на вход задачи-2»:

$$\forall H', H'' (x'_1, x'_3, x'_4 \in {}^K X', x''_5, x''_6, x''_8 \in {}^K X'', x'_2 \in {}^B X', x''_7 \in {}^B X'', x'_{24} = x''_{25}, y'_{24} = y''_{25}, y'_{21} = y'_{22} = y'_{23} = y'_{24} = y''_{25} = y''_{26} = y''_{27} = y''_{28}) \rightarrow \circ w^2 \in V_1^2 | V_1^1 \in H.$$

### 9. Предметно-изобразительные представления в Модели Мира субъекта деятельности

Предметно-изобразительный код (ПИ-код) — это исходный протосемантический конструкт, непосредственно переводящий довербальную информацию в смысловое содержание слова посредством так называемого предметного остова, по Г. Г. Шпету. Если ПИ-код — посредник между познаваемым объектом и языковым знаком, то предметный остов — амодальный образ уже осуществившегося или будущего предметного действия. По мнению А. А. Потемни, внутренняя форма слова — отношение содержания мысли к сознанию; она показывает, как представляется субъекту его собственная мысль.

Исследованию визуально-образных представлений отношений посвящены работы по философии, аналитической антропологии В. А. Подороги, композиции в живописи О. Н. Голубевой, В. В. Волкова, Е. А. Григоряна, В. В. Кандинского, Б. В. Раушенбаха, по философии искусства, фотографии и образного восприятия Е. В. Петровской, по слайдологии Н. Дуарте, Г. Рейнольдса, С. Уэншенк, по визуальному мышлению Р. Арнхейма, Б. Эдвардс, В. И. Жуковского, Д. В. Пивоварова, М. Вертгеймера, по схематизации О. С. Анисимова, П. Мрдуляша, А. А. Тюкова, по языку диаграмм Д. Желязны, по визуальной фасилитации Д. Роэма, Д. Сиббета, по скрайбингу П. Петровского, Н. Любецкого, М. Кутузовой, по визуализации в бизнесе Н. Яу, по архитектурной композиции Г. И. Покровского, Ю. Н. Кишик, А. В. Иконникова, Г. П. Степанова, по художественно-техническому проектированию промышленных изделий (дизайну) В. Ю. Медведева, Д. Нормана, Ю. С. Сомова, П. Рэнда, Л. Т. Жуковой, А. Н. Писаревой, Е. Г. Бердичевского, О. В. Чернышова, Е. Н. Лазаревой, К. Леборга, по проектированию интеллектуальных интерфейсов по технической эстетике Л. И. Новиковой, по композиции в фотографии М. Фримана, Н. К. Жолудева, Л. П. Дыко, по художественному конструированию В. В. Зефельда, У. Боумена, по мнемотехнике В. А. Козаренко, М. Зиганова, Л. С. Штейнбока, Б. А. Душкова, В. П. Зинченко, по инфографике Э. Тафти, Д. Маккэндлесса, М. Смикикласа, Р. Крама и В. В. Лаптева.

Математический подход дает ключ к пониманию графического образа как некоторого характерного рисунка, схемы, конфигурации и структуры, запечатлевших реально существующие природные, социально-экономические и ментальные объекты в Модели Мира субъекта деятельности.

Схемы как плоские геометрические фигуры — сложные объекты в концепции длин, углов, непрерывности, отношений «лежит между», «близко» и инцидентности с двумя базисными неопределяемыми элементами — точками и прямыми [86]. Одна из структур инцидентности — изографы (раздел 9). Разработаны приложения схематизации отношений определения на ресурсах, свойствах и действиях операциями примыкания и свертки-развертки (рис. 13), а также ПИ-кодирования семантической категории локативности ресурсов (рис. 14), событий и Р-ситуаций как одной из трех составляющих описания состояния объекта оперативного управления, операциями взаиморасположения и соединения [79; 82; 87] (рис. 15, 16).

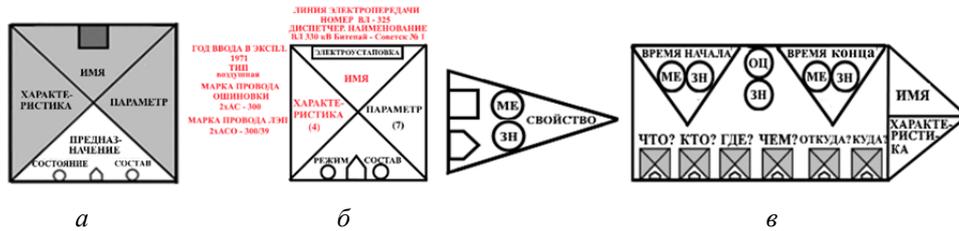


Рис. 13. Изографы: многоролевое визуальное отношение определения ресурса: *а* — «ресурс *быть* ресурс  $\Delta$  ресурс *иметь* (свойство) имя именное свойство  $\Delta$  ресурс *иметь* (свойство) параметр параметр  $\Delta$  ресурс *иметь* (свойство) характеристику характеристика  $\Delta$  ресурс *быть* предназначенным для действие  $\Delta$  ресурс *иметь* (режим) состояние состояние  $\Delta$  ресурс *иметь* в составе ресурс»; *б* — многоролевое визуальное отношение определения свойства: «свойство *быть* свойством ресурс  $\Delta$  свойство *быть* свойством действие  $\Delta$  свойство *иметь* меру  $\Delta$  свойство *иметь* значение значение  $\Delta$  значение *иметь* меру мера»; *в* — многоролевое визуальное отношение определения действия, где ОЦ — оценка, МЕ — мера, ЗН — значение

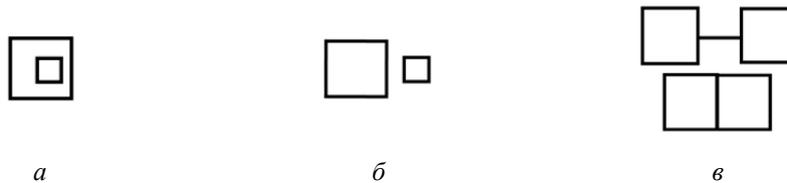


Рис. 14. Изображение изографом на метрической плоскости в экранних координатах компьютерного монитора ролевых визуальных отношений: *а* — «ресурс-2 находится в ресурс-1»; *б* — «ресурс-2 находится справа от ресурс-1»; *в* — «ресурс-1 соединяется с ресурс-3  $\Delta$  ресурс-3 соединяется с ресурс-2»

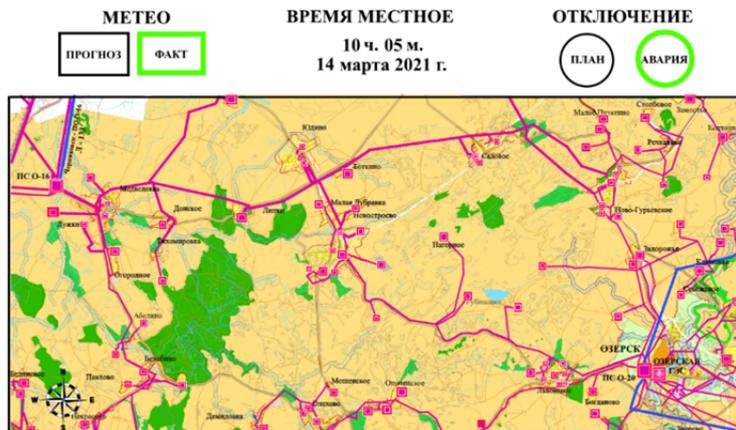


Рис. 15. Изограф Р-ситуации (фрагмент когнитивного образа) на подложке фрагмента генерального плана района электрических сетей [88], реализованный в графическом редакторе Paint. net v.4.2.15



Рис. 16. Изограф Р-ситуации (фрагмента оперативного образа) в районе электрических сетей, реализованный в графическом редакторе Paint.net v.4.2.15

Предметно-изобразительные представления в Модели Мира субъекта деятельности используются как ПИ-звено в когнитивно-ориентированной двухзвенной модели процесса поддержки принятия решений, реализованное в языке ПИ-описания  ${}^{III}L$ :

$${}^{III}L = {}^{III}L_1^{pcdn} \cup {}^{III}L_2^{sob} \cup {}^{III}L_3^{лок} \cup {}^{III}L_4^S \cup {}^{III}L_5^h \cup {}^{III}L_6^{coc} \cup \\ \cup {}^{III}L_7^{дек} \cup {}^{III}L_8^u \cup {}^{III}L_9^f \cup {}^{III}L_{10}^m \cup {}^{III}L_{11}^{ам} \cup {}^{III}L_{12}^{кэфг} \cup \\ \cup {}^{III}L_{13}^{мэфг} \cup {}^{III}L_{14}^{змн} \cup {}^{III}L_{15}^{им} \cup {}^{III}L_{16}^{имо} \cup {}^{III}L_{17}^{аф} \cup {}^{III}L_{18}^{кфг}, {}^{III}L_{19}^{мфг}, {}^{III}L_{20}^{цель},$$

где  ${}^{III}L_1^{pcdn}, {}^{III}L_2^{sob}, \dots, {}^{III}L_{20}^{цель}$  — ПИ-языки описания сложных ресурсов, свойств и действий (*pcdn*), событий (*sob*), локативности (*лок*), состояний (*S*), однородных задач (*h*), состава (*coc*), декомпозиций неоднородных задач-проблем (*дек*), неоднородных задач (*u*), фаз (*f*), методов моделирования (*m*), автономных моделей (*ам*), элементов КГиИС (крупно — *кэфг* и мелкозернистых — *мэфг*), гетерогенного модельного поля (*змн*), интегрированных методов (*им*), интегрированных моделей (*имо*), архитектур КГиИС (*аф*) и КГиИС (крупно — *кфг* и мелкозернистых — *мфг*) и целей (*цель*).

ПИ-язык  ${}^{III}L_1^{pcdn}(\hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_1) = {}^{III}\{sh^n | i=1,2,3\}$  — множество производных схем:

$$\{^1sh_1^n, \dots, ^1sh_{Nh1}^n, ^2sh_1^n, \dots, ^2sh_{Nh2}^n, ^3sh_1^n, \dots, ^3sh_{Nh3}^n\} = SH^n,$$

получаемых на множестве  $\hat{H}$  однореберных изографов форм  $\square, \triangle, \diamond, \circ, \square, \dots$ , ТЕКСТ по композиционным правилам  ${}^{III}\mathcal{P}_1$  и обозначающих сложные ресурсы, свойства, действия и операции (*i* — категориальный признак схемы (таблица в разделе 4, с. 61).

Специфицируем знаки  ${}^{III}L_2^{cob}, {}^{III}L_3^{лок}, \dots, {}^{III}L_{20}^{цель}$  :

$${}^{III}L_2^{cob}(\hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_2) = {}^{III}\{{}^{11}sh^n\}, \text{ где } \{{}^{11}sh_1^n, \dots, {}^{11}sh_{Nh11}^n\} = {}^{11}SH^n,$$

$${}^{III}L_3^{лок}(\hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_3) = {}^{III}\{sh^n | i = 101, \dots, 105\},$$

где

$$\left\{ \begin{array}{l} {}^{101}sh_1^n, \dots, {}^{101}sh_{Nh101}^n, {}^{102}sh_1^n, \dots, {}^{102}sh_{Nh102}^n, {}^{103}sh_1^n, \dots, \\ {}^{103}sh_{Nh103}^n, {}^{104}sh_1^n, \dots, {}^{104}sh_{Nh104}^n, {}^{105}x_1^n, \dots, {}^{105}sh_{Nh105}^n \end{array} \right\} = {}^{10}SH^n,$$

$${}^{III}L_4^S({}^{III}L_2^{cob}, {}^{III}L_3^{лок}, {}^{III}\mathcal{P}_4) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh6}^n\} = {}^6SH^n,$$

$${}^{III}L_5^h({}^{III}L_4^S, {}^{III}L_{10}^m, {}^{III}L_{20}^{цель}, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_5) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh81}^n\} = {}^{81}SH^n,$$

$${}^{III}L_6^{coc}({}^{III}L_5^h, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_6) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh82}^n\} = {}^{82}SH^n,$$

$${}^{III}L_7^{\partialек}({}^{III}L_6^{coc}, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_7) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh83}^n\} = {}^{83}SH^n,$$

$${}^{III}L_8^u({}^{III}L_6^{coc}, {}^{III}L_7^{\partialек}, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_8) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh84}^n\} = {}^{84}SH^n,$$

$${}^{III}L_9^f({}^{III}L_5^h, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_9) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh85}^n\} = {}^{85}SH^n,$$

$${}^{III}L_9^{fc}({}^{III}L_5^f, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_9) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh86}^n\} = {}^{86}SH^n,$$

$${}^{III}L_{10}^m(\hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_{10}) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh91}^n\} = {}^{91}SH^n,$$

$${}^{III}L_{11}^{am}({}^{III}L_{10}^m, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_{11}) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh92}^n\} = {}^{92}SH^n,$$

$${}^{III}L_{12}^{кэфг}({}^{III}L_{10}^m, {}^{III}L_{11}^{am}, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_{12}) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh123}^n\} = {}^{223}SH^n,$$

$${}^{III}L_{13}^{мэфг}({}^{III}L_{10}^m, {}^{III}L_{11}^{am}, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_{13}) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh224}^n\} = {}^{224}SH^n,$$

$${}^{III}L_{14}^{гmn}({}^{III}L_{12}^{кэфг}, {}^{III}L_{13}^{мэфг}, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_{14}) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh225}^n\} = {}^{225}SH^n,$$

$${}^{III}L_{15}^{im}({}^{III}L_{10}^m, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_{15}) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh221}^n\} = {}^{221}SH^n,$$

$${}^{III}L_{16}^{umo}({}^{III}L_{12}^{кэфг}, {}^{III}L_{13}^{мэфг}, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_{16}) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh222}^n\} = {}^{222}SH^n,$$

$${}^{III}L_{17}^{af}({}^{III}L_{14}^{гmn}, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_{17}) = {}^{III}\{sh^n\}, \text{ где } \{sh_1^n, \dots, sh_{Nh232}^n\} = {}^{232}SH^n,$$

$$\begin{aligned}
 & \text{III } L_{18}^{\text{кфэ}} (\text{III } L_{14}^{\text{эмн}}, \text{III } L_{17}^{\text{аф}}, \hat{H}, \text{III } \mathcal{P}_{18}) = \text{III } \{^{231}sh^n\}, \text{ где } \{^{231}sh_1^n, \dots, ^{231}sh_{N_{h231}}^n\} = ^{231}SH^n, \\
 & \text{III } L_{19}^{\text{мфэ}} (\text{III } L_{14}^{\text{эмн}}, \text{III } L_{17}^{\text{аф}}, \hat{H}, \text{III } \mathcal{P}_{19}) = \text{III } \{^{233}sh^n\}, \text{ где } \{^{233}sh_1^n, \dots, ^{233}sh_{N_{h233}}^n\} = ^{233}SH^n, \\
 & \text{III } L_{20}^{\text{цель}} (\text{III } L_1^{\text{рсдн}}, \text{III } L_2^{\text{соб}}, \text{III } L_3^{\text{лок}}, \text{III } L_4^S, ^{131}sh^n, ^{132}sh^n, ^{133}sh^n, ^{134}sh^n, ^{12}sh^n, \hat{H}, \text{III } \mathcal{P}_{20}) \\
 & \quad = \text{III } \{^{13}sh^n\}, \text{ где } \{^{13}sh_1^n, \dots, ^{13}sh_{N_{h13}}^n\} = ^{13}SH^n.
 \end{aligned}$$

На рисунке 17 и 18 приведены примеры схем  $sh$  в языках  $\text{III } L_2^{\text{соб}}, \text{III } L_3^{\text{лок}}, \text{III } L_4^S, \text{III } L_{20}^{\text{цель}}$ . Онтологическую семантику концепта *состояние* в метафоре «двойная звезда» отображает фигура «вложенные окружности». Внутренняя из них выражает семантику состояния ролевым отношением *состояние — ресурс — свойство* для *динамичных ресурсов*, а внешняя — для *статичных*.

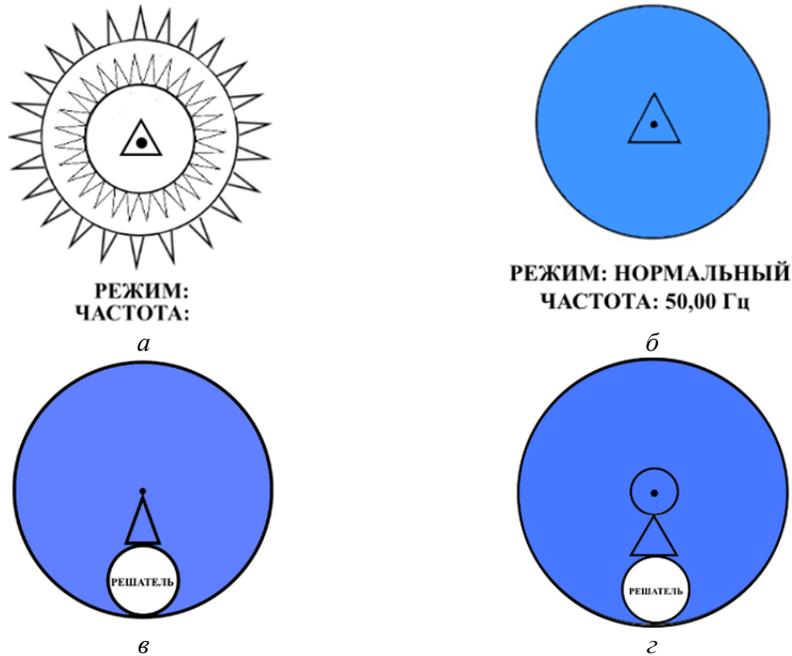


Рис. 17. Изографы:

- a* — концепта *состояние* объекта оперативного управления в метафоре «двойная звезда»;
- б* — оперативного образа состояния и режима района электросетей по ролевым отношениям *состояние — ресурс* и *ресурс — свойство* (окружности слились в одну и голубой цвет заливки) в максимально сжатом, интегративном виде;
- в* — планируемого решателем к достижению количественного целевого показателя состояния и нормального режима (цели);
- г* — планируемого решателем к достижению количественного целевого показателя состояния, нормального режима и одного или нескольких качественных целевых показателей (цели)

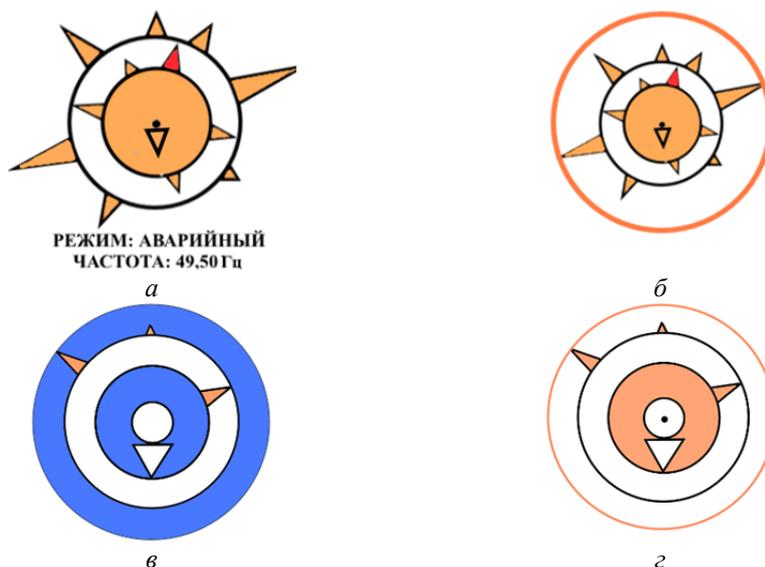


Рис. 18. Изографы:

*a* — оперативного образа состояния и аварийного режима района электросетей по ролевым отношениям *состояние — ресурс* и *ресурс — свойство* (изменились длина «лучей» и цвет заливки, содержание текста); *б* — то же, что и *a* — двойная звезда в окружности оранжевого цвета, показывающей отнесение к ментальным абстрактным сущностям; *в* — оперативного образа состояния и нормального режима по ролевым отношениям *состояние — ресурс* и *ресурс — свойство* (голубой цвет заливки), в проблемной ситуации по качественным показателям; *г* — оперативного образа состояния и аварийного режима по ролевым отношениям *состояние — ресурс* и *ресурс — свойство*, в проблемной ситуации по параметру и качественным показателям

Черной точкой с неизменной локацией отображается целевой показатель качества электроэнергии — частота переменного электрического тока. Относительно точки динамично может перемещаться «вверх-вниз» фигура  $\Delta$ , обозначающая свойство *текущая частота тока* динамичного ресурса — электроэнергии.

#### 10. Семиотическая модель концептов и концептосферы Модели Мира субъекта деятельности

Зарождаясь в ПИ-коде, мысль субъекта деятельности, направленная на решение неоднородной задачи-проблемы, отображается в ПВ-код переосмыслением лексических значений. Путь от глубинной структуры ПИ-кода к поверхностной ПВ-кода — это путь превращения мысли «для себя» в мысль «для других», это путь расчленения, углубления, уточнения и формирования мысли. Это путь от конкретного образа предметной ситуации к теоретическому постижению мира, путь от конкретного к абстрактному.

Над теоретико-множественными представлениями  ${}^{PB}L$  и  ${}^{III}L$  установим семейство соответствий:

$${}^{PB-III}\Psi : {}^{PB}L \rightarrow {}^{III}L,$$

где

$$\begin{aligned} {}^{PB-III}\Psi &= \{ {}^{PB-III}\Psi_1, \dots, {}^{PB-III}\Psi_{20} \}, \quad {}^{PB-III}\Psi_1 : {}^{PB}L_3^{pcdn} \rightarrow {}^{III}L_1^{pcdn}, \\ {}^{PB-III}\Psi_2 : {}^{PB}L_4^\Pi &\rightarrow {}^{III}L_2^{cob}, \quad {}^{PB-III}\Psi_3 : {}^{PB}L_4^\Pi \rightarrow {}^{III}L_3^{лок}, \quad {}^{PB-III}\Psi_4 : {}^{PB}L_5^S \rightarrow {}^{III}L_4^S, \\ {}^{PB-III}\Psi_6 : {}^{PB}L_6^h &\rightarrow {}^{III}L_6^{coc}, \quad {}^{PB-III}\Psi_7 : {}^{PB}L_7^\Pi \rightarrow {}^{III}L_7^{\deltaек}, \quad {}^{PB-III}\Psi_8 : {}^{PB}L_8^f \rightarrow {}^{III}L_9^f, \\ {}^{PB-III}\Psi_9 : {}^{PB}L_7^u &\rightarrow {}^{III}L_8^u, \quad {}^{PB-III}\Psi_{10} : {}^{PB}L_9^m \rightarrow {}^{III}L_{10}^m, \quad {}^{PB-III}\Psi_{11} : {}^{PB}L_9^m \rightarrow {}^{III}L_{11}^{ам}, \\ {}^{PB-III}\Psi_{12} : {}^{PB}L_{10}^{\alpha h} &\rightarrow {}^{III}L_{12}^{\kappaэфз}, \quad {}^{PB-III}\Psi_{13} : {}^{PB}L_{10}^{\alpha h} \rightarrow {}^{III}L_{13}^{мэфз}, \quad {}^{PB-III}\Psi_{14} : {}^{PB}L_{10}^{\alpha h} \rightarrow {}^{III}L_{14}^{\zetamn}, \\ {}^{PB-III}\Psi_{15} : {}^{PB}L_9^m &\rightarrow {}^{III}L_{15}^{im}, \quad {}^{PB-III}\Psi_{16} : {}^{PB}L_{10}^{\alpha h} \rightarrow {}^{III}L_{16}^{umo}, \quad {}^{PB-III}\Psi_{17} : {}^{PB}L_{10}^{\alpha h} \rightarrow {}^{III}L_{17}^{af}, \\ {}^{PB-III}\Psi_{18} : {}^{PB}L_{11}^{\alpha u} &\rightarrow {}^{III}L_{18}^{\kappaфз}, \quad {}^{PB-III}\Psi_{19} : {}^{PB}L_{11}^{\alpha u} \rightarrow {}^{III}L_{19}^{мфз}, \\ {}^{PB-III}\Psi_{20} : {}^{PB}L_{13}^{цель} &\rightarrow {}^{III}L_{20}^{цель}, \quad {}^{PB-III}\Psi_{21} : {}^{PB}L_8^{fc} \rightarrow {}^{III}L_9^{fc} \end{aligned}$$

и перечислим знаки-элементы соответствий  $(x, sh) \in {}^{PB-III}\Psi$ :

$$\begin{aligned} ({}^i x_k^n, {}^i sh^n) &\Big| {}^i x_k^n \in {}^{PB}L_3^{pcdn}, {}^i sh^n \in {}^{III}L_1^{pcdn}, i=1,2,3, \\ ({}^i \pi_k, {}^{11} sh^n) &\Big| {}^i \pi_k \in {}^{PB}L_4^\Pi, {}^{11} sh^n \in {}^{III}L_2^{cob}, \\ ({}^i \pi_k, {}^j sh^n) &\Big| {}^i \pi_k \in {}^{PB}L_4^\Pi, {}^j sh^n \in {}^{III}L_3^{лок}, j=101, \dots, 105, \\ (s_k, {}^6 sh^n) &\Big| s_k \in {}^{PB}L_5^S, {}^6 sh^n \in {}^{III}L_4^S, \\ ({}^8 x_k^n \Big|_h, {}^{81} sh^n) &\Big| {}^8 x_k^n \in {}^{PB}L_6^h, {}^{81} sh^n \in {}^{III}L_5^h, ({}^8 x^n \Big|_h, {}^{82} sh^n) \Big| {}^8 x^n \Big|_h \in {}^{PB}L_6^h, {}^{82} sh^n \in {}^{III}L_6^{coc}, \\ ({}^8 x^n \Big|_\Pi, {}^{83} sh^n) &\Big| {}^8 x^n \Big|_\Pi \in {}^{PB}L_7^\Pi, {}^{83} sh^n \in {}^{III}L_7^{\deltaек}, \\ ({}^{85} x^n \Big|_f, {}^{85} sh^n) &\Big| {}^{85} x^n \Big|_f \in {}^{PB}L_8^f, {}^{85} sh^n \in {}^{III}L_9^f, \\ ({}^8 x_k^n \Big|_u, {}^{84} sh^n) &\Big| {}^8 x_k^n \Big|_u \in {}^{PB}L_7^u, {}^{84} sh^n \in {}^{III}L_8^u, \\ ({}^9 x_k^n \Big|_m, {}^{91} sh^n) &\Big| {}^9 x_k^n \Big|_m \in {}^{PB}L_9^m, {}^{91} sh^n \in {}^{III}L_{10}^m, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & ({}^9x_k^n |^m, {}^{92}sh^n) | {}^9x_k^n |^m \in {}^{PB}L_9^m, {}^{92}sh^n \in {}^{III}L_{11}^{am}, \\
 & ({}^1\bar{x}^n |^{\alpha h}, {}^{223}sh^n) | {}^1\bar{x}^n |^{\alpha h} \in {}^{PB}L_{10}^{\alpha h}, {}^{223}sh^n \in {}^{III}L_{12}^{k\alpha\phi^2}, \\
 & ({}^1\tilde{x}^n |^{\alpha h}, {}^{224}sh^n) | {}^1\tilde{x}^n |^{\alpha h} \in {}^{PB}L_{10}^{\alpha h}, {}^{224}sh^n \in {}^{III}L_{13}^{m\alpha\phi^2}, \\
 & ({}^1x^n |^{\alpha h}, {}^{225}sh^n) | {}^1x^n |^{\alpha h} \in {}^{PB}L_{10}^{\alpha h}, {}^{225}sh^n \in {}^{III}L_{14}^{mn}, \\
 & ({}^9x^n |^m, {}^{221}sh^n) | {}^9x^n |^m \in {}^{PB}L_9^m, {}^{221}sh^n \in {}^{III}L_{15}^{im}, \\
 & ({}^1x^n |^{\alpha h}, {}^{222}sh^n) | {}^1x^n |^{\alpha h} \in {}^{PB}L_{10}^{\alpha h}, {}^{222}sh^n \in {}^{III}L_{16}^{umo}, \\
 & ({}^1x^n |^{\alpha h}, {}^{232}sh^n) | {}^1x^n |^{\alpha h} \in {}^{PB}L_{10}^{\alpha h}, {}^{232}sh^n \in {}^{III}L_{17}^{\alpha\phi}, \\
 & ({}^1\bar{x}^n(t) |^{au}, {}^{231}sh^n) | {}^1\bar{x}^n |^{au} \in {}^{PB}L_{11}^{au}, {}^{231}sh^n \in {}^{III}L_{18}^{au}, \\
 & ({}^1\tilde{x}^n(t) |^{au}, {}^{233}sh^n) | {}^1\tilde{x}^n |^{au} \in {}^{PB}L_{11}^{au}, {}^{233}sh^n \in {}^{III}L_{19}^{m\phi^2}, \\
 & ({}^{13}x^n |^{цель}, {}^{13}sh^n) | {}^{13}x^n |^{цель} \in {}^{PB}L_{13}^{цель}, {}^{13}sh^n \in {}^{III}L_{20}^{цель}, \\
 & ({}^{86}x^n |^{fc}, {}^{86}sh^n) | {}^{86}x^n |^{fc} \in {}^{PB}L_8^{fc}, {}^{86}sh^n \in {}^{III}L_9^{fc},
 \end{aligned}$$

отображающие концепты по З.В. Поповой и И.А. Стернину. Совокупность знаков-концептов  $(x, sh) \in {}^{PB-III}\Psi$  отображает в компьютерной семиотической модели профессиональных знаний субъекта оперативного управления, а также профессиональных знаний разработчика КГиИС по ПС-методологии гибридизации и формирует семиотическую модель концептосферы Модели Мира субъекта деятельности (рис. 19):

$$M = \langle {}^{PB}L, {}^{III}L, {}^{PB-III}\Psi, {}^{KO-OO}P \rangle.$$

Понятиям «когнитивный образ» и «оперативный образ» Д.А. Ошанина [31] для соответствий  ${}^{PB-III}\Psi_1, \dots, {}^{PB-III}\Psi_6 \subseteq {}^{PB-III}\Psi$  сопоставлены знаки-концепты «когнитивный образ объекта управления»

$${}^{KO}(x, sh) \in {}^{PB-III}\Psi_i | i \in \overline{1, \dots, 6}$$

и «оперативный образ объекта управления»

$${}^{OO}(x, sh) \in {}^{PB-III}\Psi_i | i \in \overline{1, \dots, 6}.$$

Сопоставляемый  $^{KO}(x, sh) \in \overline{^{PB-III} \Psi_i} | i \in \overline{1, \dots, 6}$  оперативный образ  $^{OO}(x, sh) \in \overline{^{PB-III} \Psi_i} | i \in \overline{1, \dots, 6}$  вычисляется по правилам трансформации, демпфирования  $^{KO-OO} P = \{^{KO-OO} P_1, \dots, ^{KO-OO} P_6\}$  для каждого из  $\overline{^{PB-III} \Psi_i} | i \in \overline{1, \dots, 6}$ .

Иными словами, каждый знак-концепт из семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности имеет три составляющие: понятийную, образную и ценностную (прагматическую), причем центральное место ядра отдано образному, схематизированному представлению, а периферийное — понятийному, словесному окружению. Проще, гипотетически предлагается сменить парадигму раскрытия онтологической семантики объективной и субъективной реальности исключительно языковыми, предикативными, линейно-последовательными средствами на парадигму комбинирования, интегрирования их с предметно-изобразительными инструментами, а также перейти к эксплуатации в интеллектуальной электроэнергетике формулы «содержание знака = изображение + текст».

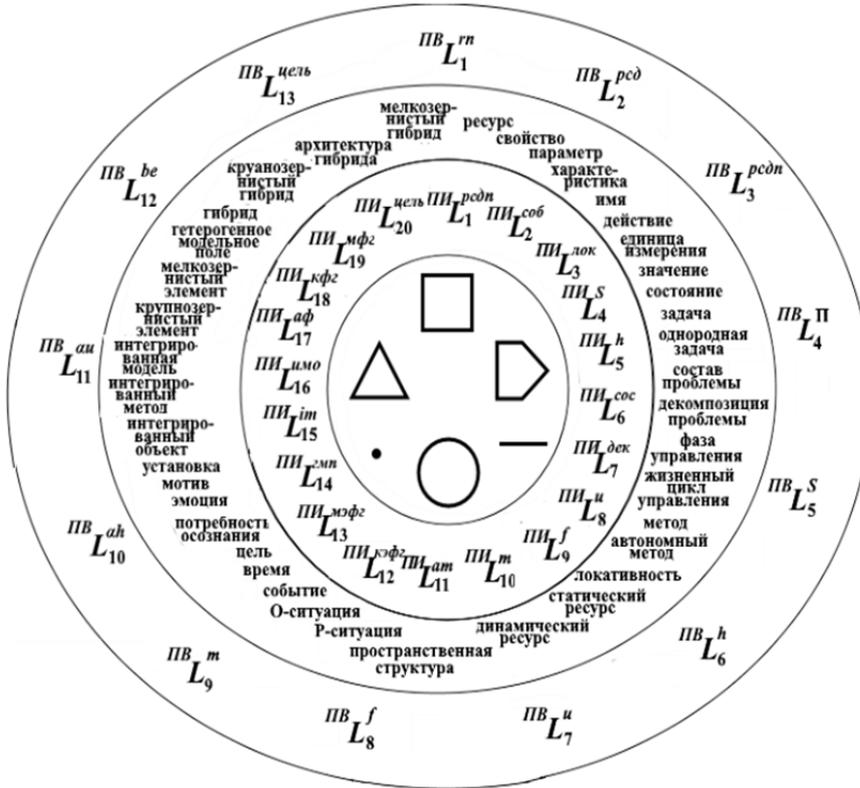


Рис. 19. Семиотическая модель концептосферы Модели Мира субъекта деятельности

Ценностная составляющая специфицируется правилами трансформации, демпфирования содержания знака «когнитивный образ объекта управления» в содержание знака «оперативный образ объекта управления» ( $^{KO-OO}P$ ).

#### 11. Моделирование смешанных чувственно-вербальных психических конструкций — задача и проблема в Модели Мира субъекта деятельности

«Казалось бы, психологический анализ и классификация задач не нужны: все мы из прошлого опыта знаем, что это такое, и отличаем их от любых других объектов. Однако такой взгляд — явная иллюзия» [89]. Прошло чуть более 20 лет с момента опубликования первых результатов исследований эволюции задач интеллектуального управления [5] как объектов-оригиналов ПС-методологии гибридации: дан аналитический обзор типичных определений термина *задача* за период 1962—1999 гг. в математике, лингвистике, филологии, исследовании операций, теории систем, системном анализе и теории управления, теории принятия решений, информатике и автоматизации программирования, искусственном интеллекте, построена междисциплинарная онтология, релевантная тогдашнему уровню понимания задач, исследована функциональная и инструментальная неоднородности сущностей *задача* и *сложная задача*, введены и исследованы информационные модели: *однородная задача*, *неоднородная задача*, *задача с координацией*, вскрыты источники неоднородности задач управления и обработки информации. Однако психолого-педагогическим традициям понимания концепта *задача* уделено мало внимания. Ниже этот пробел восполнен с учетом результатов Л. М. Фридмана по основам проблемологии [90], В. В. Власова по рациологии как общей теории решения задач [91] и В. Ф. Спиридонова по психологии решения задач и проблем [89].

Как отмечает В. В. Петухов [92], понимание мышления как процесса решения задач впервые предложено в вюрцбургской школе «психологии мышления». В общепсихологической теории деятельности А. Н. Леонтьева задача — это цель, заданная в определенных условиях и средствах ее достижения.

Задача, по А. Ф. Эсаулову [93], — более или менее определенные системы информационных процессов, несогласованное или даже противоречивое соотношение между которыми вызывает потребность в их преобразовании, осознании проблемной ситуации субъектом деятельности. Причем исходные и привлекаемые для решения задачи информационные системы непримиримо сталкиваются друг с другом, а решение — поиск преодоления этого несогласования и противоречия.

Задача, по Г. А. Баллу [84], — система с обязательными компонентами: а) предметом задачи, находящимся в исходном состоянии; б) моделью требуемого состояния предмета задачи (требование задачи).

Задача, по Л. М. Фридману [90], — модель проблемной ситуации, выраженная знаками естественного или искусственного языка.

Задача, по В. Ф. Спиридонову [89], — психологическая конструкция, служащая условием запуска мыслительного процесса, форма взаимодействия с неопределенностью. Мыслительный процесс можно запустить, поставив задачу перед субъектом.

Задача, по В. Н. Пушкину [96], — результат определенного типа мыслительной деятельности субъекта. Постановка, формулировка задачи зависит от того, как проанализирована проблемная ситуация.

По мнению С. П. Капицы, в задаче есть две стороны: ее постановка и решение. Первый и главный шаг — постановка задачи. А. Н. Колмогоров в воспоминаниях В. И. Арнольда говорил, что ставить задачи — огромное достоинство, которое ценится значительно выше, чем умение их решать [95].

Дополним аналитический обзор [5] несколькими предикативно-вербальными теоретико-множественными представлениями концепта *задача*.

Л. М. Фридман предложил логическую (высказывательную) модель задачи [90], которой соответствует метаязык задач, состоящий из языка высказываний и специального символа задачи (вопроса, требования задачи):  $[?] \rightarrow$ . Слева от символа задачи предлагается записывать условия задачи, а справа от стрелки — вопрос (требование) задачи. Обозначив эту сложную высказывательную функцию символом  $Z(x)$ , Л. М. Фридман записывает лишь искомое переменное (неизвестное), а остальные переменные опускает, так как все они — вспомогательные неизвестные.

Модель задачи на нахождение искомого имеет следующий вид:

$$Z(x)[?] \rightarrow (x = x_0) \rightarrow Z(x_0).$$

Запись читается следующим образом: «Дана высказывательная функция от переменной  $x$ . Найти такое значение  $x = x_0$ , при котором заданная функция обращается в истинное высказывание  $Z(x_0)$ ». При помощи модели можно определить, к какому виду задач принадлежит конкретная задача, и провести ее глубокий анализ, а применение в педагогической практике ограничено.

Российский математик-педагог Ю. М. Колягин [97] рассматривает сложную систему  $S - P$  (субъект оперативного управления — задача система), в которой  $P$  определяется как множество элементов с присущими ими свойствами и связывающими элементы или их свойства. Если субъекту не известен хотя бы один элемент, одно свойство или отношение, определенные в  $P$ , то такую систему автор предлагает называть проблемной для субъекта и обозначает символом  $P_x$ .

Решить задачу — значит преобразовать данную проблемную ситуацию в соответствующую ей стационарную ситуацию или установить невозможность такого преобразования. Проблемная ситуации (задача) отражает определенное состояние системы  $P_x$  в системе  $(S, P)$  и включает следующие основные компоненты:

$$(A, C, R, B),$$

где  $A$  — начальное состояние как характеристика проблемности системы  $P$  — ресурсов и связей между ними;  $C$  — базис решения задачи: множество факторов, определяющих решение  $R_i$ , то есть теоретическая или практическая основа для преобразования  $P_x$  в  $P$  посредством данного решения (обоснование решения);  $B$  — конечное состояние как характеристика стационарности системы  $P$ : неизвестные элементы и связи между ними (заключение или цель задачи);  $R$  — решение задачи, преобразования системы  $P_x$  в систему  $P$ , то есть один из возможных способов перехода от начальной ситуации к конечной (см. рис. 22, в на с. 106).

Основатель отечественной радиологии (теории решения задач) В. В. Власов предложил математическую, формально-информационную модель задачи как  $IN$ -комплекса, состоящего из преобразуемых объектов и преобразующих действий:

$$(\{B_n, B_k, D, C, Y\} R_i \{E, I, N\}),$$

где  $B_n, B_k$  — исходное и конечное состояния преобразуемого объекта соответственно;  $D$  — преобразующие действия;  $C$  — средства преобразования;  $Y$  — режимы преобразования;  $E$  — известные,  $N$  — неопределенные,  $I$  — искомые;  $R_i$  —  $i$ -е отношение.

Универсальная и менее сложная модель задач мыслительного, теоретического характера в учебно-познавательной деятельности предложена в [98]:

$$(C_i^n, S_i, F_i, B_i^v, M_i, I_i),$$

где  $C_i^n$  — цель задачи (вопрос, требование),  $n$  — номер цели задачи (если задача имеет более одной цели);  $S_i$  — содержание задачи (условие);  $F_i$  — форма предъявления задачи (язык оформления);  $B_i^v$  — база решения (базис, предметная область, теоретический фундамент),  $v$  — объем необходимой информации (по теме —  $t$ , разделу —  $r$ , дисциплине —  $d$ , комплексная —  $k$  (требует привлечения информации нескольких дисциплин));  $M_i$  — методы решения (алгоритмические и эвристические);  $I_i$  — инструменты решения. Каждый компонент также характеризуется индексом  $i$  — показателем определенности (для  $i=1$ , обозначение опускается). Такой тип задачи представляет собой «проблему в себе», которая, существуя объективно, предчувствуется субъектом.

Из предыдущего видно, что предикативно-вербальные, алгебраические формализмы концепта *задача* исследуются и развиваются, правда, для учебных целей, чего нельзя сказать о многолетнем и стабильном однообразии предметно-изобразительных представлений задач (рис. 20, а–в).

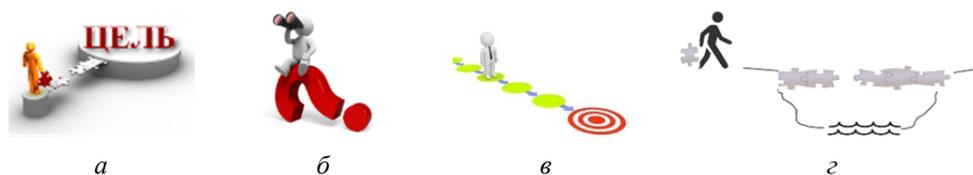


Рис. 20. Разнообразие интернет-изображений, раскрывающих содержание концепта *задача* в иконографии (а–в); схематизированное изображение концепта *задача* в метафоре пазла (г)

Когнитивно-визуальный подход к представлению концепта *задача* молод в интеллектуальном управлении, начинается с работ Д. А. Пospelova и А. А. Зенкина по когнитивной компьютерной графике в математических задачах, развивается в [16] для космических и медицинских приложений, а применительно к обучению математике в школах и вузах исследован в работах В. А. Далингера [99].

В источниках по психологии и педагогике использование схематизации для развития мышления обучаемых отражено в работах Ж. Пиарже, Б. Инельдера, Г. П. Щедровицкого, А. П. Зинченко, О. С. Анисимова, В. М. Розина, П. Б. Мрдуляша. В методике обучения математике аналогичные подходы рассматривались В. А. Крутецким, В. А. Далингером и Н. И. Поповой. Д. Гильберт подчеркивал, что в математике, как и вообще в научных исследованиях, встречаются две тенденции: тенденция к абстракции и выработке логической точки зрения, систематически связывающей материал, и тенденция к наглядности, стремящаяся к живому пониманию объектов и их внутренних отношений [100]. В. А. Далингер предлагает строить обучение математике на основе когнитивно-визуального (зрительно-познавательного) подхода к формированию знаний, умений и навыков и максимального использования визуального мышления. Яркий пример — «живые чертежи» динамической геометрии (например, GeoGebra (**geometry + algebra**) [101]) для спецификации отношений геометрических объектов. При изменении одной из фигур другие объекты также изменяются, сохраняя неизменными лишь отношения. В [102] на основе метода исследующего чтения схематизированных изображений и опираясь на ключевые моменты этапов решения текстовых алгебраических задач создана гибкая схематическая модель обучения школьников и студентов решению математических задач (рис. 21, а).

В [103] исследована функциональная неоднородность сложных задач, проявляющаяся в наличии взаимосвязанных областей однородных параметров-переменных: детерминированных, стохастических, пропозициональных, лингвистических, генетических и визуальных, на которых аналитическими, статистическими, символическими, коннекционистскими, эволюционными и изобразительными методами заданы причинно-следственные, ассоциативные и апперцептивные связи в Модели Мира субъекта деятельности (рис. 21, б).

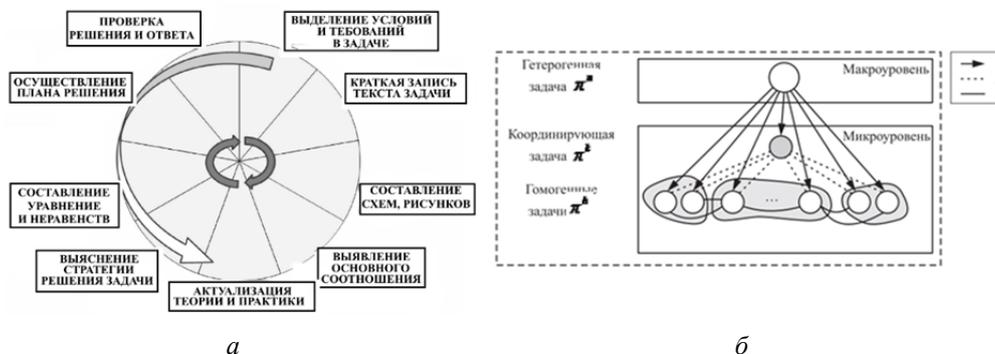


Рис. 21. Схематическая модель для обучения школьников и студентов решению математических задач Н. И. Попова и Е. В. Яковлевой (а); двухуровневое схематизированное изображение сложной задачи (1 — отношения включения; 2 — отношения координации; 3 — отношения декомпозиции) (б)

В [104] методика схематизации направлена на выявление уровня развития наглядно-образного мышления и содержит постановку задачи на использование условно-схематических изображений для ориентировки в пространстве. Детям предлагается отыскать «путь» в разветвленной системе дорожек, пользуясь обозначением этого пути схемой и условным изображением ориентиров (рис. 22, а).

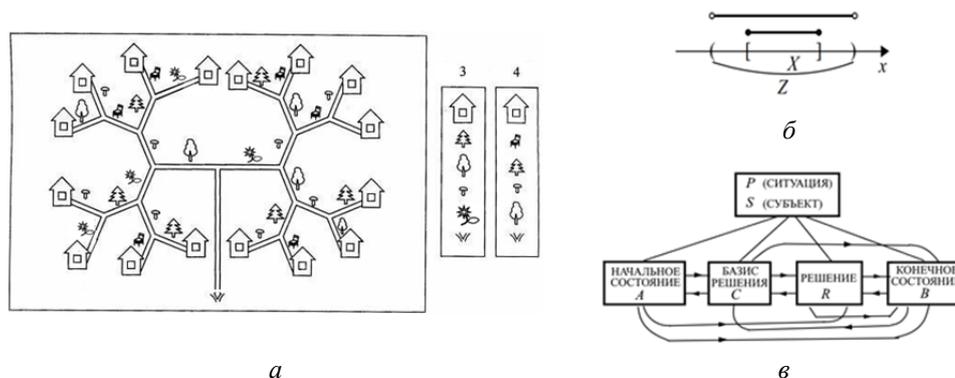


Рис. 22. Схемы когнитивно-визуальных образов:  
 а — карточка детской задачи для ориентировки в пространстве: полянка с разветвленными дорожками и домиками на их концах; каждая дорожка обозначена «значком-ориентиром» (елочка, березка, стульчик, грибок, цветок); начало маршрута обозначено значком «трава»; два «письма» — №3 и №4, с условно указанным путем к одному из домиков; читать письмо следует снизу вверх; б — геометрический когнитивно-визуальный образ взаимного расположения множеств; в — схематическое изображение явно существующих связей между блоками — основными компонентами задачи, по Ю. М. Колягину (неориентированные линии выражают иерархическое расчленение системы (S, P) на четыре основных блока A, C, R и B

В [105] геометрическая интерпретация используется в алгебре, что вполне допустимо в рамках межпредметных связей (рис. 22, б): допустим, что есть числовые множества  $X$  и  $Z$ . Пусть  $X$  содержится в  $Z$ . Нарисуем линию над множеством  $X$  и линию на большей высоте от числовой прямой над множеством  $Z$ . То обстоятельство, что  $X \subset Z$  в терминах нарисованных линий выглядит так, что линия, соответствующая большему множеству  $Z$ , накрывает линию, соответствующую меньшему множеству  $X$ , нависает на ней.

На примере [106] рассмотрим постановку и пошаговое решение испытуемыми задачи определения площади алтарного окна: выше алтаря есть круглое окно (левая форма на рис. 23, в). Фигуры выше и ниже надо позолотить. Какова суммарная площадь этих фигур? Испытуемый десятилетний, не зная геометрию, сказал: «Почему вы думаете, что я могу сделать это? Я не могу. Не имею ни малейшего представления, как делаются подобные вещи». Он внимательно посмотрел на рисунок, а затем спокойно сказал: «Два полукруга должны войти в "окно"... Это полный квадрат (провел по рисунку пальцем)». На все ушло около минуты.



Рис. 23. Пошаговая трансформация геометрических форм, решающая задачу о площади алтарного окна

Использование свойств однородности и неоднородности, широко наблюдаемых в деятельности субъекта, применительно к задачам обработки информации и управления приводит к двум информационным моделям: «однородная задача» как элемент системы и «неоднородная задача» как взаимосвязанная совокупность элементов, свойства которой определяются отношениями между элементами-задачами. Такой подход использован, чтобы сократить многообразие степеней сложности задач до двух, по сути, заменяя левую границу на шкале «измерения» сложности, где расположены концепты *простая задача, игровая задача, правильно поставленная задача, хорошо определенная задача, теоретическая задача, решаемая задача, подзадача, мелкая задача, предметное решение, решение-связка, скомпенсированное затруднение, обслуживающая подзадача* и им подобные. Ближе к правой границе располагаются концепты *сложная задача, практическая задача, комплексная задача, задача с неполными условиями, плохо определенная задача, творческая задача, инсайтная задача* и *проблема*.

Концепт *неоднородная задача* по содержанию ближе к категориям обусловленности, причины, а концепт *однородная задача* — к категориям ре-

зультативности, следствия и действия. Концепт *неоднородная задача* — сущность семиотической модели Модели Мира субъекта деятельности, характеризующийся количественной и качественной различимостью средствами разума, ментальная конструкция-система из однородных (обслуживающих) задач, отображенная отношениями декомпозиции. В этом мире также актуальны концепты *цель, функция (фаза) управления*. Калининградская школа ИИ выделяет следующие фазы управления: *учет, контроль, анализ, нормирование, прогнозирование, регулирование, планирование и организация*.

*Концепт однородная задача*. Однородная задача обозначается концептом  $({}^8x_k^n |^h, {}^{81}sh^n) |^h$   ${}^8x_k^n \in {}^{CB}L_6^h, {}^{81}sh^n \in {}^{III}L_5^h$  в семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности.

Первая компонента  ${}^8x_k^n |^h$  кортежа  $({}^8x_k^n |^h, {}^{81}sh^n)$ , ПВ-представление однородной задачи изображена граф-схемой РКМ на рисунке 24, а, а ниже дана спецификация  $\pi^h$  (при необходимости используется обозначение  ${}^8\pi^h$ ) через понятия *метода* —  $t$ , *свойства* —  ${}^2X^0$  и *состояния* —  ${}^6X^0$ :

$$\begin{aligned} \pi^h = & {}^8x_1^0 {}^{86}R^n {}^6G^h \wedge {}^8x_1^0 {}^{82}R^n {}^2D^h \wedge {}^8x_1^0 {}^{89}R^n {}^9C^h \wedge {}^8x_1^0 {}^{813}R^n {}^{13}x^0 \\ & \wedge {}^8x_1^0 {}^{82}R^n {}^2K^h \wedge {}^8x_1^0 {}^{82}R^n {}^2O^h \wedge {}^8x_1^0 {}^{88}R_1^n {}^8x_1^0 \wedge {}^8x_1^0 {}^{88}R_2^n {}^8x_1^0, \end{aligned}$$

где  ${}^6G^h, {}^2D^h, {}^9C^h$  — схемы РКМ целевого состояния, исходных данных и условий ( $t^h$  — *метод*,  $\dot{t}^h$  — *модель*,  $a^h$  — *алгоритм*,  $p^h$  — *программа*; при необходимости используются обозначения  ${}^9m^h, {}^9\dot{m}^h, {}^9a^h, {}^9p^h$ ) задачи  $\pi^h$  соответственно;  ${}^8x_1^0 {}^{813}R^n {}^{13}x^0$  — схема РКМ цели,  ${}^2K^h$  — классификатор, то есть схема РКМ, определяющая фазу, класс переменных, которыми необходимо и достаточно манипулировать для решения  $\pi^h$  (детерминированные, стохастические, нечеткие или четкие лингвистические, генетические и изобразительные), класс задачи (размещения, расписания, маршрутизации, совершенствования и другие в соответствии с таблицей 7.2 в [5]) и множество классов переменных-отношений сравнения, пространства, времени, причинности и других, которыми необходимо и достаточно манипулировать для решения  $\pi^h$ ;  ${}^2O^h, {}^2O^h$  — спецификатор, то есть схема РКМ, определяющая идентификатор  ${}^2O_1^h$ , свойства среды разработки, проблемной среды, проекта, среды экспертов, измерений, информации для решения задачи; плана решения задачи [5];  ${}^{88}R_1^n$  — отношения с другими  $\pi^h$  из одной и той же  $\pi^u$ ;  ${}^{88}R_2^n$  — отношения включения  $\pi^h$  в  $\pi^u$ ;  ${}^{82}R^n, {}^{86}R^n, {}^{89}R^n$  — отношения определения *иметь целевое состояние, иметь исходные данные, иметь метод решения* соответственно.

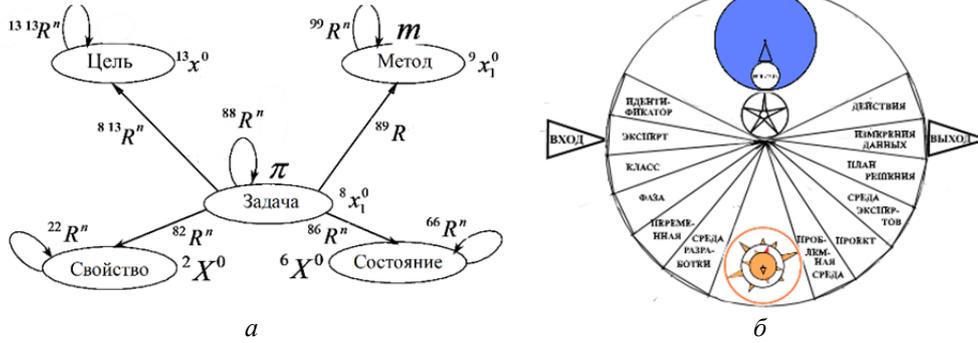


Рис. 24. Представление концепта *однородная задача* в семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности:  
 а — граф-схемой ролевой концептуальной модели; б — изограф-схемой

Такой подход к определению задачи вводит ее классификационную принадлежность фазам управления, учитывает модели личностей, свойства проекта, системы измерений, информации для решения задачи, а также обмен информацией между подзадачами в составе неоднородной задачи.

Для определения идентификатора задачи предложена следующая схема РКМ:

$${}^2O_1^h = {}^8x_1^0 {}^{82}R_1^n {}^{22}X_1^0 \wedge {}^8x_1^0 {}^{82}R_2^n {}^{22}X_2^0 \wedge {}^8x_1^0 {}^{83}R_1^n {}^3X^0 \wedge {}^3X^0 {}^{32}R^n {}^{22}X^0 \wedge {}^3X^0 {}^{31}R_1^n {}^1X^0 \wedge {}^3X^0 {}^{31}R_2^n {}^1X^0,$$

где  ${}^{22}X_1^0, {}^{22}X_2^0$  — фаза и характеристики задачи;  ${}^3X^0$  — действие, на реализацию которого направлено решение задачи;  ${}^1X^0$  — ресурсы для выполнения действия;  ${}^{82}R_1^n, {}^{82}R_2^n$  — отношения определения *иметь фазу, иметь свойство*;  ${}^{83}R^n$  — отношения *задача — действие*;  ${}^{32}R^n$  — отношения *действие — свойство*;  ${}^{31}R_1^n, {}^{32}R_2^n$  — отношения *иметь место* и *иметь средство* соответственно.

Например, может быть получен следующий идентификатор однородной задачи: *задача оперативного контроля погрузки-выгрузки судов в грузовом районе порта*.

В СВ-языке описания однородных задач  ${}^{CB}L_6^h$ , может быть сконструирован знак  ${}^8x_k^n |^h \in {}^8X^n |^h$ , где  ${}^8X^n |^h$  — множество знаков однородных задач:

$${}^{CB}L_6^h({}^{CB}L_1^n, \dots, {}^{CB}L_5^S, {}^{CB}L_{13}^{S}, {}^6X^0, {}^8X^0, {}^9X^0, R^n; {}^{CB}\mathcal{P}_6(\pi^h)) = {}^{CB}\{^8x^n |^h\},$$

где  ${}^{CB}L_1^n, \dots, {}^{CB}L_5^S$  — языки описания производных отношений  $R^n$ , а также ресурсов, свойств, действий и их иерархий ( ${}^1X^n, {}^2X^n, {}^3X^n$ ) структур, ситуаций и состояний объекта оперативного управления.

Вторая компонента  ${}^{81}sh^n$  кортежа  $({}^8x_k^n |^h, {}^{81}sh^n)$ , ПИ-представление модели однородной задачи изображена изограф-схемой на рисунке 24, б. За основу ПИ-представлений моделей однородной задачи (рис. 24, б) и неоднородной задачи (проблемы, сложной задачи) на рисунке 27, б (с. 113) взяты визуально-символьные представления задачи и проблемы из [17].

Основное отличие — использование изографов и отказ от языка пиктограмм:

$${}^{III}L_5^h({}^{III}L_4^S, {}^{III}L_{10}^m, {}^{III}L_{20}^{цель}, \hat{H}, {}^{III}P_5) = {}^{III}\{{}^{81}sh^n\}, \{{}^{81}sh_1^n, \dots, {}^{81}sh_{N_{h81}}^n\} = {}^{81}SH^n,$$

где  ${}^{III}L_5^h$  — ПИ-язык описания однородных задач ( $h$ ) как множество производных изографов-схем  ${}^{III}\{{}^{81}sh^n\}$ , получаемых по композиционным правилам  ${}^{III}P_5$ ;  ${}^{III}L_4^S$  — ПИ-язык описания состояний объекта управления ( $S$ );  ${}^{III}L_{10}^m$  — ПИ-язык описания методов моделирования ( $m$ ).

Рассмотрим изограф-схему  ${}^{81}sh^n$  как композицию следующих ролевых визуальных отношений (РВО): «задача *иметь свойство* вход», «задача *иметь свойство* выход», «задача *иметь свойство* идентификатор», «задача *иметь свойство* эксперт», ..., «задача *иметь свойство* действия» (всего 12 отношений), «задача *иметь начальное состояние* состояние (режим)», «задача *иметь метод решения* метод» и «задача *иметь цель решения* цель», построенную в интерактивном режиме.

По РВО «задача *иметь свойство* вход» специфицируются исходные данные из начального состояния (режима), а по РВО задача *иметь целевое состояние* состояние (режим) — выходные (результатирующие) данные из целевого состояния режима. Образные представления свойств *вход* и *выход* задачи — коннекторы в декомпозиции неоднородной задачи.

По РВО «задача *иметь начальное состояние* состояние (режим)» использован изограф оперативного образа состояния и аварийного режима района электросетей по ролевым отношениям *состояние* — ресурс и ресурс — свойство (имелись длина «лучей», цвет заливки и содержание текста) двойной звезды в окружности оранжевого цвета, показывающей отнесение к аварийному режиму (см. рис. 18, б на с. 98). Черной точкой с неизменной локацией отображается целевой показатель качества электроэнергии — частота переменного электрического тока. Относительно точки динамично может перемещаться «вверх-вниз» фигура  $\Delta$ , обозначающая свойство *текущая частота тока* динамичного ресурса — электроэнергии. Смещение центра этой фигуры относительно черной точки вниз обозначает уменьшение текущей частоты относительно целевого значения. И наоборот, смещение центра этой фигуры относительно черной точки вверх обозначает увеличение текущей частоты относительно целевого значения.

Если автоматический партнер, контролируя состояние района электросетей, вычислит его принадлежность к кластеру *нормальный режим*, то отображается изограф оперативного образа на рисунке 17, б (окружности на рисунке 17, а слились в одну, голубой цвет заливки) в максимально сжатом, интегрированном виде. На внутренней окружности изографа смещение состояния из кластера *нормальный режим* отобразится треугольниками разной высоты (см. рис. 18, а, б на с. 98), визуальными показывающими оператору отклонение параметров состояния для динамического ресурса из Р-ситуации (ситуации на ресурсах) от нормы. Цвет заливки внутренней окружности и треугольников-свойств начнет меняться от голубого к оранжевому аварийного режима. Аналогичная анимация изографа-схемы реализуется и для внешней окружности. Красной заливкой закрашен символ свойства: *частота переменного тока*.

Для отображения РВО «задача *иметь метод* решения метод» ближе к центру окружности расположена схема-изограф «окружность с вписанной пятиконечной звездой» метода моделирования [17].

РВО «задача *иметь цель* решения цель» отображает семантику цели решения задачи — изографом-схемой планируемого к достижению количественного целевого показателя состояния (указание вершиной треугольника на черную точку) и нормального режима (синий цвет заливки окружности) и модели личности решателя: окружность с текстом «РЕШАТЕЛЬ» (см. рис. 17, в на с. 97) — здесь использован аппарат изографов для схематизации целеполагания и концепта *цель* решателя задачи.

Таким образом онтологическая семантика концепта *однородная задача*  $({}^8x_k^n | {}^{81}sh^n) | {}^8x_k^n \in {}^{CB}L_6^h, {}^{81}sh^n \in {}^{III}L_5^h$  в семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности раскрывается как ментальная сущность решателя для достижения поставленной им цели, переводящая объект управления из исходного в целевое состояние известным методом моделирования. Например, в [107] предложены задачи оперативно-диспетчерского управления на всех территориальных и временных уровнях.

Концепт *неоднородная задача* маркирует правую границу сложности проблемы и существенно отличается от концепта *однородная задача*.

*Проблема*, по В. Ф. Спиридонову [89], — устойчивое противоречие, разрыв в деятельности, затруднительные условия без явно сформулированной цели или четкая цель, не связанная со сложившимися неблагоприятными условиями. Структурно проблема — аморфное образование со следующими свойствами: нет исходной формулировки (либо нужно ее найти); имеет комплексное строение; «навязчивый» и сетевой характер; непрозрачность; собственная динамика; «человеческое» измерение; межпредметное содержание (изображение на рисунке 25, а выражает содержание концепта *проблема соц-сетей*).

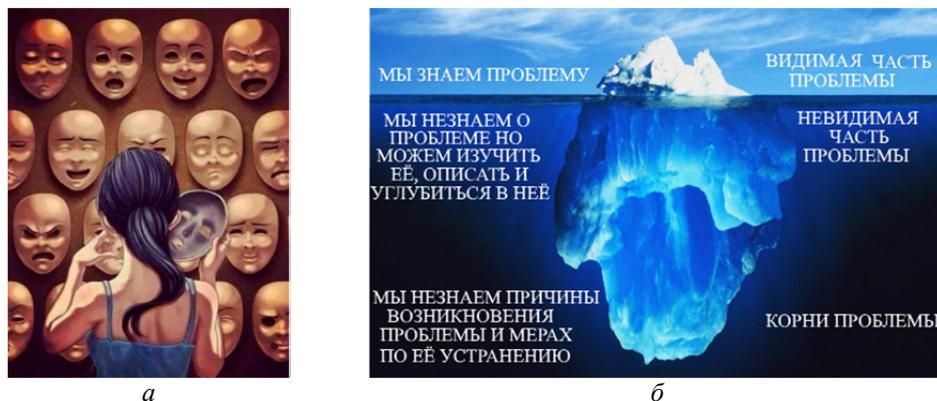


Рис. 25. Содержание концепта *проблема*:  
 а — в *соцсети*; б — в метафоре айсберга

В указанном смысле понятие проблемы исследовано, например, в работе М. В. Самсоновой, В. В. Ефимова и представлено на рисунке 25, б трехслойной иерархией по шкале «известное — неизвестное», сравнимой с айсбергом, по-прежнему, несмотря на технический прогресс, доставляющим человечеству беды и излишние хлопоты в океане. Здесь уместно образное выражение писателя-фантаста П. Андерсона, что проблема, сколь бы сложной она не была, становится еще сложнее, если на нее правильно посмотреть [108].

В экспериментах Б. Эдвардс по правополушарному рисованию [109] студенты визуализировали личные проблемные аналогии (рис. 26).

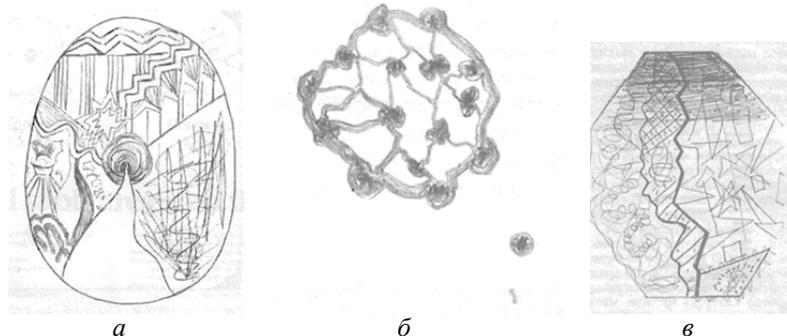


Рис. 26. Когнитивно-визуальное представление личных проблем

Вербальное описание изображения на рисунке 26, а: «Куда я иду? Одна часть меня хочет заняться бизнесом или юриспруденцией и стать большим человеком; другая хочет заняться моделированием одежды. Другая часть просто запуталась»; на рисунке 26, б: «Попытка приспособиться, найти свою "нишу", установить связь с другими людьми»; на рисунке 26, в: «Я наверху со своими сложностями. Вещи и идеи поступают ко мне со всех сторон. Одна

сторона ориентирована на ученую степень: другая сторона, творческая, игровая, ориентирована на искусство и литературу. Путь к счастью лежит где-то посередине, но становится все труднее и труднее определиться с выбором. Я чувствую, что заблудилась».

На рисунке 27, а изображена схема неоднородной задачи как системы, отображающая состав и структуру проблемы, а ниже, в качестве примера, приведен перечень основных проблем электроснабжения [110]: падение или провал напряжения, кратковременные перебои, долговременные перебои, импульсные всплески, перенапряжение, гармонические искажения, колебание напряжения, шумы и дисбаланс напряжения, проблема повышения качества электроэнергии в питающей сети, надежности системы электроснабжения [111].

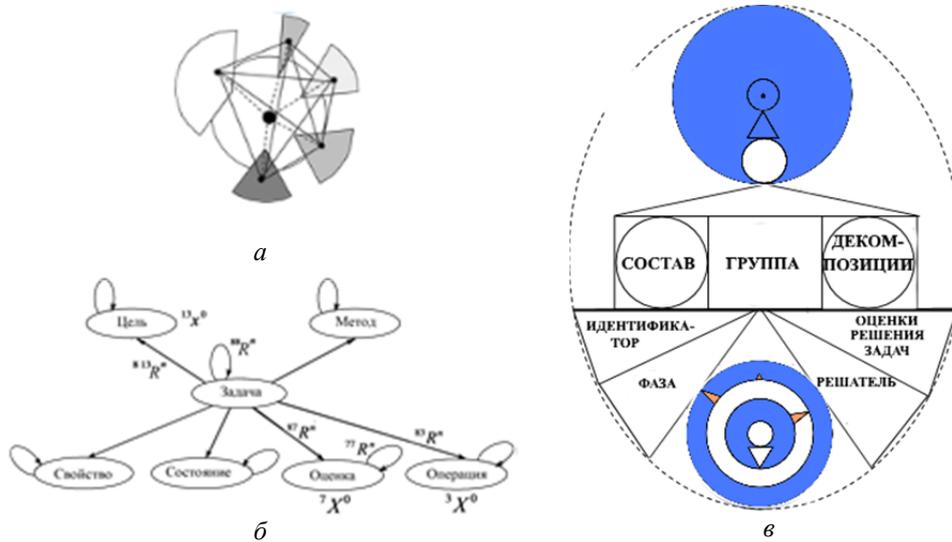


Рис. 27. Представление концепта *неоднородная задача* в семиотической модели концептосферы субъекта деятельности:  
 а — схемой «проблема как система»; окружность — целое, проблема; сектор — часть-задача; пунктир — отношения *иметь в составе*; сплошная линия — отношения декомпозиции;  
 б — граф-схемой ролевой концептуальной модели; в — изограф-схемой

Неоднородная задача обозначается концептами

$$\begin{aligned} & \left( {}^8x_k^n \mid^u, {}^{84}sh^n \right) \Big| {}^8x_k^n \mid^u \in {}^{PB}L_7^u, {}^{84}sh^n \in {}^{III}L_8^u, \\ & \left( {}^8x^n \mid^h, {}^{82}sh^n \right) \Big| {}^8x^n \mid^h \in {}^{PB}L_6^h, {}^{82}sh^n \in {}^{III}L_6^{coc}, \\ & \left( {}^8x^n \mid^\Pi, {}^{83}sh^n \right) \Big| {}^8x^n \mid^\Pi \in {}^{CB}L_7^\Pi, {}^{83}sh^n \in {}^{III}L_7^{дек} \end{aligned}$$

в семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности. Первая компонента  ${}^8x_k^n|u$  кортежа  $({}^8x_k^n|u, {}^{84}sh^n)$ , ПВ-представление неоднородной задачи изображена граф-схемой РКМ на рисунке 27, б, а ниже дана спецификация  $\pi^u$  (при необходимости используется обозначение  ${}^8\pi^u$ ):

$$\begin{aligned} \pi^u = & {}^8x_1^{086}R^n {}^6G^u \wedge {}^8x_1^{082}R^n {}^2D^u \wedge {}^8x_1^{089}R^n {}^9C^u \wedge {}^8x_1^{0813}R^n {}^{13}x^0 \wedge \\ & \wedge {}^8x_1^{082}R^n {}^2K^u \wedge {}^8x_1^{082}R^n {}^2O^u \wedge {}^8x_1^{083}R^n {}^3X^n \wedge {}^8x_1^{087}R_2^n {}^7O^n \wedge \\ & \wedge {}^8x_1^{088}R_2^n \Pi^h \wedge \Pi^h {}^{88}R_3^n \Pi^h \wedge {}^8x_1^{088}R_4^n \Pi^h, \end{aligned}$$

где  ${}^6G^u, {}^2D^u, {}^9C^u$  — схемы РКМ целевого состояния, исходных данных и условий  $(m^u, \dot{m}^u, a^u, p^u)$  соответственно;  ${}^8x_1^{0813}R^n {}^{13}x^0$  — цели;  ${}^2K^u$  — классификатор;  ${}^2O^u$  — спецификатор, включающий идентификатор;  $\pi^u$ ; схему РКМ решателя; схему РКМ операции  ${}^3X^n$ , исполняющей решение  $\pi^u$ ;  ${}^7O^n$  — эвалюэитор (от англ. evaluation), то есть схема РКМ, определяющая оценки результатов  ${}^3X^n$ ; оценки результатов решения однородных задач  $\Pi^h = \{\pi_1^h, \dots, \pi_{N_h}^h\}$  из состава  $\pi^u$ , где  $N_h$  — здесь и ниже обозначает количество элементов множества;  $\Pi^h {}^{88}R_3^n \Pi^h$  — обозначает  $\widehat{\Pi}^h = \{\widehat{\pi}_1^h, \dots, \widehat{\pi}_{N_u}^h\}$  — множество декомпозиций задачи  $\pi^u$ ;  $\widehat{\pi}_j^u = (\Pi^h, {}^{88}R_3^n)|j=1, \dots, N_u$ ;  ${}^{88}R_3^n$  — множество отношений декомпозиции  $\pi^u$ ;  ${}^8x_1^{088}R_2^n \Pi^h$  — обозначает состав  $\pi^u$ ;  ${}^{88}R_4^n$  — отношения  ${}^6G^u$  и  ${}^6G^h$ ,  ${}^2D^u$  и  ${}^2D^h$ , а также  ${}^9C^u$  и  ${}^9C^h$ .

В ПВ-языке описания неоднородных задач  ${}^{PB}L_7^u$  может быть сконструирован знак  ${}^8x^n|u \in {}^8X^n|u$ , где  ${}^8X^n|u$  — множество знаков неоднородных задач:

$${}^{PB}L_7^u({}^{PB}L_6^h, {}^{PB}L_{13}^{цель}, {}^8X^n|uh, {}^8X^n|\Pi, {}^{PB}\mathcal{P}_7^u) = {}^{PB}\{{}^8x^n|u\},$$

где  ${}^8X^n|uh \subseteq {}^8X^n|h$  — множество знаков в  ${}^{PB}L_7^u$  однородных задач из  $\Pi^h$ ;  ${}^8X^n|\Pi$  — множество знаков декомпозиций неоднородных задач в

$${}^{CB}L_7^\Pi({}^{CB}L_6^h, {}^{88}R_3^n, {}^{CB}\mathcal{P}_7^\Pi) = {}^{CB}\{{}^8x^n|\Pi\},$$

где  ${}^{CB}\mathcal{P}_7^\Pi$  — множество схем ролевых концептуальных моделей для формирования структур на  $\Pi^h$ .

Вторая компонента  ${}^{84}sh^n$  кортежа

$$({}^8x_k^n|u, {}^{84}sh^n)|{}^8x_k^n|u \in {}^{CB}L_7^u, {}^{84}sh^n \in {}^{III}L_8^u,$$

ПИ-представление неоднородной задачи изображено изограф-схемой на рисунке 27, в в языке  ${}^{III}L_8^u$ :

$${}^{III}L_8^u({}^{III}L_6^{coc}, {}^{III}L_7^{дек}, \hat{H}, {}^{III}P_8) = {}^{III}\{{}^{84}sh^n\}, \{{}^{84}sh_1^n, \dots, {}^{84}sh_{Nh84}^n\} = {}^{84}SH^n,$$

$$\text{где } {}^{III}L_6^{coc}({}^{III}L_5^h, \hat{H}, {}^{III}P_6) = {}^{III}\{{}^{82}sh^n\}, \{{}^{82}sh_1^n, \dots, {}^{82}sh_{Nh82}^n\} = {}^{82}SH^n,$$

$${}^{III}L_7^{дек}({}^{III}L_6^{coc}, \hat{H}, {}^{III}P_7) = {}^{III}\{{}^{83}sh^n\}, \{{}^{83}sh_1^n, \dots, {}^{83}sh_{Nh83}^n\} = {}^{83}SH^n.$$

Рассмотрим изограф-схему  ${}^{84}sh^n$  как композицию следующих ролевых визуальных отношений: «проблема *иметь свойство* идентификатор», «проблема *иметь свойство* фаза», «проблема *иметь свойство* решатель», «проблема *иметь свойство* оценки», «проблема *преодолевается* действием», «проблема *иметь в составе* однородные задачи», «проблема *иметь декомпозиции* декомпозиции», «проблема *иметь субъект* группа», «проблема *иметь начальное состояние* состояние (режим)», «проблема *иметь цель* решения цель», построенную в интерактивном режиме.

Основная идея ПИ-представления проблемы (сложной задачи) окружностью сохранена. Тем не менее есть и изменения: форма окружности заменена овальной формой, а сплошная линия ее контура стала пунктирной. Так обозначена онтологическая семантика отсутствия у проблемы исходной формулировки, ее нечеткость, неясность, туманность, скрытность от взгляда как субъекта оперативного управления, так и субъекта-конструктора. Наконец, овальная форма ближе к метафорическому образу проблемы как «айсбергу» на рисунке 25, б (с. 112).

По РВО «проблема *иметь свойство* идентификатор», «проблема *иметь свойство* фаза», «проблема *иметь свойство* решатель», «проблема *иметь свойство* оценки» раскрываются наименование проблемы, принадлежность фазе управления, знания о лице, принимающем решения, множество оценок результатов решения однородных задач.

По РВО «проблема *преодолевается* действием» изографом (пятиточечная стрелка) изображена деятельность группы экспертов по спецификации состава проблемы и наработки множества ее декомпозиций, что, по сути, раскрывает семантику онтологического механизма преодоления проблемы, рассмотренного в разделе 13.

По РВО «проблема *иметь в составе* однородные задачи» перечисляются знаки однородных задач, которые должны быть решены для снятия проблемной ситуации.

По РВО «проблема *иметь декомпозиции* декомпозиции» обозначена информация о структуре проблемы, то есть системе обслуживающих ее однородных задач.

По РВО «проблема *иметь субъект* группа» обозначен ресурс «группа экспертов», участвующих наряду с лицом, принимающим решения (ЛПР) в коллективном решении проблемы, а также обозначено ее комплексное строе-

ние, сетевой характер, собственная динамика, междисциплинарность и человеческое измерение. Тем не менее исключить возможность преодоления проблемы ЛПР самостоятельно, без участия группы нельзя.

По РВО «проблема *иметь начальное состояние* состояние (режим)» изображен изограф оперативного образа состояния и нормального режима района электросетей по ролевым отношениям *состояние — ресурс* и *ресурс — свойство* (голубой цвет заливки) в проблемной ситуации по качественным показателям (см. рис. 18, в на с. 98). Иными словами, несмотря на работу района электросетей в нормальном режиме, имеет место проблемная ситуация по одному или нескольким качественным показателям.

По РВО «проблема *иметь цель решения* цель» изображен изограф планируемого к достижению количественного целевого показателя состояния, нормального режима и одного или нескольких качественных целевых показателей (цели) для преодоления проблемной ситуации (см. рис. 17, г на с. 97).

Следует обратить внимание, что на изографе-схеме  ${}^{84}sh^n$  нет информации о методе преодоления проблемы. Это объясняется тем, что нет и не может быть одного единственного известного метода преодоления проблемной ситуации, а вместо этого имеется некоторое количество инструментальных средств (моделей решения однородных задач из состава гетерогенного модельного поля), из которых ситуативно, динамично синтезируется интегрированная модель, релевантная одной из декомпозиций проблемы и используемая для имитации психологических механизмов группового интеллекта по преодолению проблемной ситуации.

Таким образом, онтологическая семантика концепта *неоднородная задача*  $({}^8x_k^n |^u, {}^{84}sh^n) |^8x_k^n |^u \in {}^{CB}L_7^u, {}^{84}sh^n \in {}^{III}L_8^u$  в семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности раскрывается как ментальная сущность решателя для достижения поставленной им цели, переводящая объект деятельности из исходного состояния в целевое состояние динамичной выработкой и применением релевантного ситуативным условиям оригинального метода моделирования.

*Фаза управления* обозначается концептом

$$({}^{85}x^n |^f, {}^{85}sh^n) |^8x^n |^f \in {}^{CB}L_8^f, {}^{85}sh^n \in {}^{III}L_9^f$$

в семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности. Первая компонента  ${}^{85}x^n |^f$  кортежа  $({}^8x^n |^h, {}^{81}sh^n)$  — ПВ-представление концепта *фаза управления* — изображена граф-схемой РКМ на рисунке 28, а, а ниже дана ее спецификация:

$$\pi^f = {}^{85}x^{0\ 852}R^{n\ 2}X^0 \wedge {}^{85}x^{0\ 852}R^{n\ 2}X_1^0 \wedge {}^{85}x^{0\ 852}R^{n\ 2}X_2^0 \wedge {}^{85}x^{0\ 8585}R_1^{2\ 9}\Pi^f,$$

где  ${}^{85}x^{0\ 852}R^{n\ 2}X^0$  — наименование (имя) фазы,  ${}^{85}x^{0\ 852}R^{n\ 2}X_1^0$  — свойство *вход*,  ${}^{85}x^{0\ 852}R^{n\ 2}X_2^0$  — свойство *выход*,  ${}^{85}x^{0\ 8585}R_1^{2\ 9}\Pi^f$  — состав задач фазы.

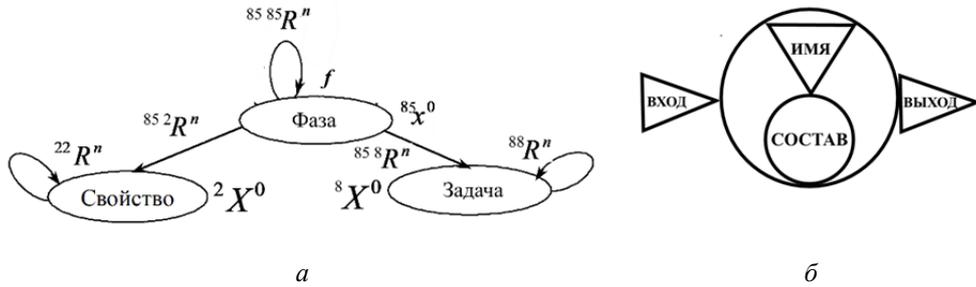


Рис. 28. Представление концепта *фаза управления* в семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности:  
 а — граф-схемой ролевой концептуальной модели; б — изограф-схемой

В ПВ-языке описания фаз управления  ${}^{CB}L_8^f$  может быть сконструирован знак  ${}^{85}x^n|f \in {}^{85}X^n|f$ , где  ${}^{85}X^n|h$  — множество знаков фаз управления:

$${}^{CB}L_8^f({}^{CB}L_6^h, {}^{85}X^0, {}^5R_{ij}^n, {}^{CB}P_8) = {}^{CB}\{ {}^{85}x^n|f \} = {}^{CB}\{ {}^{85}x^n|f \}.$$

Вторая компонента  ${}^{85}sh^n$  кортежа  $({}^8x^n|h, {}^{85}sh^n)$  — ПИ-представление концепта *фаза управления* — изображена изограф-схемой на рисунке 28, б и комментариев не требует:

$${}^{III}L_9^f({}^{III}L_5^h, \hat{H}, {}^{III}P_9) = {}^{III}\{ {}^{85}sh^n \}, \text{ где } \{ {}^{81}sh_1^n, \dots, {}^{81}sh_{N_{h81}}^n \} = {}^{81}SH^n.$$

Таким образом онтологическая семантика концепта *фаза управления*  $({}^{85}x^n|f, {}^{85}sh^n)|{}^8x^n|f \in {}^{CB}L_8^f, {}^{85}sh^n \in {}^{III}L_9^f$  в семиотической модели концептосферы раскрывается как ментальная сущность решателя, функционально структурирующая процесс оперативного управления на восемь стадий, каждая из которых — комплекс задач, получающий входную информацию и выдающий выходную информацию.

*Жизненный цикл управления* обозначается концептом

$$({}^{86}x^n|f^c, {}^{86}sh^n)|{}^{86}x^n|f^c \in {}^{CB}L_8^c, {}^{86}sh^n \in {}^{III}L_9^c$$

в семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности.

Первая компонента  ${}^{86}x^n|f^c$  кортежа  $({}^{86}x^n|f^c, {}^{86}sh^n)$  — словесно-вербальное представление модели «жизненный цикл управления» — изображена граф-схемой ролевых концептуальных моделей на рисунке 29, а, а ниже дана ее спецификация:

$$\Pi^{fc} = {}^{85}x^0 {}^{8585}R_2^n {}^{85}x^0,$$

где  ${}^{8585}R_1^n$  — отношение *выход передается на вход*.

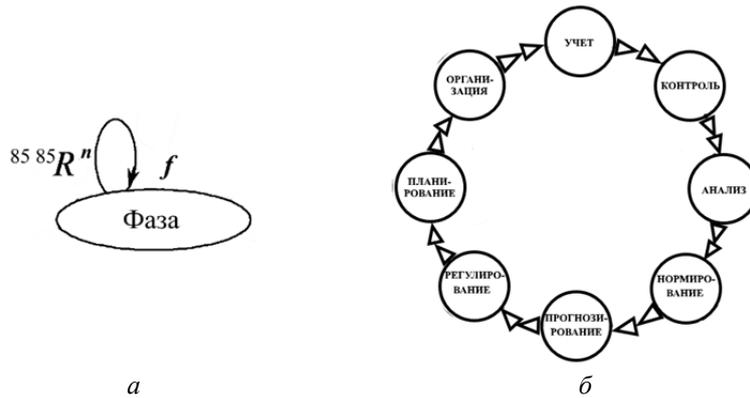


Рис. 29. Представление концепта *жизненный цикл* в семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности:  
*a* — граф-схемой ролевой концептуальной модели; *б* — изограф-схемой

В ПВ-языке описания жизненного цикла  ${}^{CB}L_8^{fc}$  может быть сконструирован знак  ${}^{86}x^n |^{fc} \in {}^{86}X^n |^{fc}$ , где  ${}^{85}X^n |^h$  — множество знаков фаз управления:

$${}^{CB}L_8^{fc} ({}^{CB}L_6^f, {}^{86}X^0, {}^{8585}R_{ij}^n, {}^{CB}P_8) = {}^{CB}\{ {}^{86}x^n |^{fc} \} = {}^{CB}\{ {}^{86}x^n |^{fc} \}.$$

Вторая компонента  ${}^{86}sh^n$  кортежа  $({}^{86}x^n |^{fc}, {}^{86}sh^n)$  — ПИ-представление концепта *жизненный цикл управления* — изображена изограф-схемой на рисунке 29, *б* и комментариев не требует:

$${}^{III}L_9^{fc} ({}^{III}L_5^f, \hat{H}, {}^{III}P_9) = {}^{III}\{ {}^{86}sh^n \},$$

где  $\{ {}^{86}sh_1^n, \dots, {}^{86}sh_{N_{h86}}^n \} = {}^{86}SH^n$ .

Таким образом, онтологическая семантика концепта *жизненный цикл управления*  $({}^{86}x^n |^{fc}, {}^{86}sh^n) | {}^{86}x^n |^{fc} \in {}^{CB}L_8^{fc}, {}^{86}sh^n \in {}^{III}L_9^{fc}$  в семиотической модели концептосферы раскрывается как ментальная сущность решателя, упорядочивающая последовательность пофазовой обработки информации субъектом управления при достижении поставленной цели.

*Цель управления* (рассматривается в постановочном плане) обозначается концептом  $({}^{13}x^n |^{цель}, {}^{13}sh^n) | {}^{13}x^n |^{цель} \in {}^{CB}L_{13}^{цель}, {}^{13}sh^n \in {}^{III}L_{20}^{цель}$  в семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности.

Первая компонента  ${}^{13}x^n|_{\text{цель}}$  кортежа  $({}^{13}x^n|_{\text{цель}}, {}^{13}sh^n)$  — ПВ-представление концепта *цель управления* — изображена граф-схемой ролевых концептуальных моделей на рисунке 30, а, а ниже дана ее спецификация:

$$\begin{aligned} \gamma^{fc} = & {}^{13}x^0 {}^{13}2R^n {}^2X^n \wedge ({}^{13}x^0 {}^{13}8R^n {}^{CB}L_6^h \vee {}^{13}x^0 {}^{13}8R^n {}^{CB}L_7^u) \wedge {}^{13}x^0 {}^{13}1R^n {}^1x^0 \wedge \\ & \wedge {}^{13}x^0 {}^{13}9R^n {}^9X^0 \wedge {}^{13}x^0 {}^{13}131R^n {}^{131}X^0 \wedge {}^{13}x^0 {}^{13}132R^n {}^{132}X^0 \wedge {}^{13}x^0 {}^{13}133R^n {}^{133}X^0 \wedge \\ & \wedge {}^{13}x^0 {}^{13}134R^n {}^{134}X^0. \end{aligned}$$

В ПВ-языке описания цели  ${}^{CB}L_{13}^{\text{цель}}$  может быть сконструирован знак  ${}^{13}x^n|_{\text{цель}} \in {}^{13}X^n|_{\text{цель}}$ , где  ${}^{13}X^n|_{\text{цель}}$  — множество знаков целей управления:

$${}^{CB}L_{13}^{\text{цель}} ({}^{CB}L_2^{\text{рцд}}, {}^{CB}L_3^{\text{рцдн}}, {}^{CB}L_4^{\text{п}}, {}^{CB}L_4^{\text{с}}, {}^{131}x^n, {}^{132}x^n, {}^{133}x^n, {}^{134}x^n, {}^{12}x^n, {}^{13}x^0, {}^{CB}\mathcal{P}_{20}) = {}^{CB}\{{}^{13}x^n|_{\text{цель}}\}.$$

Вторая компонента  ${}^{13}sh^n$  кортежа  $({}^{13}x^n|_{\text{цель}}, {}^{13}sh^n)$  — ПИ-представление концепта *цель управления* — изображена изограф-схемой на рисунке 30, б и комментариев не требует:

$${}^{III}L_{20}^{\text{цель}} ({}^{III}L_1^{\text{рцдн}}, {}^{III}L_2^{\text{соб}}, {}^{III}L_3^{\text{лок}}, {}^{III}L_4^{\text{с}}, {}^{131}sh^n, {}^{132}sh^n, {}^{133}sh^n, {}^{134}sh^n, {}^{12}sh^n, \hat{H}, {}^{III}\mathcal{P}_{20}) = {}^{III}\{{}^{13}sh^n\},$$

где  $\{{}^{13}sh_1^n, \dots, {}^{13}sh_{Nh13}^n\} = {}^{13}SH^n$ .

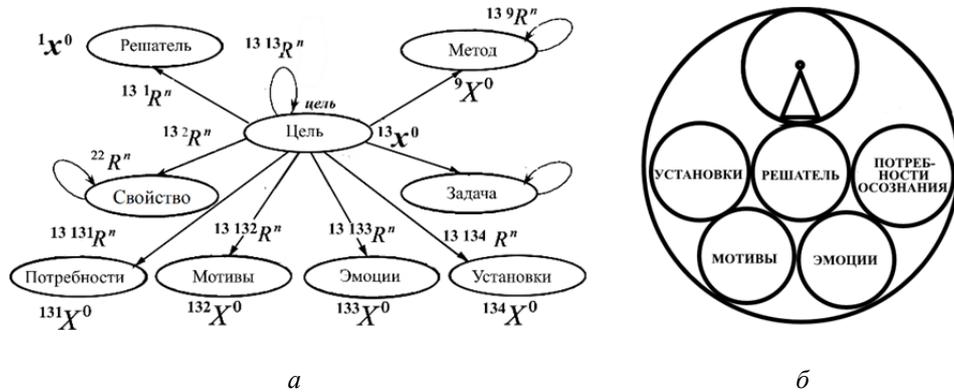


Рис. 30. Представление концепта *цель управления* в семиотической модели концептосферы Модели Мира субъекта деятельности:  
а — граф-схемой ролевой концептуальной модели; б — изограф-схемой

Таким образом, онтологическая семантика концепта *цель управления*  $({}^{13}x^n|_{\text{цель}}, {}^{13}sh^n)|{}^{13}x^n|_{\text{цель}} \in {}^{CB}L_{13}^{\text{цель}}, {}^{13}sh^n \in {}^{III}L_{20}^{\text{цель}}$  в семиотической модели концептосферы раскрывается как ментальная сущность, направляющая действия

субъекта по переводу объекта деятельности из исходного в целевое состояние и формирующаяся как следствие влияния упорядоченной совокупности его потребностей осознания проблемной ситуации, эмоций, мотивов и установок.

## **12. Моделирование смешанных чувственно-вербальных психических конструкций механизмов решения задач и проблем в Модели Мира субъекта деятельности**

Неаддитивность мышления как прямое и непосредственное следствие основного «механизма» мыслительного процесса анализа через синтез — онтологический барьер эмерджентности законов системных и гуманитарных наук, который будет преодолен сотрудничеством математики и эвристики ИИ. Обратимся к исследованию представлений нейрофизиологии и психологии о механизмах решения задач и проблем.

*Лобные доли головного мозга субъекта — управляющий психологический механизм решения задач и проблем.* По мнению Э. Голдберга, лобные доли головного мозга сформировались на поздней стадии эволюции коры во избежание нейронного эквивалента хаоса [112]. Слабый контроль лобных долей, сочетаясь с высокой автономией других структур мозга, одновременно является и «глобальным», координирующим и ограничивающим активность широкого набора нейронных структур в каждый момент времени. Лобные доли не содержат знаний или навыков для возможных задач, с которыми сталкивается субъект деятельности. Но они способны «находить» зоны мозга, содержащие эти знания и навыки для проблемной ситуации, и связывать их в сложные конфигурации, соответствующие потребности осознания.

Ответственность за способность организовать поведение субъекта и экстраполировать его во времени лежит на лобных долях, которые Д. Ингвар, шведский психиатр и нейробиолог, назвал «памятью о будущем» [113]: хорошее предвидение и способность планировать или жизнь «без царя в голове» зависят от качества работы лобных долей. Функциональная нейровизуализация наглядно продемонстрировала отношение между лобными долями и когнитивной новизной задачи: для новых задач кровотоки в лобных долях максимален, а по мере знакомства испытуемых с задачей участие лобных долей сходило на нет. Все корковые области репрезентированы в лобных долях, и, как только «заканчивается» отбор информации для решаемой проблемы, они начинают контактировать с соответствующими частями мозга и обеспечивают поступление памяти (энграммы) активацией тех нейронных сетей, в которых энграмма представлена.

Психологический механизм, по В.Ф. Спиридонову, — автономный, во многом независимый от сознательного управления и не требующий его для своей успешной работы, результативный, несущий предметно-смысловое содержание, обладающий пространственной и временной организацией психический процесс или их совокупность, закономерное и необходимое сочетание явлений и процессов, устойчиво приводящее к определенному результату [89]. Для успешной работы субъекту не требуется ни сознательное управление психологическими механизмами, ни даже знание о них. Основная функ-

ция этих механизмов — преобразование содержания задачи или проблемы, обеспечивающее достижение искомого результата, связанное с содержанием проблемной ситуации.

*Мыслительные механизмы решения задач субъекта деятельности.* Среди наиболее продуктивных идей психологии применительно к решению задач субъектом — идея «потока сознания», выдвинутая У. Джеймсом более 100 лет назад. Он утверждал, что разница между простыми умственными процессами, когда один конкретный образ минувшего опыта вызывается с помощью другого, и мышлением в строгом смысле заключается в следующем: эмпирические умственные процессы только репродуктивны, мышление же — продуктивно [114]. Субъект-мыслитель, сталкиваясь с конкретными данными, которых он никогда раньше не видел и не слышал, спустя немного времени и если способность мышления в нем действительно велика, сумеет из этих данных сделать выводы, нивелирующие незнание проблемной ситуации. Мышление выручает субъекта в непредвиденных обстоятельствах, в которых все обыденные ассоциации бессильны. В то время как субъект-эмпирик наблюдает проблемную ситуацию во всей ее цельности, оставаясь перед ней сбитым с толку и беспомощным, так как она не вызывает в уме ничего сходного или смежного, субъект-мыслитель расчленяет ситуацию-факт и выделяет в ней определенный атрибут, принимает за существенную сторону целого, находит в нем свойства и выводит из него следствия.

Назовем факт или конкретные данные опыта —  $S$ , существенный атрибут —  $M$ , свойство атрибута —  $P$ . Тогда умозаключение от  $S$  к  $P$  может быть сделано только посредством  $M$ . Здесь субъект-мыслитель замещает первоначальные данные  $S$  их отвлеченным свойством  $M$ : то, что справедливо для  $M$ , что связано с  $M$ , то, что справедливо для  $S$ , то связано и с  $S$ . Так как  $M$  — одна из частей целого  $S$ , то мышление можно определить как замещение целого его частями и связанными с ним свойствами и следствиями. Тогда искусство мышления характеризуется: 1) пронизательностью или умением вскрыть в целом факте  $S$  его существенный атрибут  $M$ ; 2) запасом знаний или умением поставить связать  $M$  с входящими в него, связанными с ним и вытекающими из него данными.

В силлогизме  $M \text{ есть } P, S \text{ есть } M \rightarrow S \text{ есть } P$  вторая (меньшая) посылка требует пронизательности, а первая (большая) — полноты и многообразия знаний. Последнее встречается чаще пронизательности, способность рассматривать данные под различными углами зрения наблюдается у субъекта реже, чем умение заучивать известные нормативы и инструкции. Таким образом, при обыденном употреблении силлогизмов новый шаг мысли субъекта — это меньшая посылка, точка зрения субъекта на проблемную ситуацию. Восприятие того факта, что  $S$  есть  $M$ , — точка зрения на  $S$ . Утверждение, что  $M$  есть  $P$ , — общее, или абстрактное, суждение (рис. 31, а). Например, в геометрии фигур целостный треугольник  $S$  обладает множеством свойств, но для решения задачи определения площади  $P$  требуется учесть одно из них  $M$ .

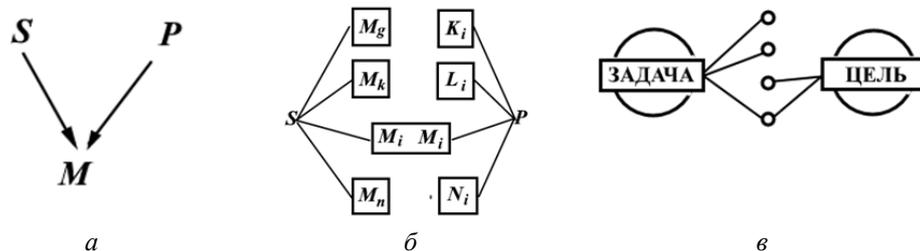


Рис. 31. Психологические механизмы решения задач субъектом:  
*a* — схема решения задачи У. Джеймса; *б* — схематическое изображение теории констелляций Э. Мюллера; *в* — схема решения задач в ассоциативной теории творчества С. Медника

Проницательность, по У. Джеймсу, — свойство, благодаря которому субъект может выделить нужное свойство  $M$  из всех других свойств вещи-ресурса. Важную роль в вычленении  $M$  играет ассоциация по признаку подобия. Сопоставляя подобные случаи, субъект выявляет посредствующий элемент, характеризующий все эти случаи.

При всем многообразии конкретных проблемных ситуаций и процессов их решения количество разработанных объяснительных принципов, по мнению В. Ф. Спиридонова, относительно невелико, а они выступают вариантами следующих принципиальных мыслительных механизмов, обеспечивающих решение задач.

«Случайные» мыслительные механизмы (*пробы и ошибки*). Решение задачи случайно на основании неожиданного совпадения каких-то элементов проблемной ситуации и элементов прошлого опыта или собственных действий субъекта. Примеры — «теория констелляций» Г. Мюллера, «теория резонанса» Э. Клапареда и структурная психология В. Вундта и Э. Б. Титченера.

Теория констелляций Г. Э. Мюллера (рис. 31, *б*) предполагает, что  $S$  и  $P$ , входя в поле сознания субъекта, влекут за собой ассоциативно связанные содержания. Пусть, например, с  $S$  связаны элементы  $M_g, M_i, M_k, M_n$  и т. д., а с  $P$  —  $K_i, L_i, M_i, N_i$  и т. д. Тогда  $M_i$ , связанное с обоими элементами задачи, будет обладать наибольшей силой ассоциативных связей и выделится в сознании, в то время как остальные ассоциации затормозятся.

В «теории резонанса» Э. Клапареда требования решаемой задачи заставляют при помощи своего рода внутреннего мозгового резонанса вибрировать те элементы опыта, которые гармонируют между собой и с заданной проблемной ситуацией [115].

Структурная психология В. Вундта и Э. Б. Титченера — ранние версии информационного подхода к мышлению У. Рейтмана [116]. Их общая черта — редукция мыслительных процессов к оперированию простейшими элементами: чувственными представлениями, двигательными реакциями и преобразо-

ваниями простейшей символической информации. Для обозначения процесса устойчивого перехода от «наличного» к «целевому» состоянию предложен термин *метод проб и ошибок*. Переход от «условий» к «цели» объяснялся авторами «слепым», случайным и ненаправленным перебором, постепенно приближающим субъекта деятельности к желаемому состоянию.

*Целесообразные мыслительные механизмы.* Первые варианты предложены психологами вюрцбургской школы, обратившими внимание на то, что после появления цели ненаправленный поток ассоциаций жестко подчинен логике движения к ней. В этой научной школе утверждали, что мышление «безобразно», а состояние субъекта — «осознание отношений» — есть мышление в «чистом виде».

В рамках подобного понимания мыслительных процессов предложены и иные психологические механизмы решения задач. В них решение задачи объяснялось наличием определенных связей между условиями и целью (данным и искомым). Опираясь на эти связи, субъект постепенно выявляет содержание неизвестных элементов задачи и достигает решения. Исторически первый из подобных механизмов — «антиципирующий комплекс» О. Зельца. По мнению ученого, условия и требование задачи вместе с методом решения («схемой понимания или осознания отношений»), содержащемся в памяти субъекта-решателя, создают комплекс с незаполненной позицией — местом будущего решения.

В нашей стране концепцию целесообразных мыслительных процессов представляют С. Л. Рубинштейн, А. В. Брушлинский и др. За рубежом развита теория задачного пространства Г. Саймона и А. Ньюэлла [117; 118] — авторитетная концепция для процессов решения хорошо определенных задач. Ее основные положения: задача — это два отличающихся состояния: исходное и целевое; для всякой задачи существуют альтернативы; переход между состояниями обеспечивается процедурами-операторами; процесс решения — поиск пути от исходного к целевому состоянию; решатели применяют разные способы поиска необходимой цепочки промежуточных состояний.

С. Медник [119] разработал ассоциативную теорию творчества. Он полагает неадекватным деление познавательного акта на конвергентную и дивергентную составляющие и заменяет дивергенцию актуализацией отдаленных областей смыслового пространства. Творческий процесс рассматривается как создание новых комбинаций из ассоциативных элементов (рис. 31, в). Решение задачи креативнее, если эти элементы взяты из наиболее отдаленных областей. Таким образом, креативность, по С. Меднику, — способность субъекта преодолевать стереотипы и широта его ассоциативного поля.

Несмотря на популярность, основные возражения против данного подхода сформулированы К. Дункером, упрекавшим О. Зельца в изучении не настоящих, а «уже решенных» задач.

*Структурные (целостные, функциональные) мыслительные механизмы.* Их основные идеи сформулированы гештальтпсихологами, в первую очередь К. Дункером, в 1910—1920-е гг. Суть мыслительных механизмов, по К. Дун-

керу, состоит в том, что субъект создает целостную картину проблемной ситуации (*SP*), причем она может переструктурироваться, что влечет за собой и изменение зоны поиска. Задача предстает для субъекта новой стороной, и он может по-новому подойти к решению. Это внезапное переструктурирование видения субъектом задачи часто сопровождается сильным эмоциональным всплеском — инсайтом. По К. Дункеру, мышление — процесс, который посредством инсайта (понимания) проблемной ситуации (*S, P*) приводит к адекватным ответным действиям. Гештальтпсихологи установили законы «хорошей формы», к которой стремится перцептивный образ: близости, сходства, непрерывности и замкнутости. Выявить законы переструктурирования видения субъектом задачи М. Вертхаймеру, В. Келеру и К. Дункеру не удалось.

Современная структурная психологическая традиция С.Э. Полякова утверждает, что главное отличие человеческой психики от психики животных — способность создавать и использовать для представления «реальности в себе» символические репрезентации: понятия (концепты) и конструкции из них [27]. Ф.Н. Джонсон-Лэрд, философ языка и мышления, использует в своих работах понятия психических или умственных моделей.

Сенсорная полимодальная модель-репрезентация конкретного предмета, по С.Э. Полякову, — устойчивое множество ассоциированных образов воспоминания и представления данного ресурса-предмета, а также воспоминаний и представлений ощущений разной модальности, вызванных им в прошлом [27]. Модель-репрезентация предмета существует в сознании субъекта как некая психическая сущность, некое чувственное знание о ресурсе и его окружении, наконец, как сам этот предмет и занимает определенный «объем» в Модели Мира — глобальной модели-репрезентации физической реальности у субъекта. Ее элементы выступают как части некой целостности, гештальта, имеющего дополнительное качество.

В.Н. Пушкин предполагает, что в процессе решения сложной задачи в мозгу субъекта возникает информационная динамическая модель проблемной ситуации, состоящая из элементов решения задачи, отраженных мозгом в их связях и взаимоотношениях. В результате динамического взаимодействия в нервных клетках мозга устанавливаются новые связи и отношения между элементами проблемной ситуации, что и приводит к решению задачи. Понятие мозговой информационной модели ситуации является основным не только в эвристике, но и во всей психологии в целом. Субъект, решающий задачу, вырабатывает план, стратегию деятельности на основе построения, модели, отображения ситуации [96]. Немецкий ученый К. Штейнбух, один из основателей информатики, ввел термин «внутренняя модель внешнего мира», а В.М. Глушков — «информационная модель действительности». Н.А. Берштейн указывал, что задача — закодированное в мозгу отображение или модель потребного будущего.

*Мыслительные механизмы решения проблем.* Решение проблем субъектом деятельности — сложный и многосторонний процесс, а исследование его

психологических механизмов по открытым публикациям сильно ограничено, в том числе и по причине близкого содержания англоязычных трактовок концептов *задача* и *проблема*. К таким механизмам относят самоопределение решателя и изменение представления проблемы (ее переработка) в ходе решения [89].

*Самоопределение решателя.* Поскольку субъект — принципиальная часть проблемы, понятие «самоопределение» раскрывает собственную позицию индивидуального или группового субъекта-решателя, а также специальную интеллектуальную работу, которую он проводит по выбору и построению этой позиции. Наиболее яркий пример организации такой интеллектуальной деятельности — механизм латерального (взвешенного) мышления [120; 121] — метод Э. де Боно, созвучный притче о Старом Шляпнике [17], для разрешения сложных проблем мобилизацией скрытых в субъекте творческих возможностей, преодолением беспорядочного, стихийного течения мыслей. Латеральное мышление уже творческого мышления и касается видоизменения устоявшихся понятий и точек зрения — коллекции моделей поведения и стереотипов мышления, сложившихся в процессе накопления жизненного и профессионального опыта. Обращающийся к латеральному мышлению субъект сознательно «расчленяет» единую схему на части, создавая условия внезапного озарения. Поскольку враг мышления — неструктурированность, смешение мыслей, важно разложить мышление на составные части и давать возможность в каждый момент времени обращаться к одному сознательно выбранному типу мышления, а не использовать их одновременно.

Метод «шести мыслеварительных шляп» регламентирует правила «игры в человека, думающего именно так», или «игры в предлагаемый образ мыслей», игры для обретения навыка картографирования отношения к проблемной ситуации. Надевая шляпу, субъект придает мыслям форму, цвет каждой шляпы связан с ее назначением (рис. 32).



а



б

Рис. 32. Рисунок американского художника С. Левина (Пусть заедает суета и угрожает стресс, но дама в шляпке, господя, совсем не та, что без... (<https://sitella.livejournal.com>)) (а); символизм метода «шести шляп мышления» Э. де Боно для самоопределения субъекта деятельности (б)

В любой момент он по своему усмотрению может менять мыслешляпы, меняя при этом и формируемый каждой из них образ собственных мыслей.

Белая шляпа — шляпа, белая как снег и беспристрастность. Образ мыслей, определяемый белой шляпой, — удобный способ обмена объективными и беспристрастными цифрами и фактами, четкого разграничения факта от экстраполяции и объяснения, различия убеждений от проверенных фактов. Мышление субъекта в белой шляпе — это дисциплина и самоконтроль, полная беспристрастность и объективность.

Красная шляпа погружает субъекта деятельности в океан страстей и эмоций. Этот головной убор дает «официальное разрешение» субъекту выражать чувства и освобождает от оправданий за несдержанность. Поскольку лексические единицы языка обладают устойчивой эмоциональной окраской, без красной шляпы субъект был бы ограничен и в употреблении более (но в меру) весомых выражений и слов, дополняемых выражением своего лица и тоном голоса.

Черная шляпа — критический настрой и индугенция на сомнения. Надевший черную шляпу субъект занят поисками того, что в данном предложении неправильно, нуждается в доработке или просто ошибочно. Он критик, в определенном смысле разрушитель, а не творец.

Желтая шляпа — шляпа, желтая как солнце, источник позитивных ожиданий, символ стремления выполнить план, символ плодотворного, конструктивного и созидательного подхода. Мышление субъекта в желтой шляпе отвечает за «порождение» конструктивных идей и радужных перспектив.

Зеленая шляпа — символ плодородия, роста и творческого вдохновения. Она призвана обеспечить субъекту творческий настрой и целенаправленный поиск альтернатив, заставляет его выйти за рамки привычного, очевидного и заведомо удовлетворяющего результата.

Синяя шляпа символизирует контроль и организованность дирижера симфонического оркестра, определяет порядок вступления в общий хор других мыслеварительных шляп, очерчивает границы фокусного пространства субъекта деятельности.

*Преобразование (переструктурирование) репрезентации проблемы.* Поскольку проблему отличает сложность структуры и состава, субъект деятельности не может держать ее в фокусе внимания и понимания в полном объеме. Поэтому в ходе решения проблема замещается субъективным аналогом — представлением (моделью) проблемной ситуации — осмысленной, относительно устойчивой мыслительной конструкцией субъекта-решателя, направляющей и упорядочивающей процесс решения [122].

В.Н. Пушкин раскрывает суть этого психологического механизма для случая, когда у субъекта есть опыт, не позволяющий решить проблему. Механизм состоит в том, что, анализируя условия данного случая, субъект создает новую, не имевшуюся у него ранее в голове схему действий — оперативно-информационную модель дискретной совокупности сущностей-эле-

ментов, отражающихся как единое целое. Остальные элементы ситуации становятся фоном. В процессе преодоления проблемы субъект последовательно, одну за одной создает различные модели ситуации. Это последовательное построение субъектом психологических сущностей — оперативно-информационных моделей — и составляет внутренне содержание эвристической деятельности по переструктурированию проблемы [96].

В рамках такой оперативно-информационной модели совмещаются разнообразные предметы (ресурсы, время, мотивы, эмоции, установки и т. д.), из которых строится проблемная ситуация. При этом в ней контрастируются одни моменты и маскируются другие. В ходе успешного решения представление претерпевает значимые изменения, затрагивающие его содержание, структуру и способ организации. При этом проблема преобразуется в набор связанных задач (декомпозицию) — совокупность целей и подцелей, последовательное или параллельное достижение которых приводит к успеху. Качество решения проблемы напрямую зависит от качества декомпозиций, в которые субъекту деятельности удается ее преобразовать (построение такой системы для конкретной проблемной ситуации называется планированием). Именно наличие декомпозированного представления — достаточно четкой и разветвленной системы задач — необходимый атрибут решенной проблемы. Это подтверждают результаты психологических экспериментов [89]: представление о проблемной ситуации у опытных субъектов-решателей более дифференцировано, чем у новичков. Они выделяли значимо больше элементов проблемной ситуации: готовые и предметные решения-действия, подзадачи и типовые решения. У неопытных решателей представление складывается из описания затруднений и не связанных друг с другом «рецептов» по их преодолению. У экспертов представление проблемы — сложная психологическая конструкция, иерархически выстроенная система задач и обслуживающих их подзадач, которые прямо предполагают средства их решения.

В итоге представление решенной проблемной ситуации у субъекта деятельности оказывается декомпозированным — состоящим из набора задач (подзадач) и связанных с ними способов решения.

### **13. Автоматические партнеры субъекта оперативного управления процессами и объектами с высокой пространственно-временной динамикой в электроэнергетике: применение когнитивных гибридных интеллектуальных адаптивных систем управления**

Высокая скорость протекания аварийных процессов исключает возможность участия субъекта в управлении электросетями, «пилотируемыми» пространственно-распределенными локальными защитами и автоматами. Работа оператора-диспетчера региональных электросетей схожа скорее с дирижером (регулирующим, художественным руководителем, интерпретатором, автором прочтения музыки и диктатором) оркестра музыкантов-исполнителей, за которыми он наблюдает дистанционно на экране, впрочем, и они его жесты видят и понимают опосредованно техникой и технологиями (рис. 33).

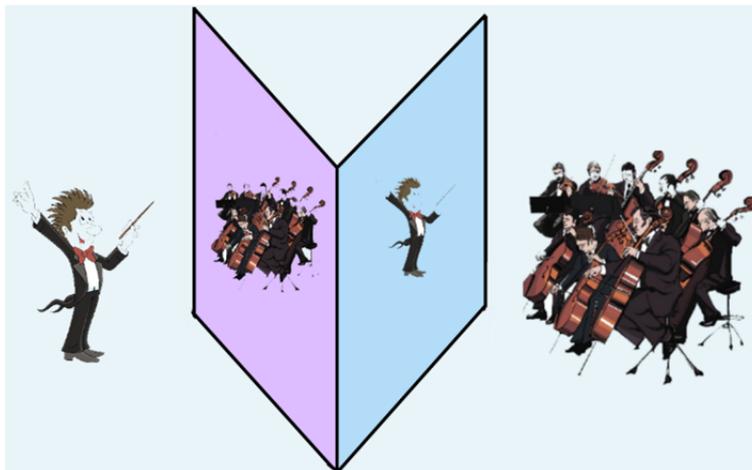


Рис. 33. Субъект оперативного управления региональными электросетями в метафоре «дирижер оркестра музыкальных исполнителей» (навеяно фильмом о системном операторе ЕЭС РФ «Симфония «Энергия № 50 Гц» — [123])

Тенденции XXI в.: цифровое дистанционное автоматизированное управление объектами электроэнергетики [124], умные сети электроснабжения, интеллектуальная электроэнергетика, активно-адаптивные сети — убедительно показывают, что: 1) аддитивная математика достигла принципиального предела продвижения к описанию системных, синергетических эффектов реальности, и можно говорить только о сбережении накопленных ею и автоматикой знаний о «пилотировании» электросетей; 2) математические модели должны сотрудничать с эвристическими знаниями и накопленным опытом человека-оператора в гибридных и синергетических системах как в локализованных на цифровых распределительных подстанциях, секционированных линиях электропередачи с использованием интеллектуальной силовой электроники, так и в качестве «автоматических партнеров» оперативных работников для совместного решения задач и проблем управления процессами на доступных человеческому восприятию, обдумыванию и реагированию временных интервалах.

Деятельность субъекта-разработчика «автоматического партнера», по Р. Шенку [125], или «амплинус-партнера» (амплинус — от лат. *amplifico* — увеличивать, усиливать и др.-греч. *νοῦς* — мысль, разум, ум), субъекта оперативного управления региональными электросетями рассматривается в контексте интегрированных интеллектуальных систем, по Г. В. Рыбиной [126], и эволюции структур систем управления, по Д. А. Поспелову и А. В. Колесникову [5; 46], как когнитивных гибридных интеллектуальных адаптивных систем управления на рисунке 34, а.



Рис. 34. Схема когнитивной гибридной интеллектуальной адаптивной системы оперативного управления (а); конфигуратор элементов гибрида (б)

Остановимся на отличительных особенностях схемы на рисунке 34. Таких несколько: 1) добавлены блок «Семiotическая модель концептосферы Модели Мира субъекта деятельности», категориальный базис которого рассмотрен в разделе 4, интегрированная многоуровневая схема — в разделе 5, динамика процессов — в разделе 6; 2) конфигуратор элементов гетерогенного модельного поля пополнен символьными знаниями о прецедентах решения однородных задач и системами, имитирующими рассуждения на прецедентах, знаниями о графических задачах, по Дж. Брунеру [127], в частности актуальными для субъекта оперативного управления представлениями о пространственно-временных свойствах и отношениях: геоделами; «визуальными переменными» графической семиологии Ж. Бертена [45]: форма, размер, текстура, цвет, ориентация и контраст; в конфигуратор добавлены геоинформационные системы; 3) добавлен блок-интерпретатор двухзвенной модели имитации мыслительных механизмов субъекта деятельности на Модели Мира: понимания когнитивного и оперативного образов проблемной ситуации (поступивших по каналу обратной связи) и высказывания предметного действия в объект оперативного управления (по каналу прямой связи).

На рисунке 35 показан пример реализации по схеме когнитивной гибридной интеллектуальной адаптивной системы оперативного управления региональной электросетью с автоматическим партнером, помогающим субъекту «узнать», «понять», «запомнить», «оценить ситуацию», «найти решение» и «проверить исполнение». В ней наряду с традиционными аппаратно-програм-

мными комплексами, отображающими на видеостенах информационную модель объекта оперативного управления, например СК-11, и новыми технологиями, например ситуационной технологией «Поднял глаза и все понял» SitVision Л. С. Штейнбока [81], для субъекта оперативного управления на ситуационном экране демонстрируются интегрированные, когнитивно-визуальные образы событий, ситуаций, состояний и режимов с целью обеспечения мгновенной оценки субъектом ситуаций и состояний, их динамики в условиях больших объемов непрерывно поступающей информации и снижения риска возникновения аварий.

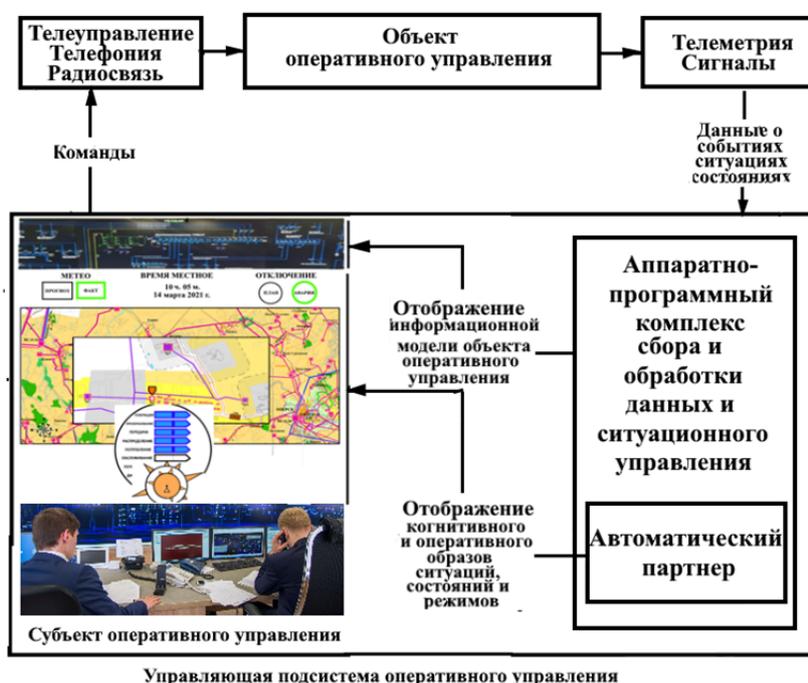


Рис. 35. Пример реализации по схеме когнитивной гибридной интеллектуальной адаптивной системы оперативного управления региональной электросетью с автоматическим партнером

Семиотическая модель концептосферы Модели Мира субъекта деятельности качественно улучшает искусственные интеллектуальные рассуждения за счет двухзвенной модели процесса поддержки принятия решений, интегрирующей чувственное и рациональное, единичное и всеобщее; способности в той или иной мере предугадывать развитие событий, результатов действий, явлений; презентации субъекту-оператору объекта оперативного управления в многообразии свойств и отношений при сохранении ясности картины для осознания части содержания при переходе от одного действия к другому. Пространственное моделирование и ПИИ-кодирование средствами когнитив-

ной семиотики и геоинформатики делает невидимое при «дирижировании электросетевым оркестром» не просто видимым, а локативно видимым, контрастным относительно с расположением статических и динамических ресурсов, наконец, ситуативно видимым, что способствует мгновенному пониманию особенностей текущей ситуации и ускоренной выработке оперативных действий с ресурсами по ликвидации возникших изменений и нарушений.

### Заключение

Спустя 21 год с выхода в издательстве Санкт-Петербургского государственного технического университета (ныне Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого) книги «Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки» и по результатам успешно проведенных Калининградской школой искусственного интеллекта шести Всероссийских Поспеловских конференций «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы», направленных на преодоление одного из вызовов XXI в., когда, несмотря на разнообразие инструментариев с заметно улучшившимся качеством и возросшей квалификацией разработчиков написать интеллектуальную систему, помогающую решать все усложняющиеся практические задачи, становится труднее и труднее, возникла потребность как единое целое осознать и изложить теоретические, методологические и технологические наработки по логико-лингвистическому и предметно-изобразительному подходам к гибридизации в информатике и представить их в свете современных тенденций и терминов когнитивной науки: когнитивных психологии и лингвистики, инженерной психологии, информатики и искусственного интеллекта.

Для этого приведены результаты исследований информационной среды технологии гибридных интеллектуальных систем как отражения Модели Мира субъекта деятельности по разработке и применению методов гибридных интеллектуальных систем в приложениях автоматических партнеров субъекта оперативного управления объектами с высокой пространственно-временной динамикой в региональных электрических сетях.

Существенно доработаны категоризация и концептуализация информационной среды в ее интегрированной и многоуровневой схеме. Добавлены модели: Мир событий и ситуаций, Мир планирования деятельности, Мир личностей субъектов-решателей (Мир эмоций, мотивов, установок, и целей), рассмотрена динамика Модели Мира субъекта деятельности и дан аналитический обзор психологических механизмов решения задач и проблем в Мире решения задач и проблем.

Построена семиотическая модель концептосферы Модели Мира и выполнено моделирование смешанных чувственно-вербальных психических конструкций «задача» и «проблема», «цель управления», «фаза управления» и «жизненный цикл управления».

Как результат эволюции структур систем управления, по Д. А. Поспелову, анонсированы когнитивные гибридные интеллектуальные адаптивные системы управления с семиотической моделью концептосферы Модели Мира и двухзвенной моделью имитации мыслительных механизмов субъекта деятельности при решении сложных задач, что повышает качество интеллектуальных информационных систем управления высокодинамичными объектами, где требуется «узнать», «понять», «запомнить», «оценить ситуацию», «найти решение» и «проверить исполнение»: центров управления электрическими сетями, пилотируемых и беспилотных летательных аппаратов, радиолокационных станций, корабельных боевых информационно-управляющих систем и других.

### Список литературы

1. Кутейников Д.Л., Ижаев О.А., Зенин С.С., Лебедев В.А. Киберфизические, кибербиологические и искусственные когнитивные системы: сущность и юридические права // Российское право: образование, практика, наука. 2019. №3. С. 75—81.
2. Соменков С.А. Искусственный интеллект от объекта к субъекту? // Вектор юридической науки. Вестник университета им. О.Е. Кутафина. 2019. №2. С. 75—85.
3. Считается, что водитель априори виновен. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/3075951> (дата обращения: 17.12.2021).
4. Карелов С. Фиаско ИИ против COVID-19 GeoGebra. URL: <https://sergey-57776.medium.com/фиаско-ии-против-covid-19-a6ce228a5d37> (дата обращения: 17.12.2021).
5. Колесников А.В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки / под ред. А.М. Яшина. СПб. : Изд-во СПбГТУ, 2001.
6. Финн В.К. Искусственный интеллект: идейная база и основной продукт // Искусственный интеллект-2004 : тр. IX национальной конф. с междунар. участием : в 2 т. Т. 1. С. 11—20.
7. Колесников А.В., Кириков И.А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М. : ИПИ РАН, 2007.
8. Поспелов Д.А., Пушкин В.Н. Мышление и автоматы. М. : Советское радио, 1972.
9. Бричковский В.И., Мицкевич В.В. Модель мира: статика и динамика. Использование статической части модели при создании систем искусственного интеллекта. URL: <http://protomodel.ucoz.ru/publ/1-1-0-10> (дата обращения: 17.12.2019).
10. Осипов Г.С., Чудова Н.В., Панов А.И., Кузнецова Ю.М. Знаковая картина мира субъекта поведения. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2018.
11. Колесников А.В. Модель Мира в естественных и искусственных интеллектуальных гетерогенных системах // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. V Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2020. С. 28—74.
12. Ракитов А.И. Информация, наука, технология в глобальных исторических изменениях. М. : Директ-Медиа, 2014.
13. Шрейдер Ю.А. Информационные процессы и информационная среда // Научно-техническая информация. Сер. 2. Информационные процессы и системы. 1976. №1. С. 3—6.

14. *Модельный закон «О международном информационном обмене (принят постановлением Межпарламентской Ассамблеи государств — участников СНГ 26 марта 2002 г. №19-7)*. Доступ из справ.-правовой системы «Гарант».
15. *Рахматова С. Т., Хужаназарова С. Н.* Сущностная характеристика понятий информационные технологии, информатизация образования // *Ученый XXI в.* 2016. №3-4 (16). С. 16—18.
16. *Бурдаев М. Н., Емельянова Ю. Г., Хачумов В. М.* Когнитивная машинная графика в системах космического и медицинского назначения. М. : ЛЕНАРД, 2019.
17. *Колесников А. В.* Функциональные гибридные интеллектуальные системы визуального управления // *Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. IV Всерос. Пospelовской конф. с междунар. участием.* Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. С. 18—81.
18. *Колесников А. В., Солдатов С. А.* Предметно-изобразительные представления пространственных отношений в моделях мира когнитивных гибридных интеллектуальных систем // *Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сб. науч. тр. X Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 т.* Смоленск : Универсум, 2021. Т. 1. С. 129—152.
19. *Hutchins E.* *Cognition in the wild.* Cambridge, MA : MIT Press, 1995.
20. *Венда В. Ф.* Системы гибридного интеллекта: Эволюция, психология, информатика. М. : Машиностроение, 1990.
21. *Umbach G., Kantak P., Jacobs J. et al.* Time cells in the human hippocampus and entorhinal cortex support episodic memory // *Proceedings of the National Academy of Science.* 2020. Vol. 117, №25. P. 28463—28474.
22. *Nilsen R. E.* How the Brain Experiences Time // *Neuroscience.* 2018. August 29. URL: <http://neurosciencenews.com/time-perception-9771> (дата обращения: 17.12.2021).
23. *Гибсон Дж.* Экологический подход к зрительному восприятию. М. : Прогресс, 1988.
24. *Miller G. A.* The organization of lexical memory: Are word association sufficient? // *The pathology of memory.* N. Y., 1969.
25. *Paivio A.* *Mental representations: a dual coding approach.* Oxford : Oxford University Press, 1986.
26. *Нейссер У.* *Познание и реальность.* М. : Прогресс, 1981.
27. *Поляков С. Э.* *Концепты и другие конструкции сознания.* СПб. : Питер, 2017.
28. *Arnheim R.* *Visual thinking.* Berkeley ; Los Angeles ; L. : University of California Press, 1969.
29. *Леви-Брюль Л.* *Сверхъестественное в первобытном мышлении.* М. : Педагогика-Пресс, 1994.
30. *Тулвисте П.* *Культурно-историческое развитие вербального мышления (психологическое исследование).* Таллин : Валгус, 1988.
31. *Ошанин Д. А.* *Предметное действие и оперативный образ: Избранные психологические труды.* М. : Московский психолого-социальный институт ; Воронеж : НПО «МОДЭК», 1999.
32. *Follett M. P.* *Prophet of Management.* Boston : Harvard Business School Press, 1995.
33. *Друкер П. Ф.* *Практика менеджмента.* М. : Манн, Иванов и Фербер, 2015.
34. *Пospelов Д. А.* *Ситуационное управление: Теория и практика.* М. : Наука, 1986.

35. *Клыков Ю. И.* Ситуационное управление большими системами. М. : Энергия, 1974.
36. *Интеллектуальные системы автоматического управления* / под ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2001.
37. *Жинкин Н. И.* Речь как проводник информации. М. : Наука, 1982.
38. *Смит Н.* Современные системы психологии / пер. с англ. ; под общ. ред. А. А. Алексеева. СПб. : ПРАЙМЕВРОЗНАК, 2003.
39. *Грановская Р. М.* Психологическая защита. СПб. : Речь, 2010.
40. *Пономарев Я. А.* Знания, мышление и умственное развитие. М. : Педагогика, 1967.
41. *Пономарев Я. А.* О понятии «психологический механизм решения творческих задач» // Психология творения. М. ; Воронеж, 1999. С. 286—304.
42. *Матюшкин А. М.* Психология мышления. Мышление как разрешение проблемных ситуаций. М. : КДУ, 2009.
43. *Попова З. Д., Стернин И. А.* Семантико-когнитивный анализ языка. Воронеж : Истоки, 2007.
44. *Гельфандбейн Я. А., Колесников А. В., Рудинский И. Д.* Семиотико-статистическая модель поведения транспортного узла // Вопросы кибернетики. М. : Изд-во Научного совета по комплексной проблеме «Кибернетика» при Президиуме АН СССР, 1983. Вып. 100. С. 40—49.
45. *Bertin J.* Semiology of Graphics: diagrams networks maps / transl. by W. J. Berg. N. Y. : Esri Press, 2011.
46. *Поспелов Д. А.* Логико-лингвистические модели в системах управления. М. : Энергоиздат, 1981.
47. *Косслин С. М.* Мысленные образы // Когнитивная психология: история и современность : хрестоматия / пер. с англ. ; под ред. М. Фаликмана, В. Спиридонова. М. : Ломоносовъ, 2011. С. 97—109.
48. *Шепард Р. Н., Метцлер Дж.* Мысленное вращение трехмерных объектов. М. : Наука, 1971. С. 701—703.
49. *Шепард Р., Купер Л.* Ментальные образы и их трансформации. Cambridge, MA : MIT Press, 1982.
50. *Ришар Ж. Ф.* Ментальная активность. Понимание, рассуждение, нахождение решений / сокр. пер. с фр. Т. А. Ребеко. М. : Институт психологии РАН, 1998.
51. *Деглин В. Л.* Лекции о функциональной асимметрии мозга человека. Амстердам ; Киев : Ассоциация психиатров Украины, 1996.
52. *Уемов А. И.* Вещи, свойства, отношения. М. : Изд-во ин-та философии АН СССР, 1963.
53. *Колесников А. В., Листонад С. В.* Концептуально-визуальные основы виртуальных гетерогенных коллективов, поддерживающих принятие решений // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. III Всерос. Пospelовской конф. с междунар. участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2016. С. 8—56.
54. *Григорьева Т. П.* Китай, Россия и Всечеловек. М. : Новый Акрополь, 2011.
55. *Леонтьев А. Н.* Деятельность. Сознание. Личность. М. : Политиздат, 1975.
56. *Родари Дж.* Грамматика фантазии. М. : Самокат, 2022.
57. *Колесников А. В., Румовская С. Б., Ясинский Э. В., Барзенков А. В.* Интеллектуализация оперативно-технологического управления региональной электроэнергети-

кой методами когнитивных гибридных интеллектуальных систем. Часть 3 // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. 2021. №3. С. 43—65.

58. Колесников А. В., Румовская С. Б., Ясинский Э. В. Интеллектуализация оперативно-технологического управления региональной электроэнергетикой методами когнитивных гибридных интеллектуальных систем. Часть 4 // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Физико-математические и технические науки. 2021. №4 (в печати).

59. Леонтьев А. Н. Потребности, мотивы и эмоции. М. : Изд-во МГУ, 1971.

60. Фоминых И. Б. Инженерия образов, творческие задачи, эмоциональные оценки // Онтология проектирования. 2018. Т. 8, №2 (28). С. 175—189.

61. Миненко А. С., Семенова А. П. Формальная модель эмоций // Проблемы искусственного интеллекта. 2018. №3 (10). С. 84—92.

62. Тихомиров О. К. Психология мышления / 3-е изд. стер. М. : Академия, 2007.

63. Калентионок Е. В. Оперативное управление в энергосистемах : учеб. пособие / под общ. ред. В. Т. Федина. Минск : Выш. шк., 2007.

64. Лукьянова Л. М. Язык представления цели в системе поддержки целеполагания // Вестник Санкт-Петербургского университета. 2005. Сер. 9, вып. 4. С. 68—79.

65. Лукьянова Л. М. Моделирование анализа и полагания целей в сложных системах // Вестник РГУ им. И. Канта. 2006. Вып. 10. Физико-математические науки. С. 26—36.

66. Ершова И. В., Минеева Т. А., Черепанова Е. В. Оперативно-производственное планирование : учеб. пособие. Екатеринбург : Изд-во Уральск. ун-та, 2016.

67. СТО 70238424.29.240.01.008-2009 ГОСТ «Электрические сети. Ремонт и техническое обслуживание оборудования, зданий и сооружений. Организация производственных процессов. Нормы и требования». М., 2009.

68. Лурия А. Р. Язык и сознание. М. : Изд-во МГУ, 1979.

69. Arsalidou M., Pascual-Leone J., Johnson J., Kotova T. The Constructive Operators of the Working Mind: A Developmental Account of Mental — Attentional Capacity // The Russian Journal of Cognitive Science. 2019. Vol. 6 (2). P. 44—70.

70. Маслоу А. Психология бытия. М. : Рефл-бук, 1997.

71. Тихомиров О. К. Психологические исследования интеллектуальной деятельности. М. : Изд-во МГУ, 1979.

72. Пенроуз Р. Тени разума: в поисках науки о сознании / пер. с англ. А. Р. Логунова, Н. А. Зубченко. М. ; Ижевск : Институт компьютерных исследований, 2005.

73. Аристотель. Категории / под ред. З. Н. Микеладзе // Аристотель. Соч. : в 4 т. М. : Мысль, 1978. Т. 2. С. 66—72.

74. Микешина Л. А. Философия науки: современная эпистемология. Научное знание в динамике культуры. Методология научного исследования : учеб. пособие. М. : Прогресс-Традиция ; Флинта ; МПСИ, 2005.

75. Осипов Г. С. Приобретение знаний интеллектуальными системами. Основы теории и технологии. М. : Наука ; Физматлит, 1997.

76. Колычев П. М. Категория соотношения. СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2006.

77. Колесников А. В., Румовская С. Б., Ясинский Э. В. Язык предикативного кодирования словесно-вербальных знаний о ресурсах, свойствах, действиях, структурах, состояниях и режимах интеллектуального оперативно-технологического управления системами с высокой динамикой // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. V Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2020. С. 136—155.

78. *Kolesnikov A. V., Rumovskaya S. B., Jasinski E. V., Soldatov S. A.* Research prototype of the cognitive decision support system for information preparation of decisions of the complex problem of monitoring situations and the state of a control object in systems with high spatio-temporal dynamics // 4<sup>th</sup> International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency SUMMA-2021. Lipetsk : IEEE, 2021. P. 921—926.

79. *Колесников А. В., Солдатов С. А.* Предметно-изобразительные представления пространственных отношений в моделях мира когнитивных гибридных интеллектуальных систем // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сб. науч. тр. X Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. Смоленск : Универсум, 2021. Т. 1. С. 129—152.

80. *Зыков А. А.* Гиперграфы // УМН. 1974. Т. 29, вып. 6 (180). С. 89—154.

81. *Штейнбок Л. С.* Ситуационная технология отображения информации. М. : Научные технологии, 2017.

82. *Колесников А. В., Румовская С. Б., Ясинский Э. В.* Предметно-изобразительные представления знаний в технической семиотике и искусственном интеллекте: изографы // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. V Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А. В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2020. С. 155—218.

83. *Параметры Земли 1990 г.* ПЗ-90.11. М. : «27 ЦНИИ» Минобороны РФ, 2014.

84. *Руководство по Всемирной геодезической системе — 1984 (WGS-84).* Doc 9674. AN/946. 2-е изд. М. : Международная организация гражданской авиации, 2002.

85. *Боумен У.* Графическое представление информации / пер. с англ. А. М. Пашутина ; под ред. В. Ф. Венда. М. : Мир, 1971.

86. *Холл М.* Комбинаторика. М. : Мир, 1970.

87. *Колесников А. В., Румовская С. Б., Солдатов С. А., Ясинский Э. В.* Пространственное моделирование ресурсов, событий и ситуаций в сложных динамических системах методами и инструментальными средствами когнитивной семиотики и геоинформатики // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте : сб. науч. тр. X Междунар. науч.-техн. конф. : в 2 т. Смоленск : Универсум, 2021. Т. 1. С. 348—368.

88. *Генеральные планы муниципальных образований. Озерский городской округ.* URL: [https://gov39.ru/vlast/agency/aggradostroenie/genplans/09\\_ozersk/](https://gov39.ru/vlast/agency/aggradostroenie/genplans/09_ozersk/) (дата обращения: 17.12.2021).

89. *Спирidonov В. Ф.* Психология мышления: Решение задач и проблем. М. : Генезис, 2006.

90. *Фридман Л. М.* Основы проблемологии. 2-е изд., испр. и перераб. М. : URSS, 2009.

91. *Власов В. В.* Общая теория решения задач (рациология). М. : Изд-во ВЗПИ, 1990.

92. *Петухов В. В.* Психология мышления. М. : Изд-во МГУ, 1998.

93. *Эсаулов А. Ф.* Психология решения задач. М. : Высшая школа, 1972.

94. *Балл Г. А.* Теория учебных задач. М. : Педагогика, 1990.

95. *Беленецкая О.* Задачи Владимира Арнольда // В мире науки. 2018. №4. С. 27—31.

96. *Пушкин В. Н.* Эвристика — наука о творческом мышлении. М. : Политиздат, 1967.

97. Колягин Ю. М. Задачи в обучении математики. М. : Просвещение, 1977. Ч. 1.
98. Tarasova E. P. Models of Academic Pursuits // European researcher. 2012. №2 (17). P. 209—212.
99. Далингер В. А. Методика обучения математике. Когнитивно-визуальный подход. М. : Юрайт, 2022.
100. Жуковский В. И. Визуальное мышление о структуре научного познания. Красноярск : Изд-во Краснояр. ун-та, 1988.
101. Программное обеспечение GeoGebra. URL: <https://www.geogebra.org/> (дата обращения: 17.12.2021).
102. Попов Н. И., Яковлева Е. В. Использование метода схематизации при обучении студентов и школьников математике // Вестник Сыктывкарского университета. Сер. 16: Математика. Механика. Информатика. 2020. Вып. 4 (37). С. 73—87.
103. Кириков И. А., Колесников А. В. и др. Мелкозернистые гибридные интеллектуальные системы. Ч. 2: Двухнаправленная гибридизация // Информатика и ее применения. 2016. Т. 10, вып. 1. С. 895—105.
104. Венгер Л. А., Агаева Е. Л., Бардина Р. И. и др. Психолог в детском саду. М. : ИНТОР, 1995.
105. Дахин А. Н. Когнитивная гармония математики // Народное образование. 2017. №6-7. С. 81—88.
106. Вертгеймер М. Продуктивное мышление / пер. с англ. и общ. ред. С. Ф. Горбова, В. А. Зинченко. М. : Прогресс, 1987.
107. Автоматизация диспетчерского управления в электроэнергетике / под общ. ред. Ю. Н. Руденко, В. А. Семенова. М. : Изд-во МЭИ, 2000.
108. Самсонова М. В., Ефимов В. В. Технология и методы коллективного решения проблем : учеб. пособие. Ульяновск : УлГТУ, 2003.
109. Эбвардс Б. Ты — художник! Минск : Попурри, 2010.
110. Десять наиболее частых проблем качества электроэнергии (описание, причины и последствия). URL: <https://www.elec.ru/publications/peredacha-raspredelenie-i-nakoplenie-elektroenergi/2967/> (дата обращения: 17.12.2021).
111. Хацевский К. В., Денчик Ю. М., Клеутин В. И. и др. Проблемы качества электроэнергии в системах электроснабжения // Омский научный вестник. Электротехника. Энергетика. 2012. №2 (110). С. 212—214.
112. Голдберг Э. Управляющий мозг: Лобные доли, лидерство и цивилизация / пер. с англ. Д. Бугакова. М. : Смысл, 2003.
113. Inguar D. H. «Memory of the future»: an essay on the temporal organization of conscious awareness // Human Neurobiol. 1985. Vol. 4, №3. P. 127—136.
114. Уильям Д. Психология. М. : РИПОЛ классик, 2020.
115. Claparede E. La genese de l'hypothese // Archive de la psychologie. 1933. Vol. XXIV. P. 1—155.
116. Рейтман У. Познание и мышление: Моделирование на уровне информационных процессов. М. : МИР, 1968.
117. Ньюэлл А., Шоу Дж. С., Саймон Г. А. Процессы творческого мышления // Психология мышления. М., 1965. С. 500—530.
118. Newell A., Simon H. A. Human problem solving. Englewood Cliffs (NJ) : Prentice Hall, 1972.
119. Mednick S. A. The associative basis of the creative process // Psychological Review. 1962. Vol. 69, №2. P. 220—232.

120. *Боно Э.* Латеральное мышление : учебник творческого мышления. Минск : Попурри, 2005.

121. *Боно Э.* Шесть шляп мышления. СПб. : Питер Паблишинг, 1997.

122. *Пушкин В.Н.* Оперативное мышление в больших системах. М.: Энергия, 1965.

123. *Фильм о Системном операторе ЕЭС.* URL: <https://www.youtube.com/watch?v=xdsdtQIgQdY/> (дата обращения: 17.12.2021).

124. *Цифровое дистанционное управление объектами электроэнергетики // АО Системный оператор Единой энергетической системы.* URL: <https://www.so-ups.ru/functioning/tech-base/digital-rem-control/> (дата обращения: 17.12.2021).

125. *Schank R. C., Hunter L.* The quest to understand thinking // Byte. 1985. №10 (4). P. 143—155.

126. *Рыбина Г.В.* Интегрированные экспертные системы: современное состояние, проблемы и тенденции // Известия РАН. Теория и системы управления. 2002. №5. С. 111—126.

127. *Брунер Дж. С.* Психология познания. За пределами непосредственной информации / пер. с англ. М. : Прогресс, 1977.

**Секция 1**  
**МЕТОДЫ И МОДЕЛИ ГИБРИДНЫХ**  
**И ИНТЕГРИРОВАННЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ**

---

Руководители секции — проф. А. В. Колесников  
проф. А. П. Еремеев

**С. С. Анцыферов<sup>1</sup>, К. Н. Фазилова<sup>2</sup>**  
<sup>1, 2</sup> МИРЭА — Российский технологический университет (РТУ МИРЭА), Москва, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> c\_standard@fel.mirea.ru, <sup>2</sup> fazilova@mirea.ru

**КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ**  
 **ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ**

**Введение**

Существует широкий класс систем, отличающихся сложным структурным построением и связанных с восприятием и обработкой интенсивных изменяющихся информационных потоков. К ним можно отнести сложные технические системы, научно-производственные и образовательные процессы, рабочие группы, выполняющие ответственные научно-исследовательские работы. Такие системы относятся, как правило, к разряду гибридных интеллектуальных систем. Для обеспечения высокой эффективности функционирования данных систем следует осуществлять непрерывный контроль качества их функционирования, чтобы в случае необходимости принять соответствующие меры, которые могут быть связаны, например, с трансформацией структурного построения той или иной системы. Одним из эффективных способов контроля качества может служить представление системы в виде когнитивной, функционирование которой описывается с помощью нелинейного дифференциального уравнения. Вопросам исследования такого рода систем был посвящен ряд работ [1—3], в частности связанных с разработкой методологии оценки неравновесности когнитивных систем.

Цель работы — создание методики контроля качества функционирования гибридных интеллектуальных систем.

**1. Методика контроля**

Контроль качества функционирования гибридных интеллектуальных систем связан, согласно ранее разработанной методологии [1], с выполнением таких операций, как:

1) установление диапазона допустимых значений вероятностей эффективности функционирования структурных элементов (СЭ)  $\Delta P = P_{max} - P_{min}$ ;

- 2) установление допустимых значений числа СЭ ( $N$ );
- 3) построение зависимости энтропии системы от числа СЭ и вероятности их эффективности  $H(N, P)$ ;
- 4) построение фазовой диаграммы  $H=f(H)$  функционирования системы для ситуации, когда  $\Delta I > 0, \Delta J > 0$ .

Выполнение данных операций позволяет определить фазовые пространства функционирования системы. Для спецификации границ области неравновесности необходимо, используя полученные зависимости  $H(N, P), H=f(H)$ , вычислить  $\Delta H(N), \Delta \dot{H}(N), \Delta L(N)$  (рис. 1). Рисунки 2 и 3 иллюстрируют действие данного алгоритма для  $P=0,7, 0,9; N=5, 7, 10$ .

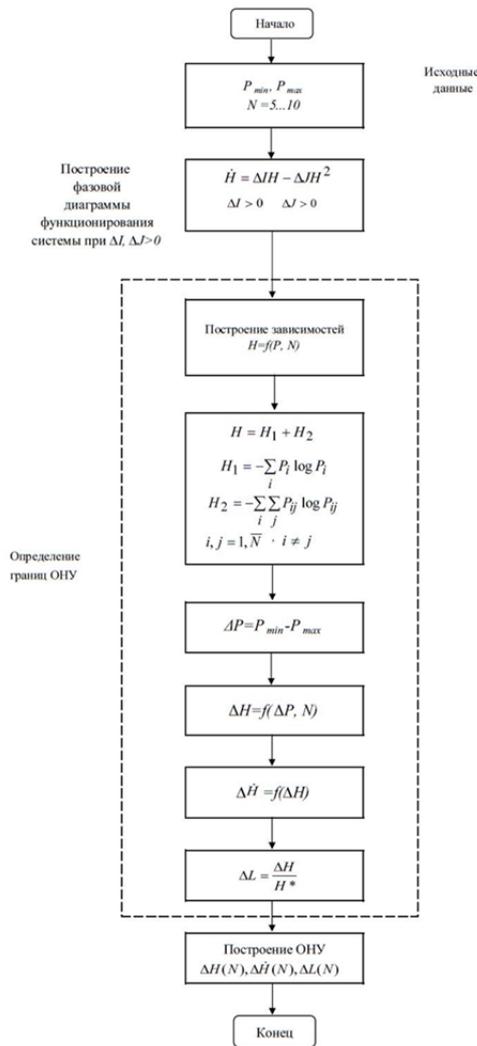


Рис. 1. Структурная схема алгоритма формирования фазового пространства функционирования гибридных интеллектуальных системы

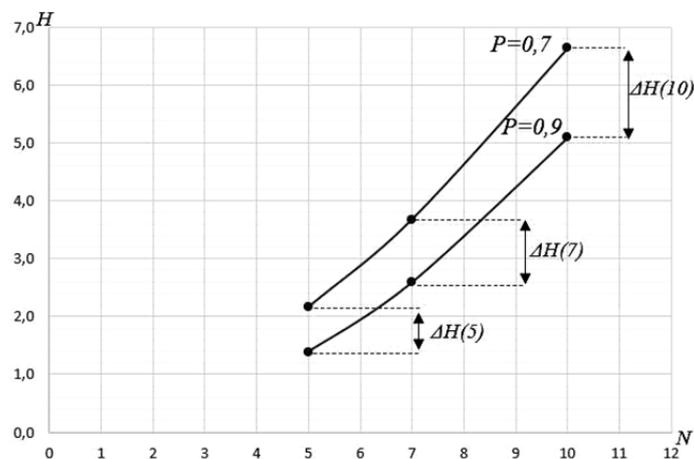


Рис. 2. Зависимость  $H$  от  $P$  и  $N$

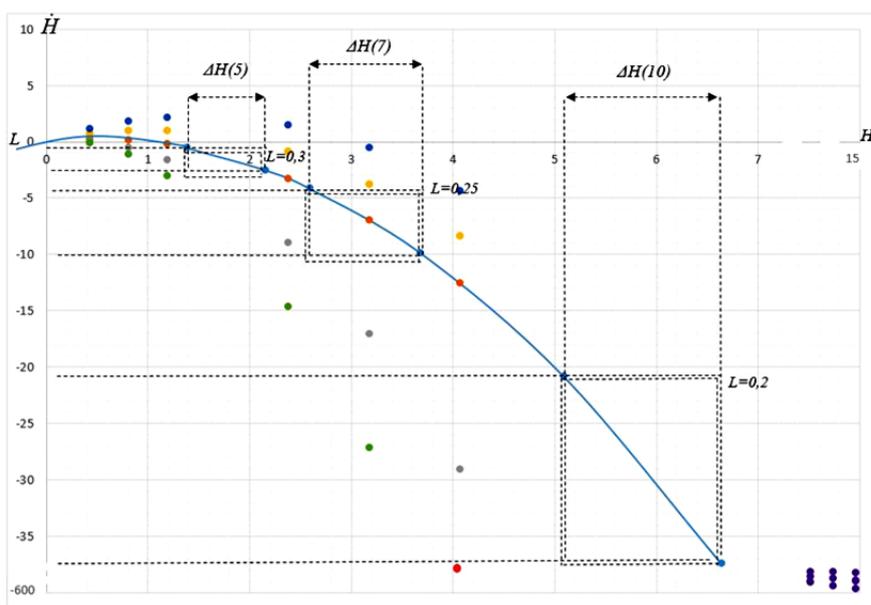


Рис. 3. Положение областей неравновесности в фазовом пространстве

Реальная ситуация моделируется путем случайного задания значений  $P$ ,  $N$ , определением для них значений энтропии  $H$ , значений  $\dot{H}$  и значений  $L$ . По положению точек в фазовом пространстве может осуществляться контроль качества функционирования системы (рис. 4). В случае «выхода» той или иной точки за пределы установленной области поступает сигнал на координирующий блок и, при необходимости, осуществляется трансформация структуры системы.

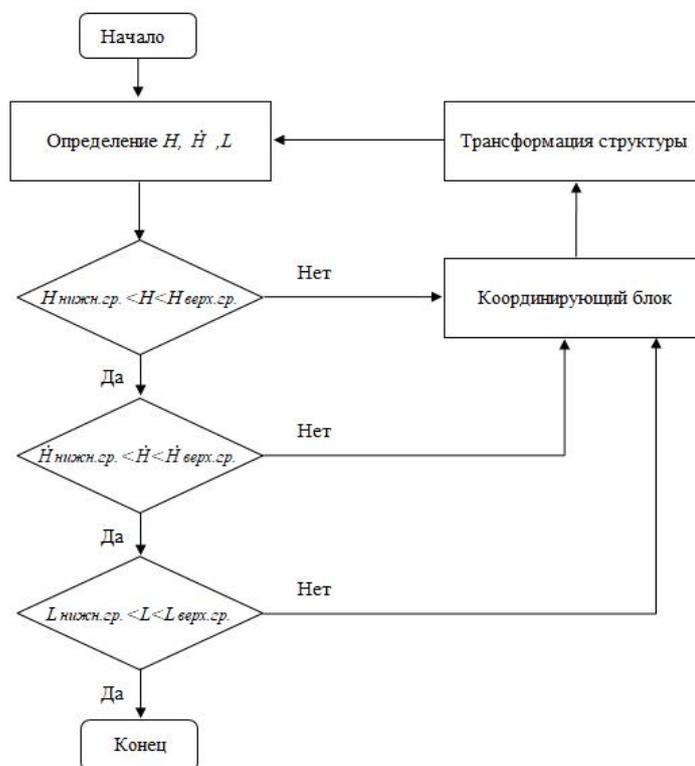


Рис. 4. Структурная схема алгоритма контроля текущего состояния системы

### Заключение

Разработана методика контроля качества функционирования гибридных интеллектуальных систем, основанная на формировании фазового пространства функционирования систем и построения в этом пространстве допустимой области функционирования.

### Список литературы

1. Анцыферов С. С., Фазилова К. Н. Методология оценки состояний когнитивных систем // Проблемы искусственного интеллекта. 2020. № 3 (18). С. 19—28.
2. Анцыферов С. С., Фазилова К. Н. Методика оценки эффективности структурных элементов когнитивных систем в реальном масштабе времени // Нелинейный мир. 2020. № 3. С. 33—41.
3. Antsyferov S. S., Fazilova K. N., Rusanov K. E. Method for controlling the cognitive systems functioning in non-equilibrium stability mode // Journal of Physics: Conference Series. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. Krasnoyarsk, 2020. С. 32068.

**Д. В. Березкин<sup>1</sup>, И. А. Козлов<sup>2</sup>, П. А. Мартынюк<sup>3</sup>**

<sup>1, 2, 3</sup> Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> berezkind@bmstu.ru, <sup>2</sup> kozlov.ia@bmstu.ru, <sup>3</sup> martapauline@yandex.ru

## **ГИБРИДНЫЙ ПОДХОД К ПРОГНОЗИРОВАНИЮ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЙ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ**

### **Введение**

В современном мире бурное развитие информационных и коммуникационных технологий приводит к постоянному изменению ландшафта технологических направлений. Научные и технические прорывы, а также организационные и финансовые меры по поддержке тех или иных технологий, принимаемые научными и коммерческими организациями, приводят к возникновению новых направлений и стремительному развитию существующих. Оперативное обнаружение таких изменений представляет значительный интерес как для компаний, так и для органов государственного управления. Оно позволяет выявить новые перспективные направления, появляющиеся в той или иной области, активным развитием которых могут заниматься конкурирующие страны или организации.

Своевременное обнаружение перспективных направлений может помочь избежать технологического отставания от конкурентов, однако для реализации опережающей стратегии развития компании или государства в научно-технической сфере этого недостаточно. Для того чтобы принимать решения по разработке и внедрению перспективных технологий прежде, чем это сделают конкуренты, необходимо иметь возможность прогнозирования появления и развития новых направлений в будущем. После выполнения такого прогноза и определения технологических направлений, которые могут стать актуальными в ближайшее время, лицо, принимающее решения (ЛПР), должно выполнить действия, направленные на их исследование, разработку новых технологий в этих направлениях и подготовку соответствующих кадров.

Для обеспечения принятия наилучших управленческих решений по поддержке перспективных технологических направлений в условиях колоссальных объемов входных данных и необходимости учета множества факторов ЛПР требуется помощь автоматизированного средства — интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР). На вход такой ИСППР поступают разнородные (текстовые, числовые, структурированные) данные, отражающие обстановку в некоторой научной области в динамике (научные статьи, патенты, финансовые показатели технологических компаний, вакансии, новости). Для работы с ними ИСППР должна иметь возможность манипулирования разными моделями данных и знаний, а также сочетать различные методы их анализа. Таким образом, для создания такой ИСППР требует-

ся разработать гибридный подход к прогнозированию возникновения и развития новых технологических направлений на основе анализа разнородных данных. Разработка такого подхода рассматривается в данной работе.

### 1. Предлагаемый подход к отслеживанию и прогнозированию развития технологических направлений

Предлагаемый подход развивает предыдущие наработки авторов в области создания гибридных подходов к анализу разнородных данных [1]. В соответствии с ним предполагается пять этапов анализа данных, которые представлены на рисунке 1 серыми блоками.

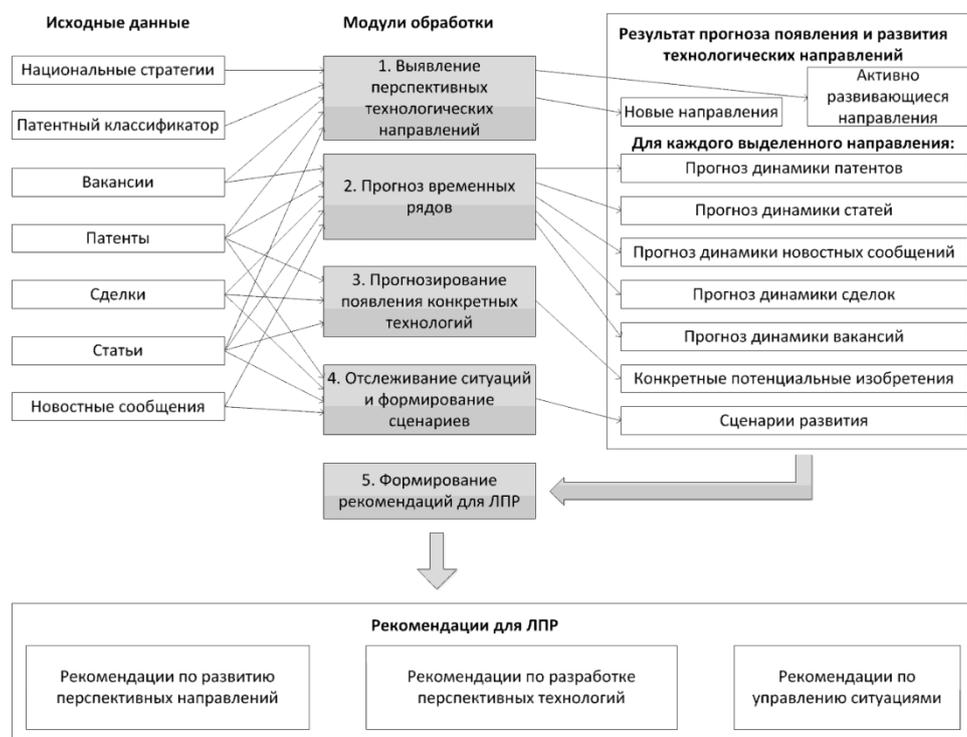


Рис. 1. Схема подхода к отслеживанию и прогнозированию развития технологических направлений

В первую очередь необходимо выявить направления, которые представляют интерес для последующего анализа и появления или активного развития которых можно ожидать в ближайшее время (блок 1). Для каждого из выделенных направлений выполняется детальный прогноз его развития. С этой целью рассчитываются прогнозные значения количественных характеристик направления, представленных в виде временных рядов (блок 2). В число таких характеристик входят количество патентов, научных статей, вакансий,

сделок и новостных сообщений, относящихся к направлению. Получение прогнозных значений этих характеристик позволяет обосновать решение о признании соответствующего направления перспективным.

Также определяются конкретные перспективные технологии, которые могут быть разработаны в рамках этого направления в ближайшем будущем (блок 3). На основе этой информации ЛППР может принять решение по организации скорейшей разработки аналогичных технологий для предотвращения технологического отставания.

Помимо учета количества новостных сообщений выполняется их содержательный анализ. Эти сообщения описывают различные события, происходящие в изучаемой научной области. Также в качестве событий можно рассматривать публикацию новых статей, появление патентов на новые технологии, а также совершение сделок (таких как поглощение, получение финансирования, выход на IPO) технологическими компаниями, работающими в этой области. Построив последовательность взаимосвязанных событий, можно проследить развитие некоторой ситуации с течением времени. Приняв управленческие решения, ЛППР способствует дальнейшему развитию ситуации в том или ином направлении. Чтобы принять наилучшее решение, необходимо учитывать не только развитие ситуации к настоящему моменту, но и возможные варианты ее дальнейшего развития в будущем. Таким образом, необходимо построить возможные сценарии развития ситуации (блок 4). На их основе может быть предложено решение, потенциально способствующее реализации наиболее благоприятного сценария. Такие предложения вместе с общими рекомендациями по развитию технологического направления, а также рекомендациями по исследованию и разработке конкретных перспективных технологий предоставляются ЛППР и служат основой для принимаемых решений (блок 5).

Далее будут более подробно рассмотрены методы анализа данных, используемые при реализации предложенного подхода.

## **2. Выявление перспективных технологических направлений**

Технологическое направление можно считать перспективным, если наблюдается рост внимания к нему со стороны крупных научных и коммерческих организаций. Индикатор такого роста — упоминание направления в стратегических документах развития организации на ближайшие годы. Пример подобных документов — государственные стратегии в научно-технической сфере. Их анализ состоит в сравнении стратегий одного и того же государства в некоторой области за разные годы. При обнаружении появления в новой версии ранее отсутствовавшего упоминания некоторого направления можно сделать вывод, что этому направлению в ближайшее время будет оказана поддержка на государственном уровне, что может привести к его стремительному росту.

Основная сложность анализа стратегий состоит в том, что они представляют собой текстовые документы на естественном языке, которые могут иметь сильно различающуюся структуру. Для обеспечения возможности их сравнения для каждого документа  $d_i$  предварительно формируется структурная модель (карточка)  $m_i$ , представляющая собой кортеж  $m_i = (m_i^j), j = \overline{1..N_a}$ , где каждый элемент (поле карточки)  $m_i^j$  — текст, описывающий  $j$ -й аспект документа  $d_i$ , а  $N_a$  — количество аспектов, описание которых извлекается из текста документа. Под аспектами здесь понимаются типовые элементы содержания документа: цели стратегии, способы их достижения и организации-исполнители.

Используемый метод построения карточек состоит в следующем. Текст каждого обрабатываемого документа очищается от элементов форматирования, разбивается на предложения и делится на фрагменты (каждый фрагмент формируется из целого числа предложений). Затем для каждого аспекта выбираются релевантные фрагменты, которые потенциально содержат текст, описывающий соответствующий аспект. Релевантными признаются фрагменты, содержащие заданные ключевые слова (набор ключевых слов задается индивидуально для каждого аспекта). К каждому из отобранных релевантных фрагментов применяется нейросетевая модель BERT Q&A [2]. Она позволяет по набору вопросов получить ответы на основе заданного фрагмента текста. Вопросы описывают некоторый аспект — предполагается, что ответы на них, найденные в тексте, соответствуют искомому содержанию соответствующего поля карточки. После формирования массива ответов на их основе создается итоговое содержание поля. Для этого либо выбирается наилучший ответ из массива (содержание поля должно быть кратким), либо все ответы объединяются в единый текст с удалением предложений-дубликатов (если содержание поля объемное).

После построения структурных моделей двух документов они сравниваются между собой. С этой целью попарно сопоставляются соответствующие поля двух карточек. При сравнении полей определяются пары их предложений, имеющие значительную близость (она рассчитывается с помощью определения косинусной меры схожести векторных представлений предложений) — такие предложения отражают неизменившееся содержание стратегии. Далее по предложениям поля карточки новой версии стратегии, не имеющим пару в аналогичном поле карточки старой версии, определяются ключевые слова — они описывают основные изменения между версиями стратегий. Именно такие слова могут характеризовать новые технологические направления, которым было уделено внимание в новой версии стратегии. Для определения таких направлений используется эталонный справочник направлений, в качестве которого выбран Международный патентный классификатор (МПК). Патентные классы, описание которых содержит выделенные в тексте стратегии ключевые слова, считаются соответствующими перспективным технологическим направлениям.

Помимо выделения активно развивающихся существующих направлений определяются перспективные направления в будущем. В отличие от существующих методов, основанных на анализе отдельных патентов [3], в рамках предлагаемого подхода для решения этой задачи предлагается использовать информацию о патентном классификаторе — древовидной структуре, в узлах которой находятся объекты различного уровня (секции, классы, группы). Прогнозирование появления новых направлений состоит в прогнозировании изменений структуры классификатора (в частности, появления в дереве новых узлов).

Предлагаемый метод прогнозирования состоит в следующем. В графе выделяются фрагменты (отдельный объект классификатора или группа взаимосвязанных объектов) и для каждого из них определяется, может ли на основе этого фрагмента в следующей версии классификатора появиться новый объект. Это задача бинарной классификации. Для применения методов классификации каждый фрагмент описывается вектором признаков  $x_i = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^n)$ , где  $n$  — количество признаков. Признаки отражают особенности структуры классификатора, динамику появления патентов и новых терминов в описании патентов и объектов МПК. Сформированный вектор относится к одному из двух классов  $y_i = \{y^+, y^-\}$ . Один из них указывает на то, что в следующей версии на основе данного фрагмента появится новый объект МПК, а второй — что такой объект не появится. Классификация осуществляется методом деревьев решений. При отнесении вектора к первому классу прогнозируемый объект классификатора рассматривается как перспективное новое технологическое направление, появления которого можно ожидать в ближайшем будущем.

### 3. Прогнозирование развития перспективных технологических направлений

Для каждого из выделенных направлений требуется получить детализированную информацию о его развитии в будущем. К такой информации относятся количественные показатели, характеризующие направление: число новых патентов, относящихся к направлению и получаемых технологическими компаниями за месяц; новых статей, относящихся к направлению и публикуемых за месяц; новых вакансий, связанных с направлением и появляющихся в технологических компаниях за месяц; новостных сообщений, относящихся к направлению и публикуемых в СМИ за месяц.

Динамика изменения каждой из этих характеристик во времени — временной ряд, поэтому для определения их возможных будущих значений могут быть использованы специализированные модели и методы прогнозирования, в частности регрессионные модели, авторегрессионные модели (ARIMA, GARCH), модель экспоненциального сглаживания, модель скользящих средних и другие [4]. Перспективный подход к решению этой задачи — исполь-

зование символьной регрессии — метода получения математической модели, наилучшим образом соответствующей заданному временному ряду, с помощью генетического алгоритма [5].

Прогнозирование числовых характеристик направления позволяет обосновать его перспективность, однако для принятия решений по его развитию необходимо иметь новые технологии, которые могут быть созданы в ближайшее время. Разработанный метод прогнозирования предполагает, что появление новой технологии предсказывается на основе соответствующего патента, предварительно полученного компанией-разработчиком. В связи с этим для решения задачи прогнозирования для каждого патента технологических компаний в рамках анализируемого направления требуется определить, появится ли в будущем новый продукт, основанный на данном патенте; какое время пройдет между получением патента и завершением разработки продукта.

Таким образом, задача прогнозирования сводится к задачам бинарной классификации и регрессии. Для решения обеих анализируемый патент должен быть представлен вектором признаков  $x_i = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^n)$ , где  $n$  — количество признаков, характеризующих как сам патент, так и получившую его компанию. В частности, принимается во внимание факт получения компанией финансирования, выхода на IPO и поглощения более крупной компанией после получения патента. Также учитывается динамика котировок акций компании на бирже. Все эти факторы могут влиять на вероятность и сроки реализации компанией инновационного продукта.

На основе полученного вектора определяются значения двух целевых признаков. Первый признак  $y_i^1 \in \{0,1\}$  указывает на факт появления в будущем нового продукта на основе патента. Значения этого признака вычисляются методом деревьев решений. Второй признак  $y_i^2 \in \mathbb{N}$  определяет предполагаемый срок появления продукта в днях в случае, если  $y_i^1 = 1$ . Для расчета значения этого признака используется линейная регрессия.

#### **4. Поддержка принятия решений по развитию перспективных технологических направлений**

В основе поддержки принятия решений лежит отслеживание развития ситуаций, связанных с перспективными технологическими направлениями, и прогнозирование их дальнейшего развития [1]. Отслеживание выполняется путем обнаружения изменений в потоках разнородных данных и отражающих различные этапы развития анализируемых ситуаций. Такие изменения рассматриваются как события. При этом модели событий и методы их обнаружения выбираются в зависимости от типа анализируемых данных [6—8]. При анализе потока патентов (сделок) в качестве события может рассматриваться появление нового патента, при этом событие представляется фреймом. При работе с потоком научных статей событие представлено отдельным документом, описывающим новое изобретение, модель или метод.

При анализе новостных сообщений СМИ событие отображено группой документов, опубликованных в разных источниках. В связи с этим для обнаружения событий выполняется кластеризация потока текстовых документов. В [9] авторами предложен метод обнаружения событий на основе динамической кластеризации, предполагающий отнесение документов к событийным кластерам по мере их поступления от источников. В соответствии с этим методом каждый документ представляется многокомпонентной моделью, элементы которой описывают его содержание и структуру. Документ сопоставляется с событием покомпонентным сравнением их моделей по различным мерам близости. Результат сравнения — вектор для отнесения документа к событию. Принятие такого решения есть задача бинарной классификации, решаемая методом опорных векторов (Support Vector Machine, SVM).

Последовательным обнаружением взаимосвязанных событий отслеживаются ситуации с течением времени. Прогнозирование ситуации при этом состоит в формировании возможных сценариев ее дальнейшего развития, каждый из которых — цепочка событий в будущем. Сценарии формируются сравнением текущей ситуации с подготовленными экспертами эталонами — цепочками событий, отражающими развитие различных ситуаций в прошлом. При этом рассчитывается близость ситуаций методом логистической регрессии и модифицированного расстояния Левенштейна. Если текущая последовательность событий признается аналогичной начальной части эталонной цепочки, делается предположение, что будущие события могут быть аналогичны тем, которые составляют заключительную часть эталона. Таким образом, эта заключительная часть рассматривается как возможный сценарий дальнейшего развития текущей ситуации. С целью поддержки принятия решений для каждого из полученных сценариев готовятся предложения относительно действий, предпринимаемых для содействия или противодействия развитию ситуации по этому сценарию, благодаря чему ЛПП содействует наиболее благоприятному развитию анализируемого направления.

### Заключение

Представлен гибридный подход к прогнозированию появления и развития новых технологических направлений. Подход предполагает выделение актуальных направлений, которые развиваются в настоящий момент или могут появиться в ближайшем будущем, на основе анализа доктринальных документов и патентного классификатора. Для каждого из анализируемых направлений прогнозируются значения числовых показателей и появление конкретных технологий. Также выполняется отслеживание ситуаций, связанных с технологиями и формируются возможные сценарии их развития, на основе которых готовятся предложения для ЛПП по развитию перспективных направлений.

Авторы видят дальнейшее развитие подхода в использовании информации о перспективных технологических направлениях для построения прогноза появления новых специальностей и определения требований к компетен-

циям соответствующих специалистов. Это позволит формировать опережающие требования к подготовке будущих кадров для приоритетных направлений научно-технологического развития компании или государства.

#### Список литературы

1. Андреев А. М., Березкин Д. В., Козлов И. А. Гибридный подход к прогнозированию развития ситуаций на основе извлечения событий из потоков разнородных данных // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. 4-й Всерос. Поспеловской конф. с международным участием. Калининград, 2018. С. 140—147.
2. Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K. BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. Vol. 1 (Long and Short Papers). 2019. P. 4171—4186.
3. Érdi P., Makovi K., Somogyvári Z. et al. Prediction of emerging technologies based on analysis of the US patent citation network // Scientometrics. 2013. Vol. 95, № 1. P. 225—242.
4. Shumway R. H., Stoffer D. S. Time series analysis and its applications: with R examples. 4<sup>th</sup> ed. Springer, 2017.
5. Schmidt M., Lipson H. Distilling free-form natural laws from experimental data // Science. 2009. Vol. 324, № 5923. P. 81—85.
6. Ландэ Д. В., Брайчевский С. М., Григорьев А. Н. и др. Выявление новых событий из потока новостей // Компьютерная лингвистика и интеллектуальные технологии : тр. междунар. конф. «Диалог-2007». 2007. С. 349—352.
7. Yang Y., Pierce T., Carbonell J. A study of retrospective and on-line event detection // Proceedings of the 21<sup>st</sup> annual international ACM SIGIR conference on Research and development in information retrieval. ACM. 1998. P. 28—36.
8. Hogenboom F., Frasincar F., Kaymak U., De Jong F. An overview of event extraction from text // Workshop on Detection, Representation, and Exploitation of Events in the Semantic Web (DeRiVE 2011) at Tenth International Semantic Web Conference (ISWC 2011). 2011. Vol. 779. P. 48—57.
9. Андреев А. М., Березкин Д. В., Козлов И. А. Подход к автоматизированному мониторингу тем на основе обнаружения событий в потоке текстовых документов // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2017. Т. 15, №3. С. 49—60.

**О. О. Варламов<sup>1</sup>, В. И. Терехов<sup>2</sup>, А. А. Сухобоков<sup>3</sup>, Ю. Е. Гапанюк<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup> *Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, Москва, Россия*  
e-mail: <sup>1</sup> ovarlamov@gmail.com, <sup>2</sup> terekchow@bmstu.ru, <sup>4</sup> gapyu@bmstu.ru

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОМЕРНОЙ ОТКРЫТОЙ ГНОСЕОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОЙ СЕТИ (MOGAN) В ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ**

### **Введение**

В статье рассматривается концепция гибридных интеллектуальных информационных систем (ГИИС), которая может выступать в качестве архитектурного шаблона, упрощающего разработку интеллектуальных систем. Основные модули ГИИС — модуль сознания (который в целом ассоциируется с логическим искусственным интеллектом) и модуль подсознания (который в целом ассоциируется с методами мягких вычислений). В данном исследовании рассматривается такая разновидность ГИИС, в которой модуль сознания реализован как многомерная открытая гносеологическая активная сеть (MOGAN).

### **1. Концепция гибридной интеллектуальной информационной системы**

В настоящее время для построения интеллектуальных систем применяется большое количество подходов: продукционные правила, нейронные сети, нечеткая логика, эволюционные методы и др. При этом можно отметить явную тенденцию к совместному использованию разных методов для решения различных классов задач. Это привело к появлению такого направления, как гибридные интеллектуальные системы (ГИС). основополагающими работами в области ГИС можно считать работы профессора А. В. Колесникова [1; 2].

При этом необходимо различать понятия «гибридная интеллектуальная система» и «интегрированная интеллектуальная система». Второе понятие — более широкое. Профессор Г. В. Рыбина отмечает [3], что интегрированная интеллектуальная система — гибридная только в случае полной интеграции ее компонентов.

Необходимо отметить, что в англоязычной литературе термин «hybrid intelligence» в основном используется для обозначения гибридизации различных методов мягких вычислений и экспертных систем [4; 5]: нейро-нечетких систем, нечетких экспертных систем, эволюционных методов для конструирования нейронных сетей и нечетких моделей, других методов. Подобная «глубокая» гибридизация полностью соответствует критерию Г. В. Рыбиной о полной интеграции компонентов гибридной системы.

Ключевой вопрос — каким образом реализовать принцип гибридности? Ответ предлагается, в частности, в работе профессора Н.Г. Ярушкиной [6]. В ней сформулирован следующий принцип гибридности: «В литературе встречаются схемы гибридизации нейроинформатики и ИИ, построенные по следующему принципу: правое полушарие — нейрокомпьютер; левое полушарие — основанная на знаниях система, а вопрос лишь в их взаимодействии или балансе право- и левополушарности. В реальном поведении человека невозможно разделить восприятие и логическую обработку, поэтому более успешной представляется схема глубинной интеграции» [6, с. 20—21].

В настоящее время интеллектуальные системы, как правило, не разрабатываются отдельно, но встраиваются в виде модулей в традиционные информационные системы для решения задач, связанных с интеллектуальной обработкой данных и знаний. Такую комбинированную систему, в соответствии с [7], назовем гибридной интеллектуальной информационной системой, обладающей следующими особенностями: сочетает различные методы, используемые для построения интеллектуальных систем, и в этом смысле является ГИС; сочетает интеллектуальные методы с традиционными, используемыми для разработки данных в информационных системах, и в этом смысле представляют собой комбинацию ГИС и информационной системы, предназначенной для обработки данных; использует единую модель знаний, которая обеспечивает «глубокую» или «глубинную» интеграцию, по Г.В. Рыбиной и Н.Г. Ярушкиной.

Для реализации ГИИС наиболее интересным представляется подход на основе холонической многоагентной системы (холонической МАС). Такой класс систем подробно рассмотрен в работах В.Б. Тарасова [8]. В соответствии с определением холон — это «целое, рассматриваемое в то же время как часть целого» [8, с. 234]. Этот подход — обобщение понятия «вложенности». Холонический подход предполагает «глубинную» интеграцию как модели знаний, так и агентов, осуществляющих обработку знаний.

## 2. Обобщенная структура ГИИС

Принцип гибридности был чрезвычайно удачно предложен профессором Н.Г. Ярушкиной [6]. Можно несколько развить метафору право- и левополушарности [6], и говорить о «подсознании» и «сознании» ГИИС. «Подсознание» строится на основе методов мягких вычислений (и условно соответствует правому полушарию), а «сознание» — на основе методов логического искусственного интеллекта и традиционной обработки данных и знаний (и условно соответствует левому полушарию). Обобщенная структура ГИИС представлена на рисунке 1. Ее основа — «подсознание» системы (модуль подсознания, МП) и «сознание» системы (модуль сознания, МС). «Подсознание» связано со средой, в которой функционирует ГИИС.

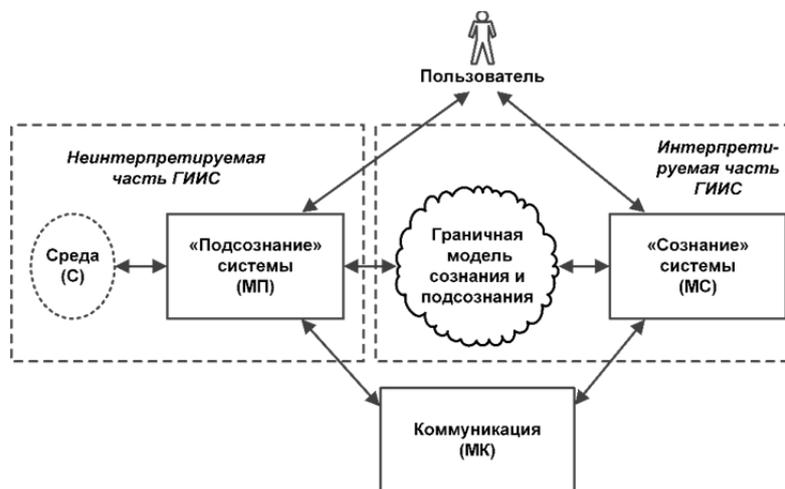


Рис. 1. Обобщенная структура ГИИС

Основная задача МП — обеспечение взаимодействия ГИИС со «средой», «выживание» ГИИС в среде.

Поскольку среда может быть представлена в виде набора непрерывных сигналов, то в качестве методов обработки данных «подсознания» хорошо подходят методы мягких вычислений, основанные на нейронных сетях и нечеткой логике, в том числе и комбинированные нейронечеткие методы.

Модель данных «подсознания» максимально приближена к «понятийной системе» среды, представляет собой набор данных, позволяющий максимально эффективно взаимодействовать со средой. Часть этих данных может не иметь «физического смысла» с точки зрения МС, однако дает возможность МП взаимодействовать со средой с нужной производительностью.

Отметим, что задача хранения требуемых данных решается отдельно на уровне МС и на уровне МП. На уровне обобщенной архитектуры соответствующие хранилища «встроены» в МС и МП, поэтому не представлены явно на рисунке 1.

С точки зрения интерпретируемости ГИИС делится на две части. Модуль подсознания воспринимает понятийную систему в виде отдельных (возможно, несвязанных) признаков. Требование к «осознанию» целостности модели не предъявляется. Основным критерий — эффективность взаимодействия системы со средой. Поэтому модуль подсознания и среда относятся к неинтерпретируемой части ГИИС. К интерпретируемой части ГИИС относятся модуль сознания и граничная модель сознания и подсознания.

Модуль сознания воспринимает понятийную систему как целостную модель «онтологического» класса и может «осознанно» обрабатывать элементы данной модели на основе правил.

Граничная модель сознания и подсознания предназначена для глубинной интеграции модулей сознания и подсознания и представляет собой интерфейс

между этими модулями с функцией хранения данных. В качестве данных выступает комплексная онтология, которая используется как сознанием, так и подсознанием. Одна из основных задач подсознания — распознавание из среды элементов онтологии. Если рассматривать сознание как разновидность экспертной системы, то распознанные элементы онтологии могут быть представлены в качестве элементов операционной памяти экспертной системы, приводящих к срабатыванию соответствующих правил. В зависимости от целей системы правила могут формировать выходную информацию для пользователя или сигналы для модуля подсознания, которые оказывают требуемое воздействие на среду.

Таким образом, именно граница между модулем подсознания, с одной стороны, и граничной моделью сознания и подсознания — с другой, это — граница интерпретируемости системы. Отметим, что с точки зрения интерпретируемости граничная модель сознания и подсознания — хранилище понятийных концептов для интерпретации. Интерпретация работы модуля сознания сводится к интерпретации применяемых в нем логических правил, опирающихся на понятийные концепты.

С точки зрения коммуникации в ГИИС возможны следующие варианты или их комбинации: 1) коммуникация осуществляется через среду; МП читает данные из среды, преобразует и передает в МС. МС логически обрабатывает и возвращает результаты в МП; МП записывает результирующие данные в среду, откуда они могут быть прочитаны другими ГИИС; 2) для коммуникации с другими ГИИС используется модуль коммуникации (МК); в зависимости от решаемых задач с МК может взаимодействовать МС (что характерно для традиционных информационных систем) или МП (что более характерно для систем на основе мягких вычислений); 3) взаимодействие с пользователем осуществляется через МС (что характерно для традиционных информационных систем) или через МП (что может быть использовано, например, в автоматизированных тренажерах).

С точки зрения многоагентного подхода рассмотренные компоненты, такие как МП, МС, МК, — это агенты. В то же время они — части системы, которая, в свою очередь, агент, что указывает на холоническую многоагентную систему.

При этом МП — сложная структура, включающая агенты нижнего уровня, каждый из которых может, в свою очередь, иметь в составе МП, МС, МК для решения конкретных задач данного агента. Несмотря на то что агент нижнего уровня находится в составе МП, он может включать в свою структуру МС для решения задач МП более высокого уровня. Поэтому с точки зрения данного подхода нет ничего удивительного в том, что в МС используются нечеткие продукционные правила, а в МП входят «классические» модули обработки данных.

Модуль сознания может быть реализован различными способами с применением подходов логического искусственного интеллекта.

### 3. Реализация модуля сознания на основе многомерной открытой гносеологической активной сети

Многомерная открытая гносеологическая активная сеть (Multidimensional Open Gnoseological Active Network, MOGAN) основана на объединении эволюционного миварного информационного пространства «вещь — свойство — отношение» [9] (рис. 2) и миварных двудольных сетей с линейной вычислительной сложностью логического вывода [10] (рис. 3).

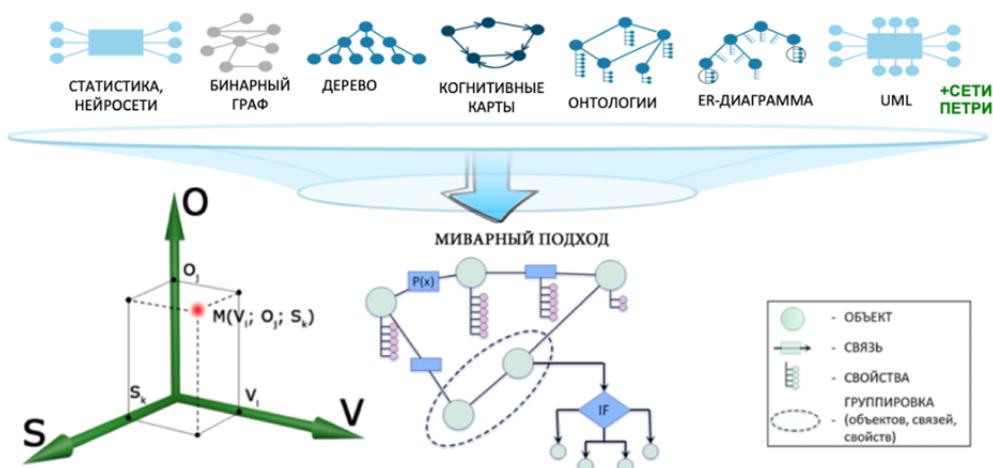


Рис. 2. Основы миварного информационного пространства

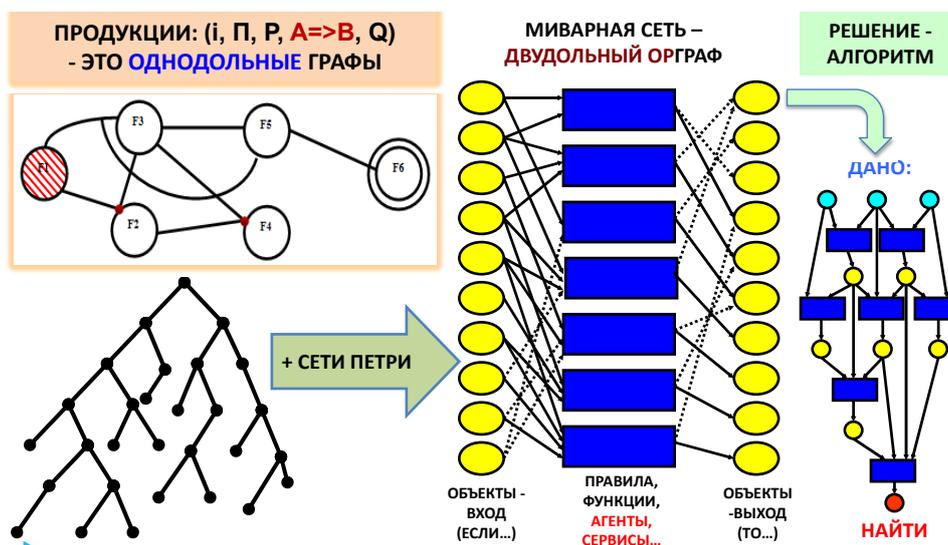


Рис. 3. Переход от продукций и сетей Петри к миварным сетям

MOGAN объединяет достоинства этих двух математических миварных аппаратов и позволяет создать универсальный инструмент ИИ для накопления и быстрой обработки информации. Важнейшее свойство подхода MOGAN с точки зрения его работы в модуле сознания — его интерпретируемость. Кроме того, MOGAN позволяет в едином формализме хранить данные и обрабатывать информацию, объединяя «единое информационное пространство» (ЕИП) и «единое управляющее пространство» (ЕУП) в «единое информационно-управляющее пространство» (ЕИУП) (рис. 4).

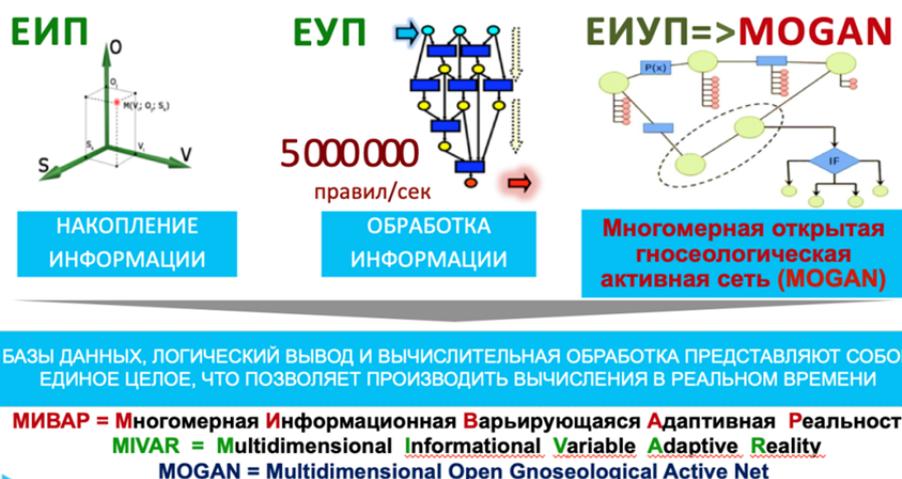


Рис. 4. MOGAN объединяет достоинства двух миварных технологий

В настоящее время на основе подхода MOGAN созданы многочисленные примеры миварных экспертных систем [11], расширяющие проблемные области применения миварных технологий добавлением системы реального времени интеллектуального планирования [12] поведения роботов в пространстве состояний [13], рекомендательными системами реального времени, системами технического обслуживания и ремонта, а также сравнением многомерных векторов. Научная новизна MOGAN заключается в формализации предметных областей в виде двудольных ориентированных графов миварных сетей; разработке математических моделей описания предметных областей и специального математического обеспечения в формате миварных сетей «Переменная, Правило» «P, R». Практическая ценность MOGAN состоит в том, что на основе нашего опыта в кратчайшие сроки (от 2 месяцев) с использованием обычных компьютеров и программного обеспечения КЭСМИ Wi!Mi [10; 11; 13] создаются проблемно-ориентированные системы принятия решений для конкретных заказчиков. Таким образом, новый мощный, универсальный и быстрый инструмент «многомерная открытая гносеологическая активная сеть» MOGAN позволяет в сжатые сроки оперативно и достаточно просто создавать миварные экспертные системы, конструировать алгоритмы действий и работать с логическими рассуждениями формата «Если... то...».

Новую технологию логического искусственного интеллекта MOGAN целесообразно использовать для решения задач принятия решений и обработки информации путем логического моделирования и создания различных прикладных систем искусственного интеллекта нового поколения. Важно отметить, что MOGAN в рамках модуля «сознания» хорошо взаимодействует с нейросетевыми технологиями модуля «подсознания» при разработке реальных систем ИИ [13]. Это полностью соответствует подходу ГИИС — архитектурному шаблону, упрощающему разработку интеллектуальных систем. Следовательно, обобщенную структуру ГИИС предлагается строить на основе модулей «сознания» и «подсознания».

### Заключение

На основе многолетних и разносторонних научных исследований создана многомерная открытая гносеологическая активная сеть MOGAN. Новый инструмент снял важные ограничения по полному перебору поиска решений на логическом уровне ИИ и позволяет в реальном времени накапливать открытые базы знаний и обрабатывать на легком оборудовании более 5 млн правил «Если... то...» в секунду.

Уже созданы, проверены и сданы в эксплуатацию программные комплексы в области экспертных систем, понимания смысла текстов на естественном языке и принятия решений для автономных роботов, киберфизических систем и интернета вещей.

ГИИС — архитектурный шаблон, упрощающий разработку интеллектуальных систем. Обобщенную структуру ГИИС предлагается строить на основе модулей «сознания» и «подсознания». Модуль сознания может быть реализован различными способами с применением подходов на основе логического искусственного интеллекта. В данной статье рассмотрена реализация модуля сознания на основе подхода MOGAN.

### Список литературы

1. Колесников А. В. Гибридные интеллектуальные системы. Теория и технология разработки. СПб. : СПбГТУ, 2001.
2. Колесников А. В., Кириков И. А., Листопад С. В. Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. М. : ИПИ РАН, 2014.
3. Рыбина Г. В., Паронджанов С. С. Технология построения динамических интеллектуальных систем : учеб. пособие. М. : НИЯУ МИФИ, 2011.
4. Zadeh L. A., Abbasov A. M., Yager R. R. et al. Recent Developments and New Directions in Soft Computing. Springer, 2014.
5. Melin P., Castillo O., Kacprzyk J. Nature-Inspired Design of Hybrid Intelligent Systems. Springer, 2017.
6. Прикладные интеллектуальные системы, основанные на мягких вычислениях / под ред. Н. Г. Ярушкиной. Ульяновск : УлГТУ, 2004.

7. Черненький В. М., Терехов В. И., Гапанюк Ю. Е. Структура гибридной интеллектуальной информационной системы на основе метаграфов // *Нейрокомпьютеры: разработка, применение*. 2016. Вып. 9. С. 3—14.

8. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям: философия, психология, информатика. М. : Эдиториал УРСС, 2002.

9. Варламов О. О. Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. М. : Радио и связь, 2002.

10. Varlamov O. O. Wi!Mi Expert System Shell as the Novel Tool for Building Knowledge-Based Systems with Linear Computational Complexity // *International Review of Automatic Control*. 2018. № 11 (6). P. 314—325.

11. Варламов О. О. Обзор 18 миварных экспертных систем, созданных на основе MOGAN // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2021. № 3 (101). С. 5—20.

12. Варламов О. О., Аладин Д. В. О применении миварных сетей для интеллектуального планирования поведения роботов в пространстве состояний // *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2018. № 6—2 (86). С. 75—82.

13. Varlamov O. O. “Brains” for Robots: Application of the Mivar Expert Systems for Implementation of Autonomous Intelligent Robots // *Big Data Research*. 2021. Vol. 25, 100241. <https://doi.org/10.1016/j.bdr.2021.100241>.

**П. М. Клачек<sup>1</sup>, И. В. Либерман<sup>2</sup>, С. И. Корягин<sup>3</sup>, И. Г. Картушина<sup>4</sup>**

<sup>1, 2, 3, 4</sup> Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Россия,  
e-mail: <sup>1</sup>PKlachek@mail.ru, <sup>2</sup>ILiberman@kantiana.ru, <sup>3</sup>SKoryagin@kantiana.ru, <sup>4</sup>IKartushina@kantiana.ru

## **РАЗВИТИЕ ГИБРИДНОГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО ИНТЕЛЛЕКТА МЕТОДОМ ГЕНЕЗИСА ЗНАНИЙ**

### **Введение**

В середине 2000 г. известными учеными в предметных областях [1—6] (военно-промышленная сфера, агроэкосистемы и водные экосистемы, машиностроение, нефтегазовая отрасль, социально-экономическая сфера и т. д.) сформулировано положение о необходимости кардинального пересмотра традиционных подходов к построению математических моделей сложных, в том числе слабо формализуемых, систем, а также поставлена задача создания новых направлений, подходов и методологий в области математического моделирования и синтеза сложных систем, способных обеспечить на качественно ином уровне возможность эволюции математических моделей объекта моделирования. Фактически речь шла о новых математических моделях с переменной, когнитивной структурой [1] — как об особом классе математических моделей, которые могут изменять (адаптировать) свою структуру в процессе эволюции наблюдаемого объекта моделирования.

Несмотря на важность решения данной задачи, работы в этой области не получили активного развития. В 2012 г. на международной конференции «Гибридные и синергетические интеллектуальные системы: теория и практика ГИСИС-2012» (Россия, Калининград), проведенной при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, авторами статьи впервые была предложена и получила широкое одобрение концепция «мягкого» математического моделирования сложных систем на основе коррекции базовых аналитических зависимостей эвристическими знаниями и мягкими вычислениями [3]. Накопленный к настоящему времени в рамках данного подхода теоретический и практический опыт в различных предметных областях (сельское хозяйство, нефтегазовый сектор, машиностроение, военно-промышленный сектор, и т. д.) [3] позволил авторам статьи сформулировать основные положения (впервые представленные в данной статье) метода «генезиса знаний» для создания особого класса математических моделей, способных на основе гибких вычислений [3] интегрировать точные, неточные и неопределенные знания в одной системе, изменять (адаптировать) свою структуру в процессе эволюции объекта моделирования, позволяя на новом уровне моделировать сложные, в том числе нелинейные, процессы и явления. По мнению

авторов, предлагаемые методологические и прикладные основы мягкого математического моделирования на основе метода генезиса знаний могут стать базой для формирования ряда перспективных междисциплинарных направлений в области гибридного вычислительного интеллекта, позволяя создавать новые способы получения, представления и использования знаний и на их основе синтеза перспективных (в том числе инновационных) прикладных инструментариев (например, новых классов интеллектуальных систем поддержки принятия решений, схмотехнических решений нового поколения и т. д.) в различных предметных областях.

### 1. Основы метода генезиса знаний

На рисунке 1 приведена архитектурно-технологическая схема метода генезиса знаний [1].



Рис. 1. Архитектурно-технологическая схема метода генезиса знаний

В символьном виде архитектурно-технологическую схему метода генезиса знаний (рис. 1) можно представить следующим образом [1]:

$$(E^u, E^L, dm)^{\text{met}^u} \rightarrow m,$$

где  $E^u = \langle E^L, \Pi^u, \Pi^h, \Psi_1, \Psi_2 \rangle$  — модель проблемной среды;  $E^L = \langle \widehat{S}, L^p, \Phi \rangle$  — модель предметной области [6];  $\widehat{S} = \{S_1, S_2, S_3\}$  — множество страт задачи-системы [6] (табл. 1);  $L^p$  — семейство языков описания производных отношений [6];  $\Phi$  — соответствие вида  $\Phi \subseteq L^p \times \widehat{S} \mid \Phi \neq \emptyset$ ;  $\Pi^u = \{\pi_1^u, \dots, \pi_{N_u}^u\}$  — множество декомпозиций задачи-системы  $\pi^u$  [6];  $\Pi^h = \{\pi_1^h, \dots, \pi_{N_h}^h\}$  — множество подзадач, входящих в состав исходной задачи-системы  $\pi^u$

$$(\forall \pi_i^u \exists \Pi^h = \{\pi_1^h, \dots, \pi_{N_h}^h\},$$

где  $i = 1, \dots, N_{\Pi}$ ,  $\forall i (N_h = \text{var } y)$ ,  $\pi_i^u \in \Pi^u$ );  $\Psi_1$  — соответствие вида  $\Psi_1 \subseteq \Pi^u \times \widehat{S}$ ;  $\Psi_2$  — соответствие вида  $\Psi_2 \subseteq \widehat{\Pi}^h \times \widehat{S} | \widehat{\Pi}^h = \bigcup_i^{N_{\Pi}} \Pi_i^h$ , причем более чем одна  $\pi^h$  может принадлежать  $S_i | i = 1, \dots, 3$ ;  $dm = \{dm_1^u, \dots, dm_{N_u}^u\}$  — базовая аналитическая модель, для которой выполняется соответствие вида  $\Psi_3 \subseteq \Pi^u \times dm$ ;  $\dot{m} = \{\Xi^u, met^3, R^A\}$  — гибридная вычислительная модель;  $\Xi^u$  — многозначное отображение [6] гибридной вычислительной модели [6], получаемое на основе применения  $met^3$  — алгоритм функций «генезиса знаний» [3];  $met^3 = \{\alpha^1, \dots, \alpha^7\}$  — множество функциональных компонент (автономных операторов, табл. 1);  $R^A$  — отношения интеграции на множестве  $met^3 = \{\alpha^1, \dots, \alpha^7\}$  (см. следующий раздел).

Таблица 1

### Функциональные компоненты HIS

Class designation group	Restrictions	Strata
Analytical Computing $\alpha^1$	Algebraic and Differential Equations	Parametric $S_3$
Neurocomputational $\alpha^2$	Feed-Forward Neural Networks, Kohonen Maps	
Fuzzy Computing $\alpha^3$	Mamdani, Takagi-Sugeno	
The arguments based on the experience $\alpha^4$	The reasoning based on precedents	Situational $S_1$
Evolutionary Computing $\alpha^5$	Classical genetic algorithms with tournament selection, Pareto GA with niches	Parametric $S_3$ Situational $S_1$
Statistical Computing $\alpha^6$	Monte Carlo method	Streaming $S_2$
Brain teaser Reasoning $\alpha^7$	Production expert systems	Situational $S_1$

## 2. Основы формального описания гибридной вычислительной схемы

Для формального описания гибридной вычислительной схемы (ГВС), построенной на основе гибридной вычислительной модели  $\dot{m}$ , введем понятие «элемент» — ресурс ГВС [4]. Множество элементов —  $RES^3 \subseteq RES$ . Элемент ГВС моделирует решение подзадачи, исходной задачи-системы или выполняет вспомогательные операции, строится в соответствии со множеством

функциональных компонент  $met^{\circ}$  и имеет свойства  $PR^{\circ} \subseteq PR$ , наиболее важные из которых — «вход»  $pr^{si}$ , «выход»  $pr^{so}$  и «состояние»  $st^{\circ}$ . Для моделирования поведения системы во времени введем понятие задержки  $z(-k)$ , где  $k$  — величина задержки, то есть  $R(x(t), x(t))^{z(-k)} = R(x(t), x(t+k))$ . Тогда концептуальную модель элемента ГВС  $res_n^{\circ}$ ,  $n=1, \dots, N$ , где  $N$  — число элементов  $met^{\circ}$ , представим следующим образом [4]:

$$\begin{aligned} \alpha_n^{\circ} = & R_1^{res\ met} (res^{\circ}, met^{\circ}) \circ R_1^{res\ pr} (res^{\circ}, pr^{si}) \circ R_1^{res\ pr} (res^{\circ}, pr^{so}) \circ \\ & \circ R_1^{res\ st} (res^{\circ}, st^{\circ}) \circ R_1^{st\ st} (st^{\circ}(t), st^{\circ}(t))^{z(-1)} \circ \\ & \circ R_1^{pr\ st} (pr^{si}(t), st^{sp}(t))^{z(-1)} \circ R_1^{st\ pr} (st^{\circ}(t), pr^{so}(t)), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $(R_1^{st\ st})^{z(-1)}$  и  $(R_1^{pr\ st})^{z(-1)}$  — отношения «состояние — состояние» и «вход — состояние»,  $(R_1^{st\ pr}$  — отношение «состояние — выход»). Концептуальная модель ГВС, построенная на основе гибридной вычислительной модели  $\dot{m}$ :

$$\begin{aligned} \alpha^u = & R_1^{res\ met} (res_A^u, \dot{m}) \circ R_1^{res\ pr} (res_A^u, pr^{ui}) \circ R_1^{res\ pr} (res_A^u, pr^{uo}) \circ \\ & \circ R_1^{res\ st} (res_A^u, st^u) \circ R_1^{st\ st} (x^{up}(t), x^{up}(t))^{z(-1)} \circ \\ & \circ R_1^{pr\ st} (pr^{ui}(t), st^u(t))^{z(-1)} \circ \\ & \circ R_1^{st\ pr} (st^{up}(t), pr^{uo}(t)) \circ R_1^{res\ res} (RES^{\circ}, RES^{\circ}) \\ & \circ R_1^{pr\ pr} (pr^{ui}, PR^{si}) \circ R_2^{pr\ pr} (PR^{so}, pr^{uo}), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $res_A^u$  — агрегат-ГВС [4] как ресурс решения задачи-системы  $\pi^u$ ;  $RES^{\circ}$  — множество как минимум из двух элементов  $res^{\circ}$ , построенных в соответствии с (1);  $(R_1^{st\ st})^{z(-1)}$ ,  $(R_1^{pr\ st})^{z(-1)}$ ,  $R_1^{st\ pr}$  — отношения функционирования ГВС;  $R_1^{res\ res}$  — отношения интеграции элементов из множества  $RES^{\circ}$ ;  $R_1^{pr\ pr}$  — отношения между входами ГВС и входами элементов;  $R_2^{pr\ pr}$  — отношения между выходами элементов и выходами ГВС. Отношения функционирования ГВС  $(R_1^{st\ st})^{z(-1)}$ ,  $(R_1^{pr\ st})^{z(-1)}$ ,  $R_1^{st\ pr}$  не задаются априори, а фиксируются при функционировании агрегата.

### 3. Внедрение

Математическое моделирование пускового комплекса (зенитно-ракетный комплекс «БУК-М1»). В работе [7] на примере программно-запоминающего устройства (ПЗУ) 9А39М1 зенитно-ракетного комплекса (ЗРК) малой дальности «БУК-М1» проводится анализ особенностей подготовки пускового комплекса и ракет к старту, а также представлен комплекс математических моделей, реализующих наклонный старт ЗРК с полуактивным самонаведением (рис. 2), взятых в качестве базовых аналитических моделей в (1).

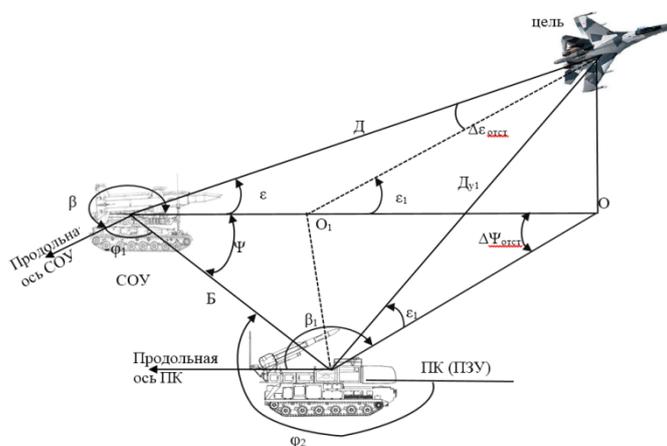


Рис. 2. Схема взаимного положения самоходной огневой установки (СОУ), пускового комплекс (ПК) и цели

Введем обозначения:  $t_{y1}$  — упрежденное время;  $\epsilon_{1y}$  — угол места;  $D_{y1}$  — дальность;  $\varphi_{ey}$  — азимут упрежденной точки встречи;  $\Psi_y$  — курсовой угол;  $\epsilon_y$  — угол места;  $D_y$  — дальность до расчетной точки встречи ракеты с целью;  $B$  — база-расстояние между СОУ и ПЗУ;  $D$  — дальность;

$$\alpha_{bm1}^3 = \langle X(t_{y1}, \epsilon_{1y}, v, \gamma), Y(D_{y1}), KB, F^\mu, F^{TS}, F^y, I^f \rangle, -$$

$$\alpha_{bm2}^3 = \langle X(B, D, v, \gamma), Y(\text{mathematical degree}), KB, F^\mu, F^{TS}, F^y, I^f \rangle -$$

классические нечеткие системы [3], где  $X, Y$  — пространства входных и выходных лингвистических переменных соответственно;  $X = X_1 \times \dots \times X_{N_x}$ ,  $Y = Y_1 \times \dots \times Y_{N_y}$ ,  $x \in X$ ,  $x = [x_1, \dots, x_{N_x}]^{Tr}$ ,  $y \in Y$ ,  $y = [y_1, \dots, y_{N_y}]^{Tr}$ ;  $KB$  — база знаний как множество из  $k = 1, \dots, N_{KB}$  правил, иногда называемая лингвистической моделью;  $F^\mu = \{F_x^\mu, F_y^\mu\}$  — множество функций принадлежности

входов и выходов соответственно;  $F^{TS}$  — множество функциональных зависимостей в качестве заключений в алгоритме Сугено;  $F^{TS}$  — множество аналитических выражений и (или) алгоритмов дефазификации;  $T_r$  — операция транспонирования,  $I^f$  — интерпретатор нечеткой системы, который может быть представлен совокупностью пяти процессов:

$$I^f = \langle I^{f1} \rightarrow I^{f2} \rightarrow I^{f3} \rightarrow I^{f4} \rightarrow I^{f5} \rangle,$$

где  $I^{f1}$  — фазификация;  $I^{f2}$  — агрегирование  $I^{f3}$  — активизация;  $I^{f4}$  — аккумуляция;  $I^{f5}$  — дефазификация. Процессы  $I^{f1}, \dots, I^{f5}$  выполняются последовательно в следующем порядке:  $I^{f1} \rightarrow I^{f2} \rightarrow I^{f3} \rightarrow I^{f4} \rightarrow I^{f5}$ .

В таблице 2 в качестве примера представлены разработанная в соответствии с (1) гибридная вычислительная модель расчета координат упреждающей точки встречи ракеты с целью (представляющая системообразующую основу всего комплекса моделей, реализующих наклонный старт ЗРК) и базовая аналитическая модель, предложенная в работе [7].

Таблица 2

Модели расчета координат упреждающей точки встречи ракеты с целью

Базовая аналитическая модель [7]	Гибридная вычислительная модель, полученная методом генезиса знаний, на основе эвристической коррекции базовой аналитической модели
$\Psi_y = \begin{cases} \Psi + \Delta\beta_y, &  \Psi  \leq \pi, \\ \Psi + \Delta\beta_y - 2\pi \text{Sign} \Psi , &  \Psi  > \pi, \end{cases}$ $\varepsilon_y = \varepsilon + \Delta\varepsilon_y,$ $D_y = 0,7t_y + 2\cos\varepsilon_y - 2,5t_{y1} =$ $= t_y \left( 1 - \frac{B}{D} \cos\psi \cdot \cos\varepsilon \right),$ $\varepsilon_{1y} = \varepsilon_y + \Delta\varepsilon_{\text{омсм.}y1} + 0,33t_{y1},$ $D_{y1} = 0,7t_{y1} + 10\cos\varepsilon_{y1} - 10,$ $\varphi_{zy}^* = \Psi_y - \varphi_2 + \Delta\Psi_{\text{омсм.}y},$ $\varphi_{zy} = \varphi_{zy}^* - \pi \text{sign}\varphi_{zy}^*$	$\Psi_y = \begin{cases} \Psi + \Delta\beta_y, &  \Psi  \leq \pi, \\ \Psi + \Delta\beta_y - 2\pi \text{sign} \Psi , &  \Psi  > \pi, \end{cases}$ $\alpha_{bm1}^3 = \langle X(t_{y1}, \varepsilon_{1y}, \nu, \gamma), Y(D_{y1}),$ $KB, F^\mu, F^{TS}, F^y, I^f \rangle,$ $\varepsilon_y = \varepsilon + \Delta\varepsilon_y,$ $t_{y1} = t_y (1 - \cos\psi \cdot \cos\varepsilon)^{\alpha_{bm2}^3},$ $\alpha_{bm2}^3 = \langle X(B, D_{y1}, \nu, \gamma),$ $Y(\text{mathematical degree}),$ $KB, F^\mu, F^{TS}, F^y, I^f \rangle,$ $\varepsilon_{1y} = \varepsilon_y + \Delta\varepsilon_{\text{омсм.}y1} + 0,33t_{y1},$ $D_{y1} = 0,7t_{y1} + 10\cos\varepsilon_{y1} - 10,$ $\varphi_{zy}^* = \Psi_y - \varphi_2 + \Delta\Psi_{\text{омсм.}y},$ $\varphi_{zy} = \varphi_{zy}^* - \pi \text{sign}\varphi_{zy}^*$

Для сравнения результатов компьютерного моделирования на основе гибридной вычислительной модели и базового аналитического подхода (табл. 2) была разработана компьютерная программа (рис. 3), моделирующая перехват аэродинамической цели ракетой.

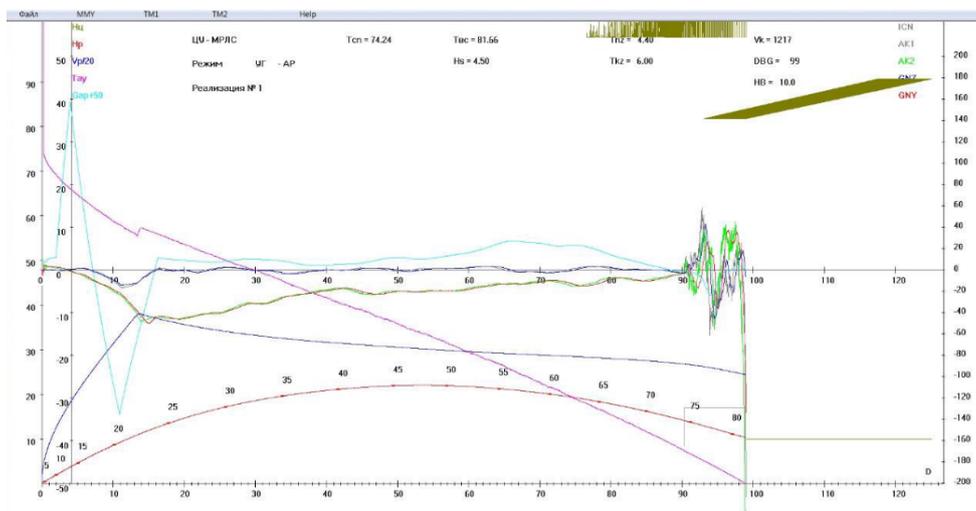


Рис. 3. Компьютерная программа, моделирующая перехват аэродинамической цели ракетой

Перехват изображается на графике с отложенными по осям расстоянием от точки пуска ракеты и высотой. Красной линией снизу показана траектория ракеты, справа к точке встречи серой линией — траектория цели.

В той же области синей линией отображается скорость ракеты. Фиолетовая линия показывает расчетное время до точки встречи. Чуть выше приводятся еще пять величин, характеризующих движение ракеты во времени. Голубой линией изображается крен ракеты. Зеленая и синяя линии показывают величину управляющего воздействия соответственно по вертикали и горизонтали.

Сравнительный анализ результатов компьютерного моделирования на основе гибридной вычислительной модели и базового аналитического подхода на примере модернизированного зенитно-ракетного комплекса «Бук-М1-2» представлен на рисунке 4 (табл. 2).

Результаты сравнительного анализа свидетельствуют о широких возможностях компьютерного моделирования на основе гибридной вычислительной модели (посредством эвристической коррекции базовых аналитических моделей), расширяя границы возможности классических математических моделей, а также круг задач, возлагаемых на ЗРК малой и средней дальности.



Рис. 4. Сравнение результатов компьютерного моделирования на основе гибридной вычислительной модели и базового аналитического подхода

*Моделирование вихревого следа самолета, позволяющее оценить безопасное расстояние между самолетами.* При полете в атмосфере самолет создает вихревой след, который представляет опасность для других летательных аппаратов (рис. 5).

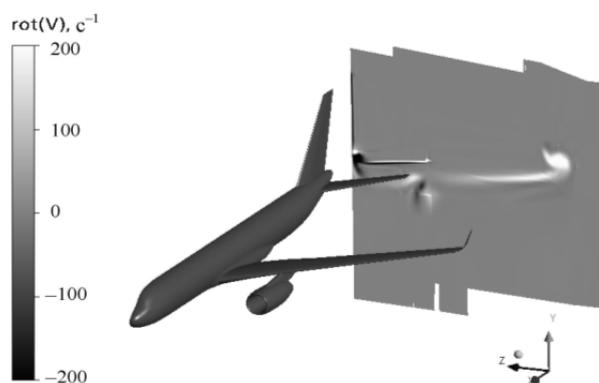


Рис. 5. Модель самолета и вихревой след в контрольном сечении  $x = 0,5L$

При взлете и посадке именно ограничение по вихревому следу определяет величину безопасной дистанции между самолетами. Уменьшение этой дистанции увеличивает пропускную способность аэропорта, но при этом должна быть гарантирована безопасность полета. В настоящее время имеются рекомендации ИКАО (матрица, указывающая величину безопасной дистанции в зависимости от классов предыдущего и последующего самолетов), которые

аккумулируют весь опыт авиации. Однако диспетчер аэропорта часто руководствуется собственным опытом, а не рекомендациями ИКАО, уменьшая величину безопасной дистанции. Как указано в [8], летные происшествия, связанные с попаданием в след, зачастую происходили при посадке по указаниям диспетчера. При полете на эшелоне возникает аналогичная актуальная проблема уменьшения расстояния между эшелонами. Поэтому важно иметь надежную математическую модель оценки безопасной дистанции между самолетами в зависимости от их типов и погодных условий. В [9] представлена единая модель разрушения вихря в турбулентной атмосфере, объединяющая модели разрушения вихря и турбулентной атмосферы и позволяющая учесть влияние погодных условий на время жизни следа, взятая за основу при создании гибридной вычислительной модели вихревого следа самолета на основе модели (1).

В таблице 3 в качестве примера представлены разработанная в соответствии с (1) гибридная вычислительная модель вихревого следа самолета (представляющая системообразующую основу всего комплекса моделей вихревого следа) и базовая аналитическая модель НАСА, предложенная в [8].

Таблица 3

Модели следа самолета

Базовая аналитическая модель [8]	Гибридная вычислительная модель, полученная методом генезиса знаний, на основе эвристической коррекции базовой аналитической модели
$V_{\tau} = 1,4 \frac{\Gamma}{2\pi r} \times \left( 1 - \exp\left(-10\left(\frac{r_c}{L}\right)^{0,75}\right) \right) \times \left( 1 - \exp\left(-1,2527\left(\frac{r}{r_c}\right)^2\right) \right),$ $r < r_c,$ $V_{\tau} = \frac{\Gamma}{2\pi r} \left( 1 - \exp\left(-10\left(\frac{r_c}{L}\right)^{0,75}\right) \right),$ $r > r_c,$ $\Gamma = \frac{G}{\ell_w \rho V_0}$	$V_{\tau} = 1,4 \frac{\Gamma}{2\pi r} \times \left( 1 - \exp\left(-10\left(\frac{r_c}{L}\right)\right) \right) \times \left( 1 - \exp\left(-1,2527\left(\frac{r}{r_c}\right)^{\alpha_{rm1}^3}\right) \right),$ $r < r_c,$ $V_{\tau} = \frac{\Gamma}{2\pi r} \left( 1 - \exp\left(-10\left(\frac{r_c}{L}\right)^{0,75}\right) \right),$ $r > r_c,$ $\alpha_{rm1}^3 = \langle X(V_{\tau}, G, \rho, r_c), Y(\Gamma, \text{mathematical degree}), KB, F^{\mu}, F^{TS}, F^y, I^f \rangle$

Обозначения:  $V_{\tau}$  — тангенциальная компонента скорости;  $\lambda_w$  — размах вихрей (расстояние между вихрями);  $\Gamma$  — циркуляция вихря;  $G$  — вес самолета;  $L$  — раз-

мах крыла; параметры  $r_c$ ,  $\lambda_w$ , которые определяются экспериментально по некоторой усредненной (по типу самолетов) зависимости  $r_c$  от размаха крыла (или веса) самолета;  $\alpha_{rml}^3 = \langle X(V_\tau, G, \rho, r_c), Y(\Gamma, \text{mathematical degree}), KB, F^\mu, F^{TS}, F^y, I^f \rangle$  — классическая нечеткая система (см. предыдущий раздел).

На рисунке 6 представлены результаты сравнения поля завихрения, полученные на основе гибридной вычислительной модели и базовой аналитической модели (табл. 3).

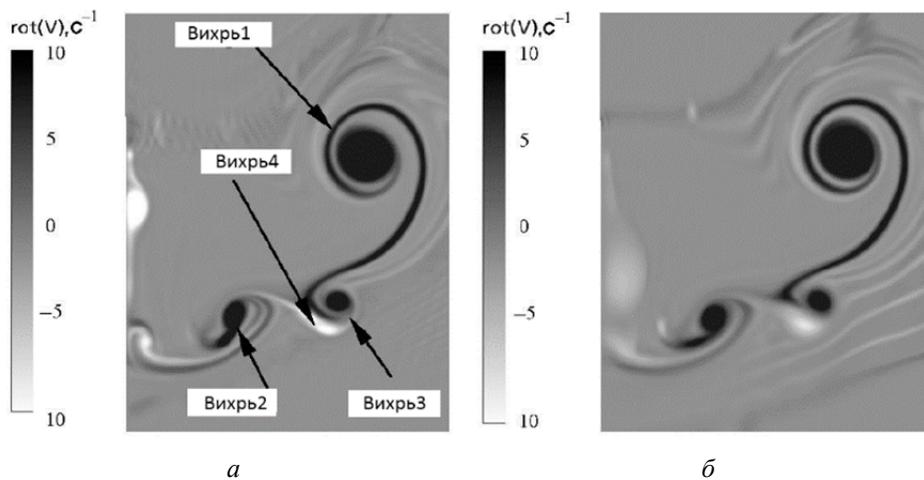


Рис. 6. Сравнение полей завихрения, полученных на основе гибридной вычислительной модели (а) и базовой аналитической модели (б)

Как видно из рисунка 6, гибридная вычислительная модель позволяет детальнее и точнее, в сравнении с базовой аналитической моделью, описывать ламинаризацию течения и эволюцию вихревого следа.

Для получения интегральных характеристик самолета при его попадании в вихревой след от предшествующего самолета проведены расчеты для ряда самолетов-генераторов и разных вихревых следов. Оказалось, что величина циркуляции вихря, опасного для второго самолета, слабо зависит от величины радиуса ядра вихря. На рисунке 7 приведен обобщенный график циркуляции вихря  $\Gamma$  самолета-генератора следа, допустимой для последующего самолета в зависимости от размаха его крыла  $b$ . Эти результаты получены на основе оценки максимально допустимого момента крена, индуцированного вихрем от впереди летящего самолета, на втором самолете, летящем вдоль оси вихря. Поле вихря, индуцированное самолетом-генератором следа, описанное с помощью гибридной вычислительной модели (табл. 3), позволило на принципиально новом уровне оценить безопасный интервал для обеспечения безопасного полета второго самолета (рис. 7).

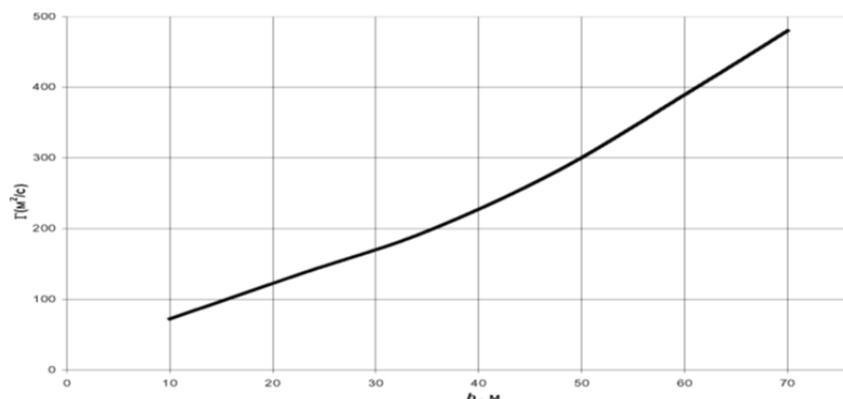


Рис. 7. Максимально допустимая циркуляция самолета-лидера  $\Gamma(\text{м}^2 / \text{с})$  для безопасного попадания в его след самолета с размахом крыла  $b$ , летящего вдоль оси вихря

Таким образом, полученные результаты подтверждают широкие возможности компьютерного моделирования вихревого следа самолета на основе гибридной вычислительной модели (посредством эвристической коррекции базовых аналитических моделей), в том числе в прикладном плане, позволяя более точно оценить интервал для обеспечения безопасного полета второго самолета.

### Заключение

По мнению ведущих ученых в области гибридного вычислительного интеллекта, в настоящее время наступает новая эра применения искусственного, в том числе вычислительного, интеллекта, характеризующая в первую очередь его прикладной потенциал. С точки зрения авторов статьи, место для новых, перспективных подходов и успешных применений технологий гибридного вычислительного интеллекта может быть найдено в направлении развития гибких вычислений, способных интегрировать точные, неточные и неопределенные знания в одной системе, позволяя на новом уровне моделировать сложные, в том числе нелинейные, процессы и явления. Впервые представлены методологические и прикладные основы мягкого математического моделирования сложных систем на базе метода генезиса знаний. Этот перспективный, междисциплинарный подход задуман авторами на «границе» гибридных интеллектуальных систем, синергетического искусственного интеллекта, гибридного вычислительного интеллекта, системного анализа и позволяет создавать новые способы получения, представления и использования знаний и синтеза перспективных (в том числе инновационных) приклад-

ных инструментариев (например, новых классов интеллектуальных систем поддержки принятия решений, схмотехнических решений нового поколения и т. д.) в различных предметных областях.

В настоящее время мягкое математическое моделирование сложных систем на основе метода генезиса знаний успешно применяется при решении комплексов прикладных задач, в военно-промышленной сфере, сельском хозяйстве, машиностроении, авиастроении, водных экосистемах и т. д. [1—8]. Работы в этой области активно продолжаются.

#### Список литературы

1. Федоров А. А., Корягин С. И., Либерман И. В. и др. Основы создания нейро-цифровых экосистем. Гибридный вычислительный интеллект. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2021.
2. Mordukhovich B. S. Variational Anaysis and Generalized Differentiation. Springer, 2005. Vol. 1.
3. Клачек П. М., Корягин С. И., Лизоркина О. А. Интеллектуальная системотехника : монография. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2015.
4. Колесников А. В., Кириков И. А. Методология и технология решения сложных задач методами функциональных гибридных интеллектуальных систем. М. : ИПИ РАН, 2007.
5. Koryagin S., Klachek P., Koryagin E., Kulakov A. The Development Of Hybrid Intelligent Systems On The Basis Of Neurophysiological Methods And Methods Of Multi-Agent Systems // Conf. Rec. 2016 IEEE int. First International Conference on Data Stream Mining & Processing. Львов, 2016. P. 95—102.
6. Koryagin S., Klachek P., Vasileva V. Development Of Bionic Approaches In The Microelectromechanical Systems Design Based On Cognitive Knowledge Bank // Conf. Rec. 2017 IEEE int. 14 International Conference The Experience of designing and application of cad systems in microelectronics. Lviv, 2017. P. 185—192.
7. Skorik A., Zverev A., Tkachenko I., Varenik R. Mathematical modeling of the launcher complex (anti-aircraft missile system «Buk M1») // Collection of scientific works of Kharkiv University Air Forc. Vol. 3 (43). Kharkiv, 2015. P. 71—75.
8. Вышинский В. В., Замятин А. Н., Судаков Г. Г. Теоретическое и экспериментальное исследование эволюции вихревого следа за самолетом, летящим в пограничном слое атмосферы // Техника воздушного флота. М., 2008. Т. 3. С. 25—38.

**Б. А. Кобринский**

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Москва, Россия  
e-mail: kba\_05@mail.ru

## **ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ГИБРИДНОЙ ЛИНГВООБРАЗНОЙ МЕДИЦИНСКОЙ СИСТЕМЫ**

### **Введение**

Гибридными системами первоначально определены такие, в которых нечеткая логика, нейровычисления, генетические вычисления и вероятностные вычисления используются в той или иной комбинации [3]. Позднее этот перечень расширен включением рассуждений на базе свидетельств, сетей доверия, хаотических систем и технологий машинного обучения. Это отвечает видению Лотфи Заде [3], что большинство систем с высоким «коэффициентом машинного интеллекта» (Machine Intelligence Quotient) будут гибридными.

Гибридные системы, основанные на взаимодействии методов и технологий, демонстрируют взаимное усиление при некотором погашении недостатков отдельных методов [1; 8]. В гибридных системах поддержки принятия решений (СППР) рассматриваются вопросы координации, согласованности и преодоления разногласий [6]. Гибридизация используется также в направлении поиска способов объяснения предлагаемых решений, примером чего может служить гибридная система для классификации медицинских данных, которая, обучаясь с использованием нейронной сети Fuzzy Min-Max, объясняет результаты на основе дерева классификации и регрессии [19].

Соединение различных подходов в гибридной системе интерпретируется как принцип дополнительности, обеспечивающий полноценное решение проблемы путем сочетания лингвистической и образной или логической и интуитивно-ассоциативной компонент. В отношении систем для медицины, о которой философ и врач Парацельс говорил, что она есть искусство, требующее практики, следует учитывать интуитивно-образный характер мышления врача-диагноста. Другими словами, для трудно формализуемых предметных областей гибридная система должна интегрировать классические количественные и качественные характеристики знаний с когнитивными образными индикаторами.

### **1. Интуитивно-образные представления в формировании гипотез**

Наше мышление образно-символическое. Значимость холистических образов определяется тем, что их словесный эквивалент бывает слишком грубым или ошибочным. В то же время дефрагментация образа часто неприем-

лема, так как отдельные признаки не позволяют получить целостное впечатление, например, об особенностях лица больного при определенной патологии [13].

Опознание образов человеком происходит сравнением с прототипом в долговременной памяти. Теория сенсорных прототипов [22] предполагает высокое соответствие между объектом и его внутренней репрезентацией (эталоном), хотя невозможно исключить определенную трансформацию исходного образа. Но на основе мысленного сопоставления наблюдаемого образа (изображения) с хранящимся в памяти эталоном или паттерном может происходить озарение (инсайт), завершающееся выдвижением гипотезы о сходстве с известным феноменом. В таком процессе задействован интуитивно-ассоциативный механизм памяти, использующий различные виды ассоциаций. Это могут быть ассоциации по сходству (близкие лица, объекты, ситуации, в том числе по отдельным фрагментам), ассоциации по метафорическому отражению (например, гаргоилоподобные черты лица при некоторых наследственных болезнях), ассоциации по ментальным связям между образами (например, гаргоилоподобные черты лица и когтистая лапа) или между образом и вербализованными признаками.

В медицине первичная диагностическая гипотеза нередко формируется на основе образно-интуитивных представлений, вне прямой связи с последовательным сканированием признаков в процессе осмотра больного. На следующем этапе уточнение выдвинутой гипотезы осуществляется при переходе к логико-аргументационному мыслительному процессу, включающему анализ образных и/или вербализованных понятий.

## 2. Образы в интеллектуальной системе принятия решений

Поддержку генерации диагностических гипотез существующие прикладные медицинские системы анализа и классификации изображений обеспечивают при условии предварительно предполагаемого врачом диагноза, указания им ключевых признаков или путем помещения фотографии в контекст заболеваний определенного класса [7; 11; 17; 20]. Однако этого недостаточно, и необходима более глубокая интеграция лингвистической и визуальной компонент принятия решений, переход к системам, объединяющим логико-лингвистические правила и образно-визуальные классификации.

В [6] обращено внимание на то, что невербальные образы в памяти пользователя позволяют осуществлять моделирование задачи с разных точек зрения, что невозможно с использованием одной модели. В связи с этим авторы указывают на возможность увязать результаты работы отдельных функциональных элементов СППР в процессе синтеза решения задачи на основе сочетания различных классов моделей в гетерогенном модельном поле.

В основу парадигмы «двухполушарных экспертных систем» [2] положено взаимодействие классической экспертной системы (ЭС) и нейронной сети через доску объявлений (black board). Механизм «доски объявлений» используется для взаимодействия между компонентами логической и ассоциативной

(в ИНС) обработки информации, которая полагает наличие некоторых событий, свойств или отношений между сущностями. Предполагается, что экспертная система и нейронная сеть должны функционировать относительно независимо, то есть параллельно или квазипараллельно, что выступает основой для множественности линий рассуждений и возможности отменять полученные выводы. Условием этого выдвинуто управление ИНС со стороны ЭС с помощью оценки верного или неверного ее функционирования. Нейронная сеть «двухполушарной» экспертной системы может формировать ассоциативные связи, осуществлять предварительное распознавание (классификацию или кластеризацию поступающих данных) и порождать гипотезы на основе текущего набора фактов.

В то же время представляется возможной другая концепция дополняющего представления и обработки образной компоненты в гибридной медицинской экспертно-нейросетевой системе. Обращаясь к образу Януса — двуликого бога дверей, входов, выходов и различных проходов в римской мифологии, рассмотрим трехходовой вариант использования образов. Вначале формируется предварительная гипотеза экспертной системы на основе правил, с представлением контекстно-связанных образов пользователю, затем происходят распознавание изображений нейросетью и завершающая проверка на модели знаний в ЭС с выдачей финальной гипотезы.

Первый шаг — этап выдвижения первичной гипотезы — предполагает представление ее пользователю в сопровождении кортежа изображений для обнаружения сходства / отличия визуально наблюдаемого у пациента признака с имеющимся в базе знаний образным рядом [5]. Изображения в нечетком образном ряду (фотографии, демонстрирующие специфические особенности внешнего вида, варианты изменений на радиологических снимках и др.) должны быть упорядочены на основе факторов уверенности и включать наиболее типичный вариант (архетип). Когнитивные образные ряды могут включать как изображения, соответствующие одной ситуации, так и демонстрирующие трансформацию образов в динамике патологического процесса (динамический образный ряд). Таким образом, подтверждение первичной гипотезы осуществляется на основе контекстно-образного сходства.

Необходимо также отметить, что визуальные образы могут быть представлены как в исходном виде (фотографии, паттерны функциональных и инструментальных исследований), так и трансформированные с использованием различных математических методов обработки, включая 3D-визуализацию, позволяющую реконструировать внутреннюю (скрытую) структуру органов и сосудов [16]. Кроме того, признаки, определяемые с помощью прецизионной радиологии («радиомика»), — это образные биомаркеры [10; 12], для которых характерна высокая дифференциально-диагностическая значимость.

Представление образных рядов фенотипических (внешних) проявлений болезни особенно полезно для таких ситуаций, в которых существуют трудности вербализации визуального образа (например, диагностически значимых признаков — птицеголовый карлик, череп в форме трилистника, клюво-

видный нос, гарголоидные или грубые черты лица). Это определяется тем, что вербальная (лингвистическая) характеристика образа не всегда вызывает однозначный отклик в виде ментального образа.

Однако нельзя исключать возможность ошибки врача при нетипичной клинической картине, учитывая, что существуют очень похожие образы при разных заболеваниях, например практически не отличимый по внешнему виду фенотип при синдроме Гурлер (мукополисахаридоз II) и при псевдополидистрофии Гурлер (муколипидоз III).

Второй шаг предполагает распознавание изображений (классификацию образов как индикаторов конкретной ситуации) с использованием нейросетевых технологий, в частности сетей глубокого обучения [9; 21], направленным поиском в ограниченной базе изображений в соответствии с предварительной диагностической гипотезой.

На третьем шаге полученное с помощью ИНС решение передается в базу знаний ЭС для формирования финальной гипотезы с аргументацией на основе всей совокупности символической информации — лингвистической и образной, то есть лингвоконцептов и image-концептов (рис. 1).

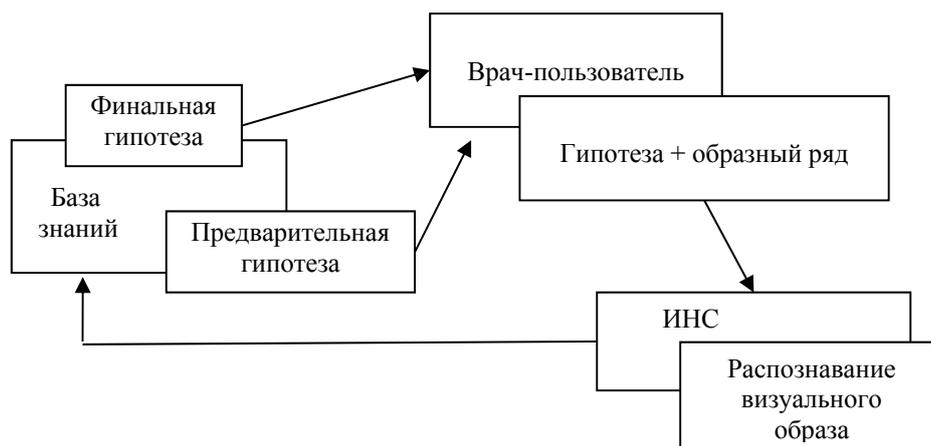


Рис. 1. Последовательность операций при формировании первичной гипотезы на основе правил

В настройке весов ИНС, включающих на этапе обучения образные ряды, нужно использовать факторы уверенности, характеризующие элементы нечеткого образного кортежа [14], так как их учет будет способствовать повышению распознавания лиц, характеризующихся высокой вариативностью на различных стадиях болезни, и радиологических изображений, демонстрирующих трудно различимые переходные состояния.

Однако можно рассмотреть и другую последовательность решения задачи гибридной системой в два шага.

На первом шаге происходит формирование гипотезы нейросетью на основе распознавания исходного или 3D-преобразованного изображения. На

втором шаге осуществляются использование этой гипотезы в сочетании с лингвистическими данными и выдача окончательной гипотезы с объяснением и возможностью просмотра образного ряда пользователем (рис. 2). В случае несовпадения лингвистических и образных характеристик создается переход к представленной выше трехходовой последовательности действий.

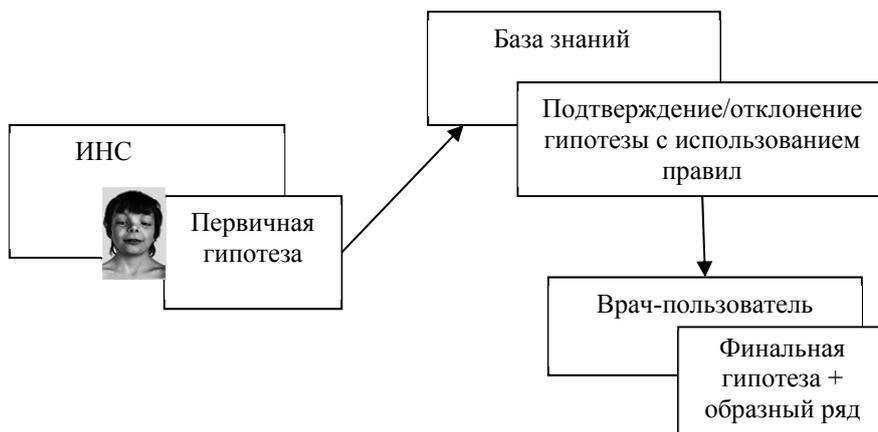


Рис. 2. Последовательность операций при формировании первичной гипотезы на основе распознавания образа нейросетью

Архитектура гибридной логико-лингвообразной системы представлена на рисунке 3.



Рис. 3. Архитектура гибридной лингвообразной системы

### 3. Проблема объяснимости в гибридной лингвообразной системе

Гипотеза, основанная на анализе лингвистической и образной компонент, будет сопровождаться объяснением, формируемым в экспертном модуле гибридной системы. Это позволит решить проблему объяснимости решения, выдаваемого нейросетью. Важность этого определяется тем, что интерпретация результата классификации медицинского изображения в ИНС как обнаруженного изменения в легких, характерного для COVID-19, не является объяснением того, «как» и «почему» система выдвинула данную гипотезу. В предлагаемом варианте построения гибридной интеллектуальной системы предполагается именно объяснение, сопровождаемое выдачей соответствующих изображений для лучшего понимания выдвинутой гипотезы. Это позволит решить проблему «черного ящика» при решениях, предлагаемых на основе технологии нейросетей, которые вызывают озабоченность по поводу потенциальных «De skilling effects», то есть снижения требований к квалификации персонала при использовании систем поддержки принятия решений [18].

#### Заключение

Преодоление пропасти, разделяющей логико-лингвистические системы и системы опознания образов на основе нейронных сетей возможно в концепции гибридных интеллектуальных систем, использующих как различные методы и технологии, так и два типа знаний — лингвистических и визуальных (иконических). Это предполагает переход от модели логико-лингвистических систем к логико-лингвообразной парадигме построения гибридных интеллектуальных систем. На перспективность объединения классификации медицинских изображений с клиническими данными для повышения точности диагностики было обращено внимание в [4; 15].

Базы знаний гибридных логико-лингвообразных или семантико-иконических интеллектуальных нечетких систем должны включать нечеткие модели и целостные (холистические) исходные или трансформированные изображения в виде образных рядов.

Двойное использование образной компоненты для представления пользователю в процессе выдвижения предварительной гипотезы в экспертной системе и для классификации в нейросети будет способствовать повышению качества предлагаемых решений.

#### Список литературы

1. Батыршин И. З., Недосекин А. О., Стецко А. А. и др. Нечеткие гибридные системы. Теория и практика / под ред. Н. Г. Ярушкиной. М. : Физматлит, 2007.
2. Гаврилов А. В. Гибридные интеллектуальные системы : монография. Новосибирск : Изд-во НГТУ, 2002.
3. Заде Л. А. Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных / интеллектуальных систем // Искусственный интеллект. 2001. №2—3. С. 7—11.

4. Кобринский Б. А. Значение визуальных образных представлений для медицинских интеллектуальных систем // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. №3. С. 3—8.
5. Кобринский Б. А. Подходы к построению когнитивных лингво-образных моделей представления знаний для медицинских интеллектуальных систем // Искусственный интеллект и принятие решений. 2015. №3. С. 10—17.
6. Колесников А. В., Кириков И. А., Листонад С. В. Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. М.: ИПИ РАН, 2014.
7. Никитаев В. Г., Проничев А. Н., Оплачко П. Ю. Современный подход к гистологической диагностике рака предстательной железы — интеллектуальная экспертная система // Вестник Российского нового университета. Сер.: Сложные системы: Модели, анализ и управление. 2020. №5. С. 98—102.
8. Ярушкينا Н. Г. Гибридные системы, основанные на мягких вычислениях: определение, архитектура, возможности // Программные продукты и системы. 2002. №3. С. 19—22.
9. Abedi V., Goyal N., Tsvigoulis G. et al. Novel Screening Tool for Stroke Using Artificial Neural Network // Stroke. 2017. Vol. 48, №6. P. 1678—1681.
10. Arimura H., Soufi M., Kamezawa H. et al. Radiomics with artificial intelligence for precision medicine in radiation therapy // Journal of Radiation Research. 2019. Vol. 60, №1. P. 150—157.
11. Ferry Q., Steinberg J., Webbe C. et al. Diagnostically relevant facial gestalt information from ordinary photos // eLife. 2014. №3. e02020.
12. Giardino A., Gupta S., Olson E. et al. Role of imaging in the era of precision medicine // Academic Radiology. 2017. Vol. 24, №5. P. 639—649.
13. Kobrinskii B. A. Images in logical-and- linguistic artificial intelligence systems // Journal of Biomedical Engineering and Medical Imaging. 2019. Vol. 6, №1. P. 1—8.
14. Kobrinskii B., Donitova V. Metaphorical images and knowledge in art and medicine // IFKAD2020—15 International Forum on Knowledge Asset Dynamics, Knowledge in Digital Age, Proceedings. Matera, 2020. P. 156—167.
15. Kosilek R. P., Frohner R., Wurtz R. P. et al. Diagnostic use of facial image analysis software in endocrine and genetic disorders: review, current results and future perspectives // European Journal of Endocrinology. 2015. Vol. 173, №4. P. 39—44.
16. Krylov V., Grigoryeva E., Dolotova D. et al. CFD Modelling of Local Hemodynamics in Intracranial Aneurysms Harboring Arterial Branches // Studies in Health Technology and Informatics. 2017. Vol. 238. P. 64—67.
17. Loos H. S., Wieczorek D., Wurtz R. P. et al. Computer-based recognition of dysmorphic faces // European Journal of Human Genetics. 2003. Vol. 1, №8. P. 555—560.
18. McGregor C., Catley Ch., James A., Padbury J. Next Generation Neonatal Health Informatics with Artemis // Studies in Health Technology and Informatics. 2011. Vol. 169. P. 115—119.
19. Seera M., Lim Ch. P. A hybrid intelligent system for medical data classification // Expert Systems with Applications: An International Journal. 2014. Vol. 41, iss. 5. P. 2239—2249.
20. Smithson S. F., Winter R. M. Diagnosis in dysmorphology: clues from the skin // British Journal of Dermatology. 2004. Vol. 151, №5. P. 953—960.
21. Soffer S., Ben-Cohen A., Shimon O. et al. Convolutional Neural Networks for Radiologic Images: A Radiologist's Guide // Radiology. 2019. Vol. 290, №3. P. 590—606.
22. Solso R. L., MacLin O. H., MacLin M. Cognitive Psychology. Yorkshire: Pearson, 2008.

Д. С. Курило<sup>1</sup>, В. С. Мошкин<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> averkin2003@inbox.ru, <sup>2</sup> Sergey.Yarushev@icloud.com

## РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ГИБРИДНОГО ДЕТЕКТИРОВАНИЯ АНОМАЛИЙ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

### Введение

Выявление аномалий — область интеллектуального анализа данных, позволяющая находить выделяющиеся из общей массы значения. Эти значения необходимы во многих предметных областях и могут говорить о различных проблемах, сбоях или данных, на которые стоит обратить внимание. Для поиска используются различные технологии, такие как кластерный анализ, скрытые марковские модели, нейронные сети и т. д. Они работают с различной эффективностью, зависящей от затрагиваемой предметной области [1; 2].

### 1. Модель, структура и описание системы поиска аномалий

Разработанный в рамках данного проекта программный продукт состоит из нескольких модулей. Структура системы показана на диаграмме компонентов на рисунке 1.

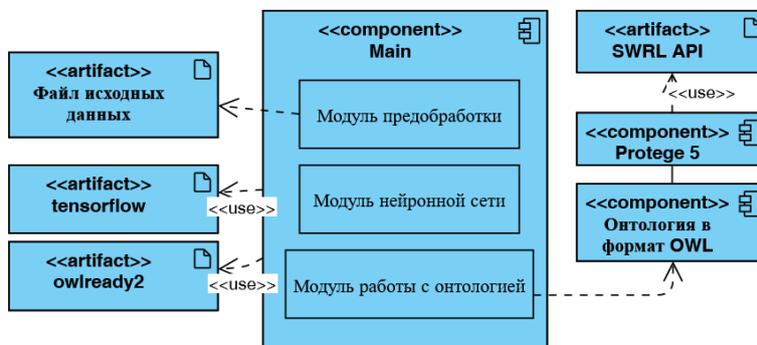


Рис. 1. Диаграмма компонентов системы поиска аномалий

Каждый модуль обрабатывает исходные данные и передает следующему модулю. Исходные данные загружаются из внешнего файла. Онтология загружается из файла формата OWL. Модули используют подключаемые библиотеки.

Модуль преобработки загружает исходные файлы, получает заголовки столбцов и форматирует данные в DataFrame с необходимыми столбцами. Далее добавляются временные метки в качестве индексов строк в таблице.

В исходных данных даты замеров отсутствуют, но происходят последовательно, через равные промежутки времени. Принято, что дата проставляется, начиная с текущего дня до окончания строк таблицы с шагом один день. Даты в индексах позволяет быстрее строить графики и получить из других модулей сразу дату аномалии. Некоторые данные преобразовываются к типу, удобному для использования в нейронных сетях или онтологиях [3—5].

В качестве тестовых данных использовались данные производительности нефтяных вышек. Данные разбиваются на несколько независимых друг от друга выборок по имени вышки, на которой происходили замеры. Это позволяет иметь несколько массивов данных, подходящих для последующих экспериментов. Полученные данные при необходимости возможно отобразить на графике. Готовые данные передаются в модуль нейронной сети. Базовый алгоритм анализа состоит из следующих этапов, показанных на рисунке 2.



Рис. 2. Блок-схема с описанием порядка действий системы

Некоторые этапы работы системы описаны выше. Основные развилки в работе системы — проверка значения на аномальность на этапе анализа данных нейронной сетью и на этапе работы с онтологией при прохождении предыдущего условия. Вне зависимости от исхода проверок все данные попадают в логический вывод результатов, завершающий работу системы.

Поэтапная работа системы в разрезе используемых модулей и программ показана на рисунке 3 в диаграмме активностей.

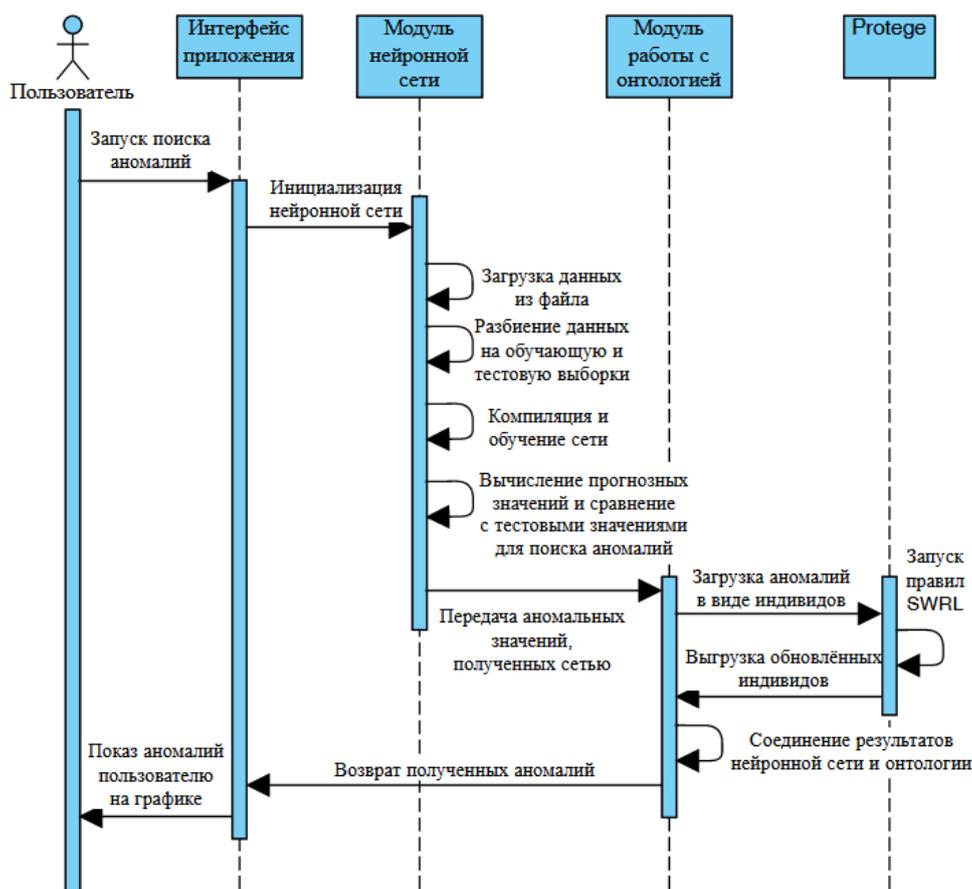


Рис. 3. Диаграмма активностей

Нейронная сеть включает в себя следующие слои: Conv1D — сверточный слой, необходимый для глубокого обучения; Conv1DTranspose — транспонированный сверточный слой; Dropout — слой сброса для предотвращения переобучения. Общая структура сети показана на рисунке 4.

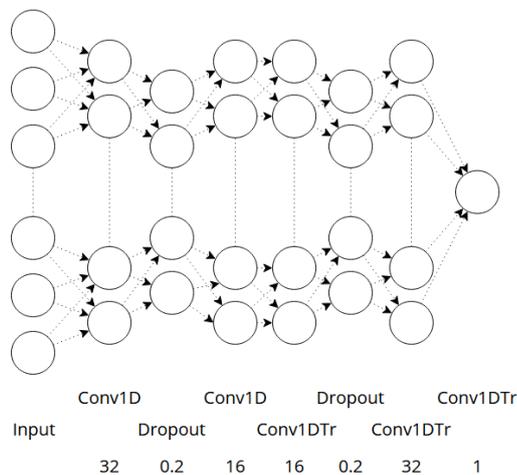


Рис. 4. Структура нейронной сети

Структура онтологии включает в себя несколько классов, показанных на рисунке 5.

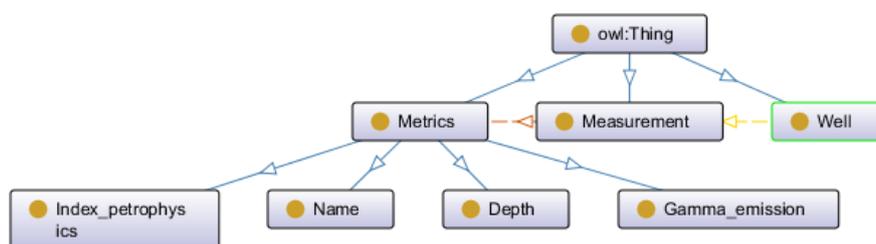


Рис. 5. Структура онтологии

Класс Well — объект реального мира, привязывающий измерения к предметной области. Measurement — класс, показывающий, что значение — замер и часть временного ряда измерений. Класс Metrics демонстрирует связь между замером и каким-либо показателем предметной области.

Также онтология хранит SWRL-правило проверки аномалий на корректность. Пример такого правила представлен на рисунке 6. Оно использует значение временного ряда и делает вывод по параметру, не используемому в нейронной сети.

```
hasGR(?x, ?gr) ^ Well(?x) ^ hasDeltaPHI(?x, ?deltaphi) ^
swrlb:lessThan(?deltaphi, 2.0) -> hasAnomaly(?x, true)
```

Рис.6. SWRL-правило

## 2. Онтологический анализ результатов

В модуле онтологий содержатся классы измерений, свойства измерений, правила. Правила содержат атомы класса и несколько необходимых свойств: аномального значения и дополнительного параметра, по которому подтверждается корректность суждения об аномальности [8].

Атом проверяет достижение параметром константы. Если значение не достигнуто, то замер считается аномальным, иначе значение корректно. Проверка осуществляется с помощью встроенных функций библиотеки `sqlb`. При истинности всех предикатов индивиду в свойство аномальности ставится `true`.

Загрузка и выгрузка индивидов в онтологии в системе происходит с помощью библиотеки `owlready2` для получения из OWL-файла структуры и объектов онтологии и взаимодействия с ними на языке `python`.

Первый шаг работы — очистка всех уже существующих индивидов в онтологии. Каждый запуск загружает все найденные нейронной сетью аномалии в онтологию, а после работы правил выгружает все имеющиеся в онтологии значения. Для загрузки индивидов в онтологию используется класс и свойства, уже описанные в структуре онтологии. После загрузки всех аномалий происходит пересохранение онтологии и запуск правил. После обработки из файла можно получить все индивиды. В цикле проверяется флаг аномальности и отбираются все значения, принятые онтологией за действительно аномальные (рис. 7).

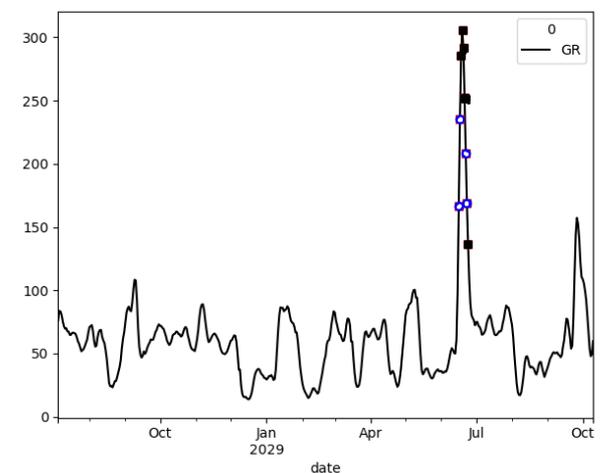


Рис. 7. Результаты работы системы

Черные точки — это аномалии, найденные с помощью нейронной сети, но не получившие подтверждения в онтологии. Точки с пустотой в центре — это значения, подтвержденные правилами онтологии и действительно являющиеся аномалиями.

### Заключение

Разработанная система обрабатывает исходные данные временного ряда и выдает набор аномальных значений. Система использует технологии нейронных сетей и онтологический анализ. Нейронная сеть находит аномалии с помощью построения предсказания на основании обучающей выборки и сравнения с тестовыми данными. Онтология использует заранее разработанный класс и SWRL-правила.

Дальнейшие планы по разработке — усложнение структуры нейронной сети для получения наиболее оптимальных результатов от этого модуля системы. Улучшение для онтологии — добавление классов метрик, позволяющее оперировать переменными, не привязанным к названиям конкретных параметров, а имеющих связи с классами метрик. Вследствие этого расширение системы будет заключаться только в добавлении новых классов метрик и написании новых правил.

### Список литературы

1. *Линдигрин А. Н.* Анализ специфики и проблематики процессов поиска аномалий в сетевых данных // Известия ТулГУ. Технические науки. 2021. № 5. С. 304—309.
2. *Гасанов В. И.* Выявление аномалий в сетевом трафике на основе нейросетевого моделирования динамики изменения объемов IP-пакетов // ММС. 2018. № 2.
3. *Зуев В. Н.* Обнаружение аномалий сетевого трафика методом глубокого обучения // Программные продукты и системы. 2021. № 1. С. 91—97.
4. *Wen T., Keyes R.* Time series anomaly detection using convolutional neural networks and transfer learning // arXiv preprint arXiv:1905.13628. 2019.
5. *Zhong C., Gursoy M. C., Velipasalar S.* Anomaly Detection and Sampling Cost Control via Hierarchical GANs // GLOBECOM 2020—2020 IEEE Global Communications Conference. IEEE, 2020. С. 1—6.
6. *Мошкин В. С., Ярушкина Н. Г.* Система онтологического анализа временных рядов // Автоматизация процессов управления. 2014. № 2 (36). С. 78—85.
7. *Malhotra P., Vig L., Shroff G. M., Agarwal P.* Long Short Term Memory Networks for Anomaly Detection in Time Series. ESANN, 2015.
8. *Мошкин В. С., Ярушкина Н. Г.* Особенности интеграции механизмов логического вывода в онтологическую модель представления знаний с помощью SWRL-правил // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ — 2014 : тр. конф. Казань : Изд-во РИЦ «Школа», 2014. Т. 1. С. 173—181.

**Г. М. Новикова**

*МГИМО, Москва, Россия, e-mail: novikova\_gm@mail.ru*

## **ИНТЕГРАЦИЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ И ЭКСПЕРТНЫХ ЗНАНИЙ В ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ КОРПОРАТИВНОЙ ИНФОКОММУНИКАЦИОННОЙ СИСТЕМЕ**

### **Введение**

Применение корпоративной инфокоммуникационной системы (КИС) в настоящее время вышло за границы автоматизации производственной, финансово-хозяйственной и информационной поддержки управленческой деятельности. Совершенствование системы управления предприятием включает создание гибридной интеллектуальной системы, которая интегрирует работу персонала и корпоративной инфокоммуникационной системы, реализующей методы и технологии искусственного интеллекта (ИИ). КИС становится мозгом фирмы как часть поддерживаемого ею гибридного интеллекта, объединяя возможности искусственного и естественного интеллекта для решения как оперативных и ситуационных, так и стратегических задач, возникающих в процессе жизнедеятельности корпорации [1]. Инструмент интеграции естественного и искусственного интеллекта — краудсорсинговая платформа, включенная в архитектуру КИС [2].

Сегодня искусственный интеллект часто ассоциируется исключительно с созданием нейронного интеллекта и применением методов машинного обучения [3]. Создание и повсеместное внедрение средств сбора и обработки больших данных, формирование корпусных данных в различных предметных областях (ПО) вытесняет сегодня технологии работы с экспертными знаниями и создания на их основе баз знаний. Отходит в прошлое понятие «инженер по знаниям», технологии создания искусственного интеллекта все больше отводят человеку роль поставщика первичной информации — данных для машинного обучения. Однако такому ограниченному взгляду на понятие «искусственный интеллект» противостоит накопленный десятилетиями багаж экспертных знаний, в частности в сфере корпоративного управления, — основа создания систем поддержки принятия решений, например, производственного типа. Кроме того, накапливается информационный контент для создания онтологии предприятия и системы корпоративного менеджмента.

В то же время скорость и частота изменения состояний внешней и внутренней корпоративной среды, обусловленная в том числе масштабом корпораций, многообразием видов деятельности, территориальной распределенностью, ставит задачу интеграции экспертных знаний, лежащих в основе базы

знаний КИС, и методов машинного обучения, лежащих в основе инструментов распознавания и быстрого реагирования на изменения. Кроме того, существуют задачи управления, для решения которых использование методов машинного обучения эффективнее, чем применение экспертных знаний.

### 1. Задачи, возникающие в процессе управления

Корпорация представляет собой сложную динамическую систему, цель которой — долгосрочное получение прибыли при устойчивом развитии. Управление такой системой предполагает наличие разных контуров управления, для каждого из которых определена своя цель управления (табл.).

#### Контур управления системы корпоративного менеджмента

Контур управления	Цель
Контур оперативного менеджмента	Стабильное функционирование системы
Контур стратегического менеджмента	Развитие системы
Контур антикризисного менеджмента	Адаптация и предупреждение негативных воздействий
Контур ситуационного менеджмента	Вывод из кризисных ситуация

Аксиома Э. Деминга — «любую деятельность, в том числе и все виды деятельности, встречающиеся в работе организации, мы должны рассматривать как технологический процесс» — является основой процессного подхода к управлению и предполагает выполнение задач предложенного им цикла управления PDCA (рис. 1).

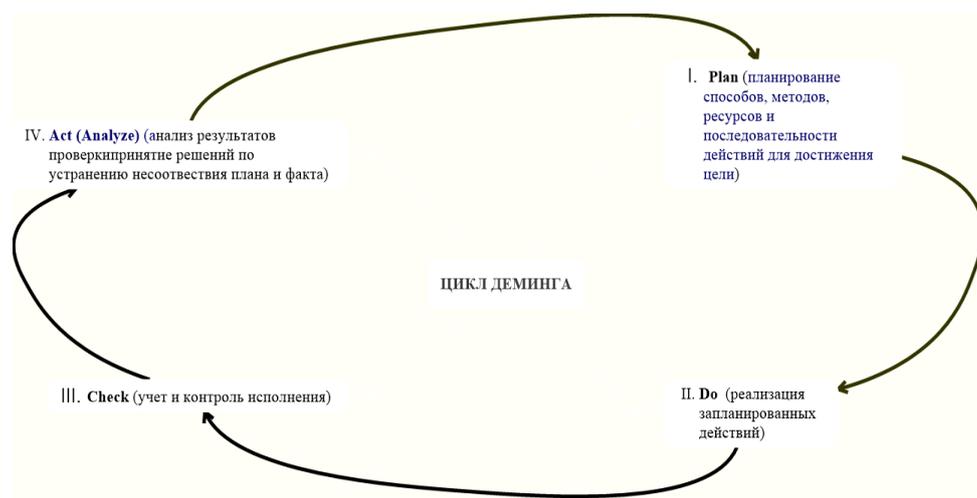


Рис. 1. Задачи цикла управления (PDCA)

Однако цикл Деминга не включает одну из важнейших задач, возникающих в процессе управления, — задачу распознавания, возникающую в контурах ситуационного и антикризисного менеджмента, а также в контуре стратегического менеджмента. Необходимость и актуальность решения этой задачи связана сегодня с динамикой изменения состояний и свойств внутренней и внешней среды функционирования такого объекта управления, как корпорация (рис. 2).



Рис. 2. Задачи контура ситуационного менеджмента

Кроме того, цикл Деминга в контурах стратегического, ситуационного и антикризисного менеджмента должен быть также доопределен задачей прогнозирования, необходимой для определения целей, как стратегических, так и ситуационных и ресурсов для их достижения. Что касается контура стратегического менеджмента, то сегодня реализуются адаптивные стратегии, когда обработка поступающих событийных данных может изменить путь (вектор) достижения стратегической цели.

## 2. Место машинного обучения при решении задач, возникающих в процессе управления

Если в контуре оперативного менеджмента принятие решений базируется на исполнении регламентов, накопленного опыта и лучших практик для выполнения работы результативно и эффективно, то в контурах ситуационного и антикризисного менеджмента требуется реализовать поиск и принятие оптимального решения в сжатые сроки на основе распознавания сложившейся ситуации и прогнозирования ее дальнейшего развития. Таким образом, в основе принятия решений в контуре оперативного менеджмента лежит консолидация и формализация экспертных знаний, составляющих интенциональный уровень базы знаний КИС, в то время как решение задач распознавания и прогнозирования связано с обработкой больших объемов информации, накапливаемой в корпоративных хранилищах, а также поступающей из раз-

личных источников в режиме реального времени. Эксперт не способен не только обработать такой большой объем информации, но и реализовать принятие решений в адекватное для динамики изменения ситуации время. Кроме того, экспертные знания могут не охватывать состояний, свойств и закономерностей функционирования объектов предметной области, ранее не встречающихся на практике. Необходимо также учитывать, что поиск оптимальных решений, в основе которого лежит обработка логических формул интенционального уровня базы знаний методом дедуктивного вывода, сталкивается с проблемой размерности.

Машинное обучение базируется на идее о том, что интеллектуальные системы могут учиться выявлять закономерности и принимать решения с минимальным участием человека [3]. К задачам, которые сегодня решаются методом машинного обучения, относятся задачи распознавания и прогнозирования, в частности классификация — отнесение объекта к тому или иному классу; прогнозирование числовых значений признаков; поиск аномальных объектов, состояний, свойств и ситуаций.

Развитие технологий и инструментов сбора и обработки больших данных сегодня расширяет множество типов объектов прогнозирования и распознавания, которыми сегодня могут быть свойства, характеристики и их значения; состояния и ситуации; события и свойства; связи и соотношения.

Большие данные могут свидетельствовать, например, о появлении объектов с новыми свойствами; появлении новых состояний элементов и систем; наличии элементов, свойства и цели которых противоречат целям и свойствам корпоративной системы; отличии фактических и декларируемых целей системы и ее элементов; наличии несоответствия состояний, свойств и значений характеристик у элементов системы; нарушении законов управления и функционирования [4].

### 3. База знаний корпоративной интеллектуальной инфокоммуникационной системы

База знаний КИС, в основе которой лежат экспертные знания, многолетний опыт моделирования и описания корпоративного пространства, исследование теории корпоративного управления и общей теории систем, включает онтологический и формальный уровни, а также базу данных, фиксирующую текущее состояние системы и среды ее функционирования.

Каркасом формального уровня представления знаний является предложенная Д. А. Поспеловым семиотическая система

$$SS = \langle T, R, A, P, C(T), C(R), C(A), C(P) \rangle,$$

где  $T$  — множество термов формальной системы (ФС);  $R$  — множество синтаксических правил построения правильно построенных формул (ППФ);  $A$  — множество аксиом формальной системы;  $P$  — множество правил вывода;  $C(T)$  — правила изменения множества термов формальной системы;  $C(A)$  —

правила изменения аксиом формальной системы;  $C(R)$  — правила изменения множества правил построения правильно построенных формул;  $C(P)$  — правила изменения правил вывода [5; 6].

Семиотическая система задает множество формальных систем, в которых изменяются не только аксиомы системы, отражающие закономерности функционирования объекта управления, но и множество термов, а также правил построения ППФ, описывающих свойства элементов и топологию такого сложно структурированного квазистационарного объекта, как корпорация. Если  $T$ ,  $R$ ,  $A$ ,  $P$  описывают элементы, структуру и законы функционирования объекта управления, то  $C(T)$ ,  $C(R)$ ,  $C(A)$ ,  $C(P)$  отражают правила принятия управляющих воздействий, описывая работу системы управления.

В то же время методы машинного обучения, позволяющие обнаруживать неявно выраженные связи на основе исторической информации, собранной в хранилище данных, а также выявлять закономерности, обрабатывая созданные в различных предметных областях информационные корпуса, могут помимо эксперта стать источником знаний для КИС.

Методы машинного обучения отражают когнитивные процессы, в которых человек, решая задачи, в том числе и жизненные, набирается опыта и знаний, и хорошо, когда ситуации для этого опыта проигрываются в информационном пространстве и есть время на их осознание, а ущерб от ошибок минимален. С точки зрения семиотической системы — формального аппарата, лежащего в основе базы знаний КИС, место нейронных сетей и механизмов машинного обучения — в обнаружении оптимальных правил (законов управления), которые сначала можно находить в среде имитационного моделирования и потом, осознав их эффективность, использовать на практике. В то же время сбор больших данных позволяет выявить не только оптимальные законы управления, но также определять текущие закономерности предметной области, корреляционные связи между событиями, состояниями, характеристиками и свойствами объектов предметной области. Таким образом, место механизмов машинного обучения в корректировке теории предметной области — приведение ее в соответствие с текущим состоянием внешней и внутренней корпоративной среды.

### Заключение

Эволюция КИС добавляет новые свойства, позволяющие отнести ее к классу интеллектуальных систем, активно участвующих в решении задач, возникающих в процессе управления. КИС становится интеллектуальной корпоративной инфокоммуникационной системой. Формальной основой базы знаний такой интеллектуальной системы является семиотическая система, обладающая достаточной выразительной мощностью для описания поведения как объекта, так и субъекта управления. Аксиоматика функционирования объекта управления, а также продукционные правила, описывающие логику принятия управленческих решений формируются на базе экспертных знаний.

Однако развитие и внедрение цифровых технологий, а также интеграция экспертных знаний и методов машинного обучения в рамках краудсорсинговой платформы расширяют множество решаемых задач, создавая компоненты, поддерживающие или автоматизирующие процесс принятия управленческих решений во всех контурах управления. Использование когнитивных возможностей методов машинного обучения в области коррекции онтологического и формального уровня базы знаний позволяет реализовать и развивать адаптивные свойства корпорации, необходимые в условиях динамично изменяющейся внешней и внутренней среды, создавать «обучающееся» предприятие, реагирующее на изменения и предвидящее перемены [7].

### Список литературы

1. Новикова Г. М. Интеллектуальные технологии в корпоративных системах управления // Двигатель. 2012. № 4 (82).
2. Новикова Г. М. Гибридная интеллектуальная система в системе менеджмента качества организации // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : сб. тр. IV Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2018. С. 274—277.
3. Что такое машинное обучение? Методы, типы, задачи и примеры машинного обучения. URL: <https://mining-cryptocurrency.ru/mashinnoe-obuchenie-metody-tipy> (дата обращения: 25.02.2022).
4. Новикова Г. М., Азофейфа Э. Х. Semantics of Big Data in Corporate Management Systems // Вестник Российского университета дружбы народов. Сер.: Математика, информатика, физика. 2018. Т. 26, № 4. С. 383—392.
5. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. М. : Наука, 1986.
6. Осипов Г. С. От ситуационного управления к прикладной семиотике // Новости искусственного интеллекта. 2002. № 6 (54). С. 2—12.
7. Тарасов В. Б. Интеллектуальные предприятия и управление знаниями: на пути к синергетическому искусственному интеллекту // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : тр. IV междунар. конф. Самара : Самарский научный центр РАН, 2002. С. 166—176.

**Г. В. Рыбина<sup>1</sup>, А. А. Слиньков<sup>2</sup>, А. А. Григорьев<sup>3</sup>**

*<sup>1, 2, 3</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия  
e-mail: <sup>1</sup>GVRybina@yandex.ru, <sup>2</sup>sanch971@mail.ru, <sup>3</sup>grigandal625@gmail.com*

## **ОНТОЛОГИИ КАК СРЕДСТВО УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ПОСТРОЕНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕГРИРОВАННЫХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ РАЗЛИЧНОЙ АРХИТЕКТУРНОЙ ТИПОЛОГИИ**

### **Введение**

Последние несколько лет характеризуются повышенным интересом к использованию онтологического подхода не только для моделирования и разработки спецификаций разнородных знаний, методов, задач, процессов, документов и т. п. и построения соответствующих онтологий, но и для автоматизации процессов проектирования программного обеспечения (ПО) на основе создания семантических моделей проектирования ПО [1], в том числе интеллектуальных систем, например интегрированных экспертных систем (ИЭС) различной архитектурной типологии [2; 3].

Сегодня в рамках нового направления, позиционируемого как *Ontology-Based-Software-Engineering (OBSE)* или *Ontology-Driven-Software-Engineering (ODSE)*, решается достаточно широкий спектр вопросов: от создания разнообразных моделей проектирования программных систем и управления этими процессами [4—8] до описания моделей, методов и подходов разработки и/или использования конкретных предметных (*domain*), прикладных (*application*) и других типов онтологий, включая вопросы автоматизации этих процессов (см., например, [9]). К направлению *OBSE-ODSE* относятся также и работы по созданию инструментальных средств онтологического инжиниринга в конкретной проблемной области (ПрО) (в частности, [2; 10] и др.).

В последние годы усилилось внимание не только к вопросам построения различных типов онтологий, но и к общим теоретико-методологическим аспектам применения онтологического подхода при решении различных проектных задач в различных ПрО и выделения онтологий проектирования в самостоятельные научные и учебные дисциплины на основе анализа коллективного экспертного опыта [11]. В частности, в [12] рассматривается уже определенный опыт создания самостоятельной учебной дисциплины и подготовки соответствующего учебно-методического комплекса дисциплины (УМКД).

Однако, несмотря на большое число и разнообразие отечественных и зарубежных работ в области онтологий, моделей и методов их построения, существенно меньше пока рассматриваются достаточно важные вопросы разработки практически значимой онтологической модели процессов проектиро-

---

© Рыбина Г. В., Слиньков А. А., Григорьев А. А., 2022

вания ПО конкретного класса программных систем (такие, как в [2]): снижение интеллектуальной нагрузки на инженеров по знаниям и разработчиков интеллектуальных систем на различных этапах жизненного цикла (ЖЦ), особенно на таких трудоемких этапах, как анализ системных требований и проектирование; построение семантически адекватного онтологического представления проектируемой архитектуры, состава, структуры и спецификаций отдельных компонентов и связей между ними; корректное отражение базовых процессов проектирования ПО на всех этапах ЖЦ, включая общее и детальное планирование и управление этими процессами.

Таким образом, эффективность использования онтологического подхода в контексте автоматизации и интеллектуализации проектирования ПО современных программных систем, особенно интеллектуальных систем, зависит от наличия адекватных моделей полного ЖЦ, учета особенностей моделей архитектур разрабатываемых систем и их отдельных компонентов, от модели генерации ПО, включая повторное использование программных компонентов, а также от модели и/или прикладной онтологии ПрО, в которой предполагается функционирование конкретной системы.

Решению этих и других важных проблем посвящен новый этап исследований по дальнейшему развитию задачно-ориентированной методологии построения ИЭС [13] и поддерживающей данную методологию интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [13; 14]. Принципиальная особенность этой методологии — концептуальное и программное моделирование архитектуры разрабатываемых прикладных ИЭС (статических, динамических, обучающих) на всех уровнях конкретизации процессов интеграции в ИЭС с ориентацией на наиболее распространенные типы неформализованных задач (НФ-задачи), релевантных технологии систем, основанных на знаниях.

В качестве концептуальной основы создания интеллектуальной технологии построения ПО прикладных ИЭС используется введенное в [13] понятие модели интеллектуальной программной среды, основными компонентами которой выступают технологическая база знаний (БЗ), содержащая информацию о типовых проектных процедурах (ТПП) проектирования ИЭС и повторно используемых компонентах (ПИК), а также интеллектуальный планировщик, реализация которого выполнена в составе средств комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ [14]. Как показано в [2; 3], состав технологической БЗ был расширен за счет разработки и включения прикладной онтологии типовых архитектур ИЭС с целью поддержки семантического уровня взаимодействия интеллектуального планировщика с совокупностью информационно-программных ресурсов технологической БЗ в виде ТПП и ПИК.

В связи с этим в фокусе внимания данной работы находятся вопросы обсуждения результатов экспериментального программного исследования процессов управления прототипированием прикладных ИЭС на основе примене-

ния нового онтологического подхода совместно с разработанными ранее методами и средствами интеллектуального планирования [14]. Однако здесь важно отметить, что значительную роль в продвижении базовых идей в создании практически значимой сематической модели проектирования ПО прикладных ИЭС сыграл большой опыт разработки и многолетнего использования в учебном процессе НИЯУ МИФИ прикладных онтологий курсов/дисциплин в рамках обучающих ИЭС [13; 15] и создания единого онтологического пространства знаний и умений для подготовки компетентностно-ориентированных моделей выпускников по направлению подготовки «Программная инженерия» [13; 15].

### **1. Опыт реализации онтологического подхода для организации интеллектуального обучения на основе разработки и использования обучающих ИЭС в учебном процессе**

Активные работы по разработке и использованию обучающих ИЭС — наиболее востребованного класса интеллектуальных обучающих систем (ИОС) — начались с 2008 г., и сегодня практически полностью учебный процесс кафедры «Кибернетика» по направлению подготовки «Программная инженерия» поддерживается обучающими ИЭС, в состав архитектуры которых входят прикладные онтологии конкретных курсов/дисциплин, а общее функционирование осуществляется под управлением обобщенной онтологии «Интеллектуальные системы и технологии».

Следует отметить, что еще в ранних версиях обучающих ИЭС кроме традиционных моделей ИОС, таких как модель обучаемого, модель обучения, модель объяснения, модель ПрО, была введена так называемая «эталонная модель курса/дисциплины» [13], отражающая некоторый эталонный уровень знаний преподавателя в виде семантической сети специального типа. Затем этот термин был заменен на эквивалентный термин «модель онтологии», а построенные с помощью инструментальных средств комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ соответствующие прикладные онтологии стали выполнять важные интеграционные функции [15] в следующих случаях: при построении текущих моделей обучаемых (выявление «проблемных зон» в знаниях обучаемых при обработке результатов веб-тестирования, построение целевых компетенций, генерация вариантов тестовых заданий на основе генетического алгоритма); для динамического формирования индивидуальной стратегии обучения за счет использования обучающих воздействий различных типов [13] при построении адаптивных моделей обучения; для генерации индивидуальной траектории применения конкретных обучающих воздействий на основе анализа психологического портрета обучаемого [13; 15] и другие функции.

Полное описание модели онтологии в виде семантической сети, доказавшей свою эффективность при создании прикладных онтологий курсов/дисциплин в обучающих ИЭС, содержится в целом ряде работ, в частности в

[15], а ниже приводится ее упрощенное представление, отражающее основные специфические свойства, которые наиболее существенны с точки зрения возможностей ее использования в качестве базовой для разработки модели онтологии типовых архитектур ИЭС [2; 3]. Здесь важно, что базовая модель представляется тройкой вида  $M = \langle V, U, C \rangle$ , где  $V$  — множество элементов онтологии, допускающих любую типологию и спецификации в контексте поставленной задачи;  $U$  — множество связей между элементами онтологии, причем в основном сейчас используются три типа связей: связь типа «часть — целое» (агрегация) означает, что дочерняя вершина является частью родительской вершины; связь типа «ассоциация» означает, что для владения понятием родительской вершины необходимо владеть понятием дочерней вершины; «слабая» связь означает, что для владения понятием родительской вершины владение понятием дочерней вершины желательно, но не является необходимым;  $C$  — множество иерархических связей между элементами онтологии.

Подобная универсальность в интерпретации элементов базовой модели онтологии позволила достаточно гибко использовать ее для модификации и дальнейшего развития в контексте описания структуры и логической взаимосвязи компонентов наиболее распространенных типовых архитектур ИЭС при создании интеллектуальной технологии проектирования ПО прикладных ИЭС.

Для определения места и роли прикладной онтологии типовых архитектур как нового компонента технологической БЗ рассмотрим кратко на концептуальном уровне некоторые особенности методов и подходов, разработанных для интеллектуальной поддержки процессов прототипирования прикладных ИЭС (формальное описание приводится в [13; 14] и других работах).

## **2. Общая характеристика подхода к использованию онтологии типовых архитектур в процессе прототипирования прикладных ИЭС**

Как было отмечено выше, базовый декларативный компонент модели интеллектуальной программной среды — технологическая БЗ, содержащая знания о накопленном опыте построения ИЭС в виде совокупности ТПП и ПИК. Операционный базовый компонент — это средства интеллектуального планирования действий инженеров по знаниям, обеспечивающие генерацию и исполнение планов построения прототипов ИЭС, то есть интеллектуальный планировщик, разработанный на основе интеграции моделей и методов интеллектуального планирования с методами инженерии знаний, применяемыми в области ИЭС.

В качестве исходных данных для генерации планов разработки прототипов ИЭС выступают модель архитектуры прототипа ИЭС, описанная с помощью иерархии расширенных диаграмм потоков данных (РДПД) [13], и технологическая БЗ, содержащая множество ТПП и ПИК. Соответственно, модель процессов прототипирования ИЭС [13; 14] включает функцию планирования действий инженеров по знаниям для получения текущего прототипа ИЭС для конкретной ПрО. Поэтому постановка задачи интеллектуального

планирования процессов прототипирования ИЭС рассматривается в контексте данной модели, а для реализации эффективного метода планирования действий инженеров по знаниям был использован достаточно известный подход, связанный с планированием в пространстве состояний.

Основная задача интеллектуального планировщика заключается в автоматической генерации планов (глобального и детальных [14]) на основе модели архитектуры ИЭС и набора ТПП из технологической БЗ, что значительно снижает риски ошибочных действий инженеров по знаниям. Выполнение задач плана осуществляется с помощью совокупности операционных ПИК (каждая плановая задача связана с определенной функцией конкретного ПИК). Оперирруя ТПП как основным алгоритмическим элементом, интеллектуальный планировщик в каждый момент времени производит детальное построение плана разработки ИЭС в зависимости от текущего состояния проекта (типа НФ-задачи, отраженной на модели архитектуры), особенностей ПрО, наличия на модели архитектуры накопителей данных и т. п. Общая схема процесса прототипирования прикладных ИЭС с использованием интеллектуального планировщика и технологической БЗ представлена на рисунке [2; 14].

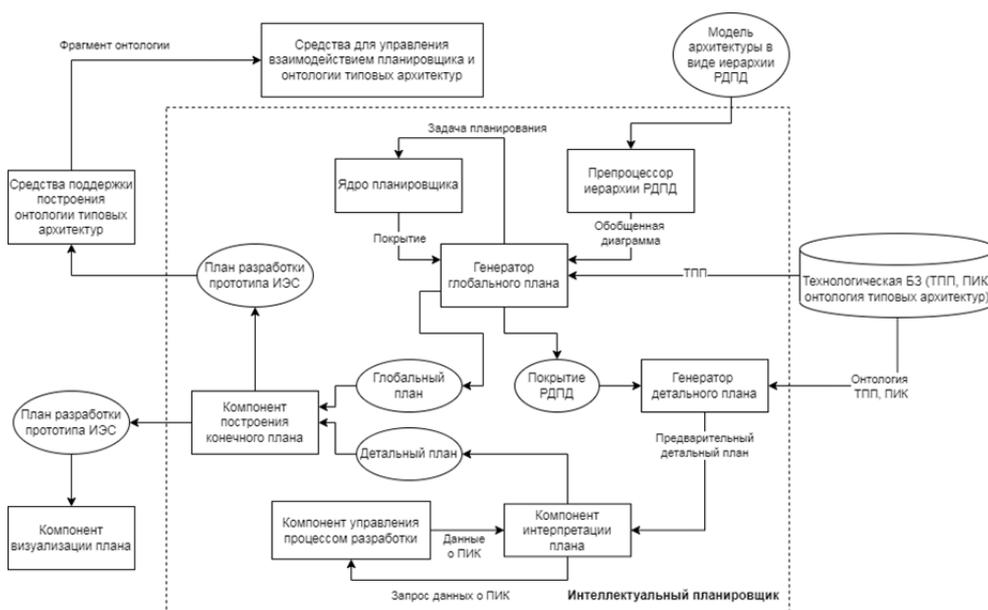


Рис. Общая схема процесса прототипирования прикладных ИЭС с использованием интеллектуального планировщика и технологической БЗ

Проведенные исследования [2; 3; 13; 14] показали, что создание технологии применения интеллектуальной программной среды для построения прототипов прикладных ИЭС и эффективность ее использования, например, с целью снижения интеллектуальной нагрузки на инженеров по знаниям во

многим зависит не только от уровня сложности моделей архитектур проектируемых ИЭС, но и существенным образом определяется степенью доступности ТПП и ПИК при их поиске и инициализации. В настоящее время в составе технологической БЗ используется уже свыше 90 семантически разнородных ПИК с неявно выраженным функционалом и спецификациями, что привело к повышению трудоемкости поиска и усилило негативный эффект от неоптимальности выбора решений. Поэтому состав технологической БЗ расширен построением прикладной онтологии типовых архитектур ИЭС [2], причем в качестве базовой модели онтологии взята рассмотренная выше модель в виде специальной семантической сети [13; 15].

Разработкой формальных спецификаций (конкретизаций) базовой модели ПИК для всех используемых в настоящее время ПИК и их версий, а также анализа различных моделей архитектур ИЭС и основных ТПП проведена модификация описанной выше базовой модели, в соответствии с чем текущая версия прикладной онтологии [2; 15] представляется в виде  $Op_{arx} = \langle Mom, Farx \rangle$ , где  $Mom$  — модифицированная модель типовых архитектур ИЭС;  $Farx$  — множество базовых и модифицированных операций (процедур) построения элементов онтологии, реализованных в виде программных компонентов, каждый из которых в соответствии с требованиями интеллектуальной программной среды комплекса АТ-ТЕХНОЛОГИЯ оформлен как операционный ПИК.

Модифицированная модель [2] представляет собой семантическую сеть, описываемую в виде:  $Mom = \langle Vom, Uom, PDom \rangle$ , где  $Vom$  — множество элементов модели архитектуры (Мизэ), построенной исходя из идей глубинной интеграции компонентов (на всех уровнях интеграции), причем каждый элемент включает название вершины онтологии, вес (в интервале  $0 \dots 100$ ) и информацию об используемых ПИК;  $Uom$  — множество связей нескольких типов между элементами модели Мизэ (родительские и дочерние вершины онтологии), причем семантика типов этих связей может широко варьироваться (агрегация, ассоциация, иерархия, сильная, средняя и слабая связи и другие) и интерпретироваться в зависимости от используемой ТПП;  $PDom$  (опционально) множество специальных данных, то есть информация различного характера, специфицирующая особенности и/или нестандартные подходы к разработке отдельных компонентов прототипа ИЭС (параметры, тексты, кодификаторы, сведения о внешних подсистемах, компонентах, приложениях и т. д.).

Рассмотрим кратко некоторые аспекты, связанные с особенностями построения прикладной онтологии типовых архитектур ИЭС на основе данной модели.

### 3. Особенности построения прикладной онтологии типовых архитектур ИЭС

Прикладная онтология типовых архитектур ИЭС — онтология нового класса, позволяющая адекватно учитывать семантические особенности моделей архитектур, проектируемых ИЭС [13] и особенности покомпонентной

функциональности в виде совокупности ПИК. Модель архитектуры прототипа ИЭС, представляемая иерархией РДПД, — одна из важнейших составляющих проекта, поскольку ее структура во многом определяет состав прототипа ИЭС и его функциональные и интеграционные возможности для поддержки решения конкретного класса задач.

В соответствии с [13] элементы иерархии РДПД характеризуются такими типами данных, как НФ-операция (NF); формализованная операция (Op); сущность (E); хранилище (S) и др. Существенно, что вследствие многоуровневости интеграционных процессов, отражаемых в иерархии РДПД, — появление элементов архитектуры на разных уровнях вложенности, что приводит в процессе построения детальных планов к разным архитектурным решениям, включая использование ПИК. Соответственно, одни и те же элементы архитектуры могут обладать различными логическими и информационными возможностями, поэтому ПИКи, реализующие эту функциональность для идентичных элементов, также работают по-разному [2]. Исходя из этого, структура прикладной онтологии типовых архитектур ИЭС, а также алгоритмы и процедуры ее создания и хранения были разработаны таким образом, чтобы обеспечить возможность привлечения и гибкой настройки соответствующих ПИК для выполнения плановых задач в зависимости от особенностей модели архитектуры проектируемой ИЭС, причем некоторые задачи инженер по знаниям может выполнять самостоятельно или в связке с экспертом.

Поэтому именно семантическая сеть в качестве модели онтологии типовых архитектур ИЭС, а не общий словарь понятий, который чаще всего используется в большинстве систем обработки информации онтологического типа, существенно усиливает семантику вершин сети и отображает отношения не только таксономического типа, но и более сложные связи между моделями ТПП, ПИК и архитектур ИЭС, а также мощную функциональность при интерпретации отношений и вершин (элементов онтологии). Как показано в [2], в самом общем случае структура прикладной онтологии типовых архитектур ИЭС представляется следующим образом: на верхнем уровне онтологии находятся различные архитектуры ИЭС (уровень типовых архитектур); далее располагаются элементы архитектур (этот уровень, как следует из модели онтологии, содержит неограниченное количество подуровней, зависящее от вложенности компонентов, входящих в состав элементов архитектур); затем представлены операции, которые выполняют компоненты элементов архитектур; на нижнем уровне онтологии находятся ПИКи, которые реализуют операции компонентов элементов архитектур.

Для поддержки процессов построения прикладной онтологии типовых архитектур ИЭС разработаны специальные инструментальные средства, позволяющие реализовать необходимую функциональность, а также созданы программные средства для управления взаимодействием интеллектуального планировщика с онтологией типовых архитектур (рис.). Поскольку приклад-

ная онтология типовых архитектур включает различные модели архитектур ИЭС и их элементы (подсистемы/средства/компоненты), то над элементами моделей архитектур как над элементами онтологии можно производить следующие операции: инициализация добавления новой архитектуры в онтологию; добавление элементов архитектуры в онтологию; удаление элементов архитектуры из онтологии; выполнение выборки элементов онтологии; объединение онтологий. Предусмотрена возможность пополнения технологической БЗ путем добавления новых ТПП или изменения формата, имеющих с использованием специального языка, основанного на XML, а также пополнения набора операционных ПИК.

### Заключение

В целом идея разработки и использования прикладной онтологии типовых архитектур ИЭС стала достаточно удачным «полигоном» для дальнейшего развития интеллектуальной технологии планирования и управления процессами построения интеллектуальных систем, в том числе на основе онтологического подхода.

### Список литературы

1. *Хорошевский В.Ф.* Проектирование систем программного обеспечения под управлением онтологий: модели, методы, реализации // Онтология проектирования. 2019. Т. 9, №4. С. 429—448.
2. *Rybina G. V., Slinkov A. A.* The Implementation of the Ontological Approach to Control of the Processes of Designing Integrated Expert Systems Based on the Problem-Oriented Methodology // Artificial Intelligence. 19<sup>th</sup> Russian Conference, RCAI 2021, Taganrog, Russia, October 11—16, 2021. Proceedings. Springer, 2021. P. 354—364.
3. *Rybina G., Slinkov A., Sorokin I.* Ontological Approach to Software Development for Integrated Expert Systems Created on the Basis of the Problem-Oriented Methodology // Proceedings of the XXIII International Conference «Enterprise Engineering and Knowledge Management» (EEKM 2020). Moscow, 2021. Vol. 2919. P. 209—217.
4. *Bossche M. V., Ross P., MacLarty I. et al.* Ontology Driven Software Engineering for Real Life Applications // Proc. 3rd International Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering, SWESE 2007. Innsbruck, 2007.
5. *Ontologies for Software Engineering and Software Technology.* 1<sup>st</sup> ed. / C. Calero, F. Ruiz, M. Piattini. Springer, 2006.
6. *Happel H. J., Korthaus A., Seedorf S., Tomczyk P.* KOntoR: An Ontology-enabled Approach to Software Reuse // Proc. SEKE 2006: the 18th International Conference on Software Engineering & Knowledge Engineering. California, 2006.
7. *Happel H., Seedorf S.* Applications of ontologies in software engineering // Proc. of the 2nd International Workshop on Semantic Web Enabled Software Engineering. ESE' 06. 2006.
8. *Jabar M. A., Khalefa M. S.* General Domain Ontology in Enterprise Software Development Process // International Journal of Engineering and Advanced Technology. 2019. Vol. 8, iss. 3S.

9. *Загоруйко Г.Б.* Модель комплексной поддержки разработки интеллектуальных СППР // *Онтология проектирования*. 2019. Т. 9, №4. С. 402—479.

10. *Olszewska J.I., Allison I.K.* ODYSSEY: Software Development Life Cycle Ontology // *Proc. International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management*. Seville, 2018.

11. *Боргест Н.М.* Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения // *Онтология проектирования*. 2013. №3 (9). С. 9—31.

12. *Боргест Н.М.* *Онтология проектирования*. 2-е изд. Самара : Новая техника, 2014.

13. *Рыбина Г.В.* *Теория и технология построения интегрированных экспертных систем* : монография. М. : Научтехлитиздат, 2008.

14. *Рыбина Г.В., Блохин Ю.М.* Методы и программные средства интеллектуального планирования для построения интегрированных экспертных систем // *Искусственный интеллект и принятие решений*. 2018. №1. С. 12—28.

15. *Рыбина Г.В.* Интеллектуальная технология построения обучающих интегрированных экспертных систем: новые возможности // *Открытое образование*. 2017. Т. 21, №4. С. 43—57.

**И. А. Седых<sup>1</sup>, В. А. Истомин<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> sedykh-irina@yandex.ru, <sup>2</sup> istomin96@mail.ru

## **ИЕРАРХИЧЕСКИЕ ДИНАМИЧЕСКИЕ НЕЙРО-ОКРЕСТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ С ПЕРЕМЕННЫМИ ОКРЕСТНОСТЯМИ**

### **Введение**

Имитация сложных процессов требует применения особых специализированных методов математического моделирования, а иногда и совокупности таких методов. В данной статье речь пойдет об иерархических динамических нейро-окрестностных моделях с переменными окрестностями.

Искусственные нейронные сети хорошо известны не только в научных кругах, но и у большинства пользователей Интернета, телевидения и т. д. Результаты их функционирования встречаются повсеместно: анализ больших потоков текстовой информации, автоматическая обработка и ретушь изображений, запись видео в режиме реального времени, написание музыки, оптимизация поиска новых препаратов, системы автопилотирования и т. д.

Окрестностное моделирование [1—6] — одно из активно развивающихся направлений математического аппарата. Сфера практического применения окрестностных моделей достаточно обширна: моделирование охлаждения полосы на стане горячего проката металлургического производства, управление системами очистки сточных вод, проектирование систем теплоснабжения, имитация работы печи клинкера цементного производства и т. д.

Ранее в [1] была рассмотрена иерархическая динамическая нейро-окрестностная модель — гибрид, совмещающий в себе структуру динамической окрестностной модели [2] и искусственные нейронные сети [7—9] внутри узлов. Стоит отметить, что возможно применение различных типов нейронных сетей [9].

Иерархические динамические нейро-окрестностные модели с переменными окрестностями отличаются наличием динамических связей между узлами системы, изменяющихся в каждый дискретный момент времени функционирования. Ниже рассмотрим описание таких моделей.

### **1. Иерархические динамические нейро-окрестностные модели**

Иерархическая динамическая нейро-окрестностная модель в общем случае описывается набором [3]

$$NS_{IER}^{NN} = (N, X, V, Y, G, F, t_0, X[t_0], t),$$

где  $N = (A, O)$  — структура, которая содержит множество узлов  $A$  и окрестностных связей  $O$  между ними, причем каждый узел иерархический, содер-

жащий одну или несколько нейронных сетей;  $X$  — состояния модели;  $V$  — входы модели;  $Y$  — выходы модели;  $G$  — функция пересчета состояний;  $F$  — функция пересчета выходов;  $t_0$  — начальное время функционирования модели;  $X[t_0]$  — начальное состояние, в котором находится модель в момент времени  $t_0$ ;  $t$  — текущий момент времени.

Окрестностные связи по состояниям и по выходам иерархической динамической нейро-окрестностной модели в общем случае могут отличаться друг от друга [1]. В данной статье рассматривается частный случай, в котором окрестности узлов по состояниям и по выходам совпадают. Поэтому в каждом узле модели будет одна вложенная нейронная сеть.

Схематично иерархические динамические нейро-окрестностные модели представляются с помощью графов (рис. 1).

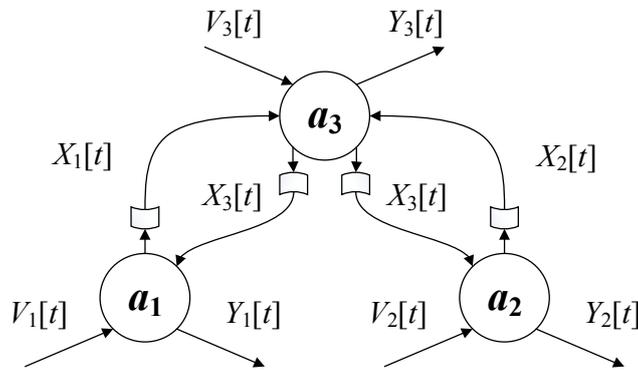


Рис. 1. Граф структуры окрестностной модели

На рисунке 1 отображены следующие элементы. Символ  $\odot_{a_i}$  обозначает узел  $a_i$  динамической нейро-окрестностной модели, входящий в множество узлов  $A = \{a_1, a_2, a_3\}$ . Узлы обладают различными характеристиками, зависимостями от внешних факторов и других узлов. Символ  $\square$  — задержка функционирования модели на такт;  $V_i[t]$  — входное воздействие;  $X_i[t]$  — состояние;  $Y_i[t]$  — выход узла  $a_i$  в момент времени  $t$ .

Состояние  $X_i[t+1]$  и выход  $Y_i[t]$  узла зависят от текущих состояний и входных воздействий узлов, входящих в его окрестность. Эти зависимости позволяют отображать динамику модели, что происходит за счет пересчета состояний в последующие моменты времени.

Иерархичность рассматриваемой модели, как написано выше, обусловлена тем, что внутри каждого узла находится нейронная сеть. Представим пример схемы нейронной сети в одном из узлов модели, например в  $a_3$  (рис. 2).

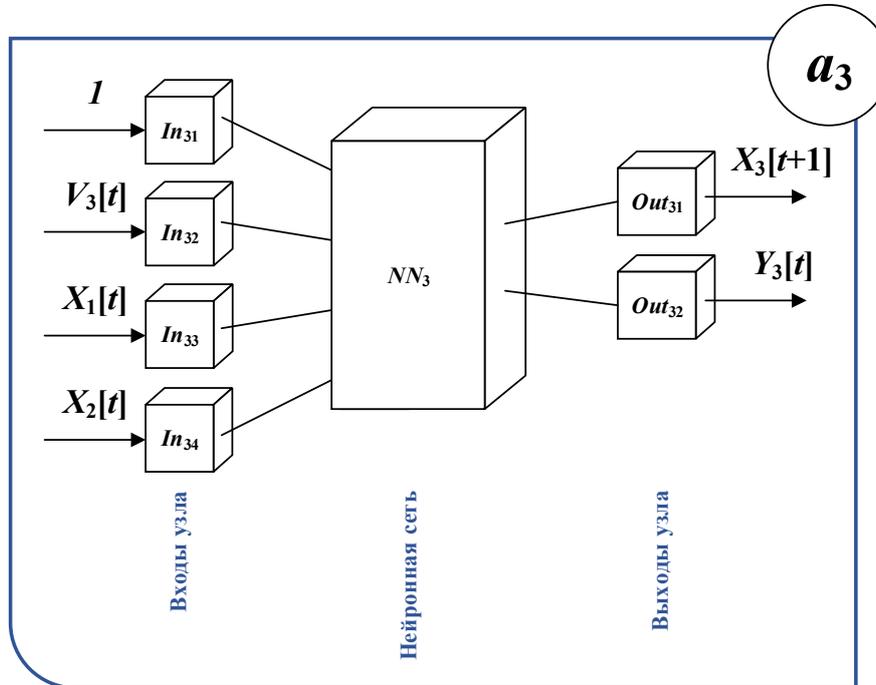


Рис. 2. Вложенная нейронная сеть в узел  $a_3$   
иерархической динамической нейро-окрестностной модели

На рисунке 2 представлена схема нейронной сети, вложенной в узел  $a_3$ , где на вход сети подается единичный сигнал (смещение),  $V_3[t]$ ,  $X_1[t]$ ,  $X_2[t]$ . Выходы нейронной сети  $NN_3$ , вложенной в узел  $a_3$ , —  $X_3[t+1]$  и  $Y_3[t]$ . Нейронная сеть, в свою очередь, обладает следующими характеристиками: тип нейронной сети, например персептрон, радиально-базисная нейронная сеть и т. д.; количество скрытых слоев нейронной сети; количество нейронов на входном, скрытых и выходном слоях нейронной сети; функции активации нейронов.

В иерархических динамических нейро-окрестностных моделях состояния и выходы пересчитываются с помощью нейронных сетей (рис. 1):

$$\begin{cases} \{X_1[t+1], Y_1[t]\} = NN_1(X_3[t], V_1[t]), \\ \{X_2[t+1], Y_2[t]\} = NN_2(X_3[t], V_2[t]), \\ \{X_3[t+1], Y_3[t]\} = NN_3(X_1[t], X_2[t], V_3[t]). \end{cases}$$

Перейдем к рассмотрению переменных окрестностей, которые применяются в новой модели.

## 2. Иерархические динамические нейро-окрестностные модели с переменными окрестностями

В отличие от описанной выше модели, где связи между узлами остаются постоянными в каждый момент времени, модель с переменными окрестностями имеет динамические связи. Для того чтобы выделить эти связи, определен термин «слой» [3].

Слой — одна из возможных комбинаций динамических связей между окрестностями модели. Множество окрестностных связей  $O$  в рассматриваемой модели состоит из  $L$  слоев  $O^p$ ,  $p=1, \dots, L$ , то есть  $O = \{O^1, O^2, \dots, O^L\}$ . Каждый слой включает все узлы модели и часть связей между ними. Для выбора активного слоя в каждый момент времени используется функция  $P$ , задаваемая в зависимости от решаемой задачи. Это может быть функция, подчиняющаяся какому-то закону, алгоритм, построенный на основе мнения экспертов или специалистов, требования, предъявляемые к работе моделируемого объекта, заранее заданный порядок активаций слоев и т. д.

Иерархическая динамическая нейро-окрестностная модель с переменными окрестностями в общем случае описывается набором

$$NS_{IER\_VN}^{NN} = (N, P, X, V, Y, G, F, t_0, X[t_0], t),$$

где  $P$  — функция выбора активных слоев;  $G = (G^1 \ G^2 \ \dots \ G^L)^T$ ;  $G^p$  — функция пересчета состояний слоя  $O^p$ ;  $F = (F^1 \ F^2 \ \dots \ F^L)^T$ ;  $F^p$  — функция пересчета выходов слоя  $O^p$ .

Представим схему идентификации и функционирования иерархической динамической нейро-окрестностной модели с переменными окрестностями (рис. 3).

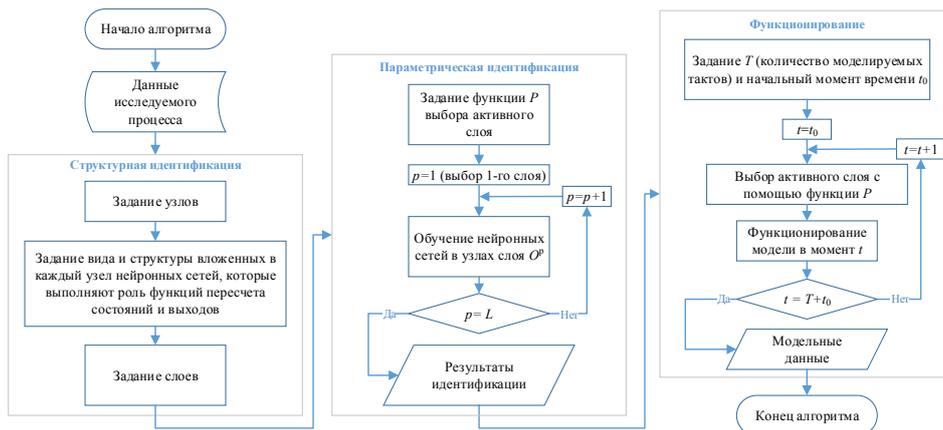


Рис. 3. Идентификация и функционирование иерархических динамических нейро-окрестностных моделей с переменными окрестностями

Фактически реализация имитируемого объекта иерархической динамической нейро-окрестностной моделью с переменными окрестностями делится на три этапа.

На первом проводится структурная идентификация. Сначала определяются узлы модели. После внутри каждого узла задаются вид и структура нейронных сетей — функции пересчета состояний и выходов модели. В обычных динамических окрестностных моделях в качестве функций пересчета используются, например, полиномиальные функции. Далее задаются слои, за счет активации которых в определенные моменты времени и реализуются переменные окрестности.

Второй этап — это параметрическая идентификация полученной модели. Здесь определяется функция  $P$  выбора активного слоя и для каждого слоя отдельно проводится идентификация функций пересчета состояний и выходов, которая заключается в обучении искусственных нейронных сетей, вложенных в узлы.

Третий этап — функционирование обученной модели с учетом срабатывания в определенные моменты времени разных слоев.

Рассмотрим пример, в котором модель имеет два слоя (рис. 4).

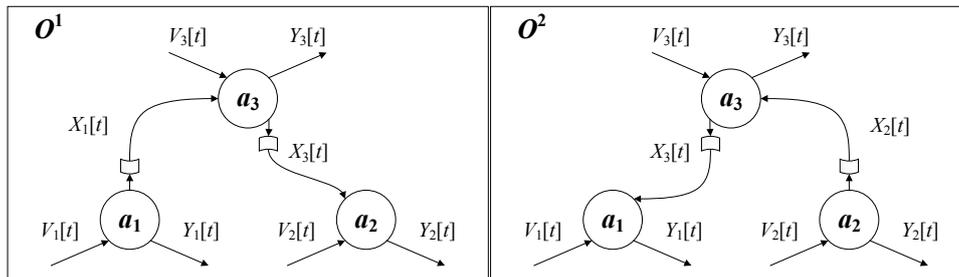


Рис. 4. Графы структур слоев  $O^1$  и  $O^2$

Функции пересчета состояний и выходов в модели с переменными окрестностями для слоев  $O^1$  и  $O^2$  задаются соответственно

$$1) \begin{cases} \{X_1[t+1], Y_1[t]\} = NN_{11}(V_1[t]) \\ \{X_2[t+1], Y_2[t]\} = NN_{12}(X_3[t], V_2[t]); \\ \{X_3[t+1], Y_3[t]\} = NN_{13}(X_1[t], V_3[t]) \end{cases} 2) \begin{cases} \{X_1[t+1], Y_1[t]\} = NN_{21}(X_3[t], V_1[t]) \\ \{X_2[t+1], Y_2[t]\} = NN_{22}(V_2[t]) \\ \{X_3[t+1], Y_3[t]\} = NN_{23}(X_2[t], V_3[t]) \end{cases},$$

где  $NN_{ji}$  — нейронная сеть;  $j$  — номер слоя;  $i$  — номер узла.

Таким образом, иерархические динамические нейро-окрестностные модели позволяют имитировать сложные системы, в которых в разные моменты времени могут изменяться связи между процессами, обеспечивающими их функционал.

### Заключение

Рассмотрены иерархические динамические нейро-окрестностные модели с переменными окрестностями и их отличие от одноименной модели без переменных окрестностей. Представлена схема идентификации и функционирования, а также приведены примеры таких моделей с их описанием.

### Список литературы

1. *Sedykh I., Istomin V.* Hierarchical Dynamic Neuro-neighborhood Models // 3rd International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). Lipetsk, 2021. P. 540—543. doi: 10.1109/SUMMA53307.2021.9632218.
2. *Седых И. А., Истомин В. А.* Реализация линейных динамических окрестностных моделей с переменными окрестностями в Python // Татищевские чтения: актуальные проблемы науки и практики : матер. XVIII Междунар. науч.-практ. конф. : в 3 т. Тольятти : Волжский университет им. В. Н. Татищева, 2021. Т. 1. С. 178—182.
3. *Седых И. А.* Двухуровневые полиномиальные динамические окрестностные модели с переменными окрестностями и их параметрическая идентификация // Вести высших учебных заведений черноземья. 2018. № 1 (51). С. 57—65.
4. *Блюмин С. Л.* Окрестностные системы. Липецк : ЛЭГИ, 2005.
5. *Shmyrin A.* A measure of the Non-Determinacy of a Dynamic Neighborhood Model // Systems. 2017. № 5 (49). doi: 10.3390/systems5040049.
6. *Vlyutin S. L., Tomilin A. A.* Methodology for modeling organizational structure using symmetric neighborhood models // Management of large systems. 2007. Vol. 17. P. 29—39.
7. *Осовский С.* Нейронные сети для обработки информации / пер. с пол. М. : Финансы и статистика, 2002.
8. *Яхьяева Г. Э.* Нечеткие множества и нейронные сети : учеб. пособие. М. : БИНОМ. ЛЗ, ИНТУИТ.РУ, 2012.
9. *Хайкин С.* Нейронные сети: полный курс. М. : Диалектика, 2019.

**И. А. Суров**  
Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: [ilya.a.surov@itmo.ru](mailto:ilya.a.surov@itmo.ru)

## КВАНТОВАЯ МОДЕЛЬ СУБЪЕКТИВНОЙ СЕМАНТИКИ СИТУАЦИЙ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

### Введение

Одна из актуальных задач вычислительной науки — семантический поиск, анализ и аннотирование текстов на естественном языке. Препятствие в данном направлении — фундаментальное различие между формально-синтаксической обработкой информации существующими алгоритмами и смысло-ориентированным мышлением человека. Данная проблема ставит задачу о разработке новых подходов к представлению смысловой информации в вычислительных системах.

Один из путей решения данной проблемы — использование понятийного и математического аппарата квантовой физики. В частности, понятия квантового состояния, неопределенности, суперпозиции, измерения, запутанности и дополненности получили широкое применение для описания живых систем, тогда как их строгое математическое выражение позволило решить ряд проблем когнитивно-поведенческого моделирования [1—3]. Главная слабость данного подхода — так называемая проблема фазы, то есть отсутствие интерпретации фазовых параметров квантовых состояний, затрудняющее дальнейшую разработку и практическое использование соответствующих моделей [4].

В статье представлено авторское решение проблемы фазы для наиболее простого класса *кубитных* состояний квантовой теории. В предложенном подходе именно фазовый параметр выполняет функцию субъективной степени свободы семантического пространства, отсутствующей в классических форматах представления информации. Конспект текущего состояния данной идеи представлен в разделах 1 и 2. Вытекающая модель эмоциональных состояний человека и ее экспериментальная апробация кратко описаны в разделах 3 и 4.

### 1. Когнитивное состояние субъекта в кубитном пространстве

Рассматривается субъект в ситуации выбора между двумя взаимоисключающими поведенческими альтернативами: да / нет, делать / не делать, истинно / ложно [5]. Как показано на рисунке 1, данная ситуация порождает двумерное когнитивное пространство, в котором состояние субъекта представляется комплекснозначным вектором

$$|\psi\rangle = c_0|0\rangle + e^{i\phi}c_1|1\rangle = \cos\frac{\theta}{2}|0\rangle + e^{i\phi}\sin\frac{\theta}{2}|1\rangle, \quad (1)$$

где  $c_0, c_1$  — действительные коэффициенты,  $0 \leq \phi < 2\pi$  — фазовый параметр, а угловые скобки  $|\cdot\rangle$  обозначают вектор-столбцы:

$$|0\rangle = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad |1\rangle = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad |\psi\rangle = \begin{bmatrix} c_0 \\ e^{i\phi}c_1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

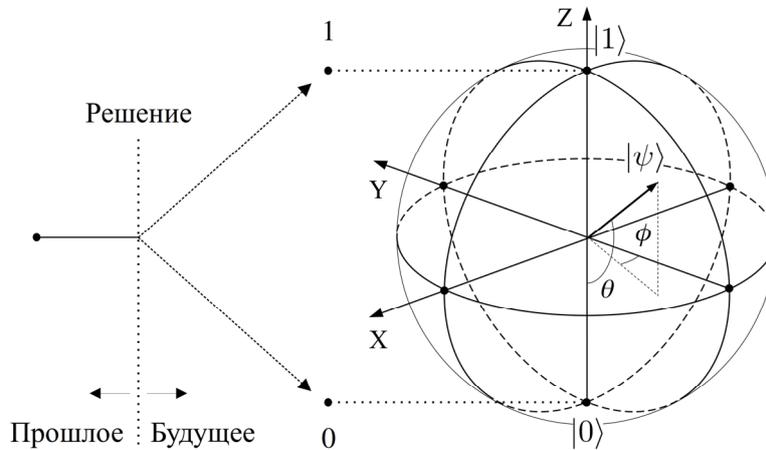


Рис. 1. Когнитивное состояние  $|\psi\rangle$  субъекта в ситуации выбора между поведенческими альтернативами 1 и 0 в представлении сферы Блоха, параметризуемой полярным углом  $\theta$  и азимутальной фазой  $\phi$  (1)

Посредством параметризации коэффициентов  $c$  через полярный угол  $0 \leq \theta \leq \pi$  когнитивное состояние  $|\psi\rangle$  представляется трехмерным вектором, указывающим из начала координат на поверхность единичной сферы (Блоха), как показано на рисунке 1. В дополнение к таким *чистым* кубитным состояниям определяются также *смешанные* состояния, соответствующие векторам  $\vec{S}$  меньшей длины, указывающим из начала координат во внутреннюю область шара Блоха.

Вероятности выбора доступных альтернатив из когнитивного состояния (1) определяются его перекрытием с соответствующими базисными векторами

$$p_i = |\langle \psi | i \rangle|^2 = c_i^2, \quad p_0 + p_1 = \cos^2 \frac{\theta}{2} + \sin^2 \frac{\theta}{2} = 1, \quad (3)$$

где  $\langle \psi | i \rangle$  — скалярное произведение, в котором вектор-строка

$$\langle \psi | = [c_0 \quad e^{-i\phi} c_1] —$$

Эрмитово сопряжение вектор-столбца (1).

## 2. Семантика параметров кубитного состояния

Состояние (1) есть представление всей информации (контекста), доступной субъекту базисного решения, в специализированном кубитном пространстве. Измерения этого пространства имеют следующие функции.

*Полярный угол и вертикальная ось.* Вероятности принимаемых решений (3) выражают субъективную благоприятность контекста для выбора доступных альтернатив. С учетом их единичной суммы эта благоприятность измеряется единственной степенью свободы, например  $0 \leq p_0 \leq 1$ ,  $0 \leq p_1 \leq 1$  или  $0 \leq \theta \leq \pi$ . Как следует из геометрии рисунка 2,  $a$ , таким параметром также может служить вертикальная координата когнитивного вектора

$$-1 \leq z = p_1 - p_0 \leq 1,$$

определенная как для чистых, так и для смешанных кубитных состояний.

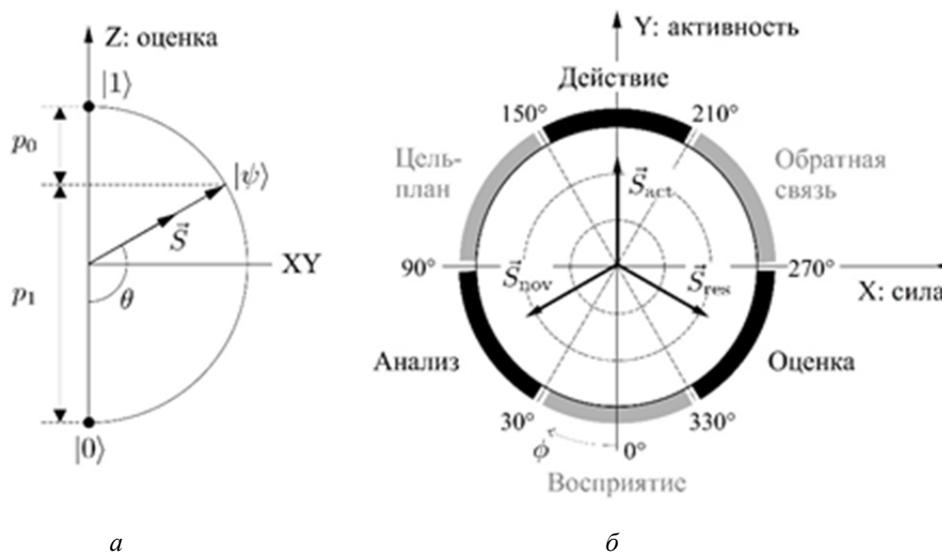


Рис. 2. Сечение сферы Блоха (рис. 1) вертикальной ( $a$ ) и горизонтальной ( $b$ ) плоскостями; вертикальная плоскость соответствует субъективной оценке благоприятности (3) контекста, представляемого кубитным состоянием (1) для выбора базисных альтернатив; горизонтальное сечение ( $b$ ) размечено на равные азимутальные интервалы, соответствующие шести процессно-семантическим классам контекстов принятия базисного решения

*Азимутальный угол и горизонтальная плоскость.* В отличие от полярного угла  $\theta$  азимутальный угол  $\phi$  не связан с объективно наблюдаемыми вероятностями (3) напрямую. Это измерение кубитного пространства служит для размещения контекстов принятия данного решения в причинно-следственном порядке.

В соответствии с кольцевой топологией  $0 \leq \phi < 2\pi$  данный порядок образован категориями «восприятие — анализ — целеполагание / планирование — действие — обратная связь — оценка», как показано на рисунке 2, б. Данный порядок представляет собой универсальную процессно-смысловую структуру, общую для циклических процессов в природе [6]. Размещение в ней контекстов представляет собой их субъективную процессно-семантическую модель, не следующую из объективно наблюдаемых вероятностных данных и выражающую таким образом когнитивный произвол субъекта принятия решения.

Соответственно указанной процессно-семантической структуре декартовы оси  $X$  и  $Y$  азимутального сечения сферы Блоха имеют смысл *силы* и *активности*. Совместно с осью *оценки*  $Z$  полученная тройка соответствует классическим семантическим факторам Evaluation — Potency — Activity. В отличие от классического подхода, в котором данные качества — абсолютные, объективные свойства контекстов, представленная квантовая модель определяет эти величины для конкретного субъекта по отношению к данной поведенческой альтернативе. Соответствующая структура семантического пространства при этом получает фундаментальное обоснование на основе линейной алгебры кубитных состояний (1)—(2).

### 3. Кубитная модель эмоциональных состояний

В представляемом подходе эмоции — семантические классы когнитивных состояний субъекта по отношению к базисной поведенческой альтернативе. Каждое чистое кубитное состояние (1) таким образом принадлежит к определенной эмоциональной категории. Последние порождаются причинно-следственными классами азимутального параметра  $\phi$ , а также оценкой благоприятности, кодируемой полярной координатой  $\theta$ .

В самой грубой модели имеется шесть эмоциональных классов, порождаемых тремя главными процессно-смысловыми классами «анализ ( $0^\circ \leq \phi < 120^\circ$ ) — действие ( $120^\circ \leq \phi < 240^\circ$ ) — оценка ( $240^\circ \leq \phi < 360^\circ$ )» и двумя оценочными классами «хорошо (положительно, благоприятно  $\theta > 90^\circ$ ) — плохо (отрицательно, неблагоприятно,  $\theta < 90^\circ$ )» [7]. В положительном классе процессным этапам «анализ — действие — оценка» соответствуют эмоции «удивление, любовь / энтузиазм, радость / счастье». В отрицательном классе тем же этапам соответствуют «страх / стресс, ярость / агрессия, горе / печаль». Описанная схема показана на рисунке 3.

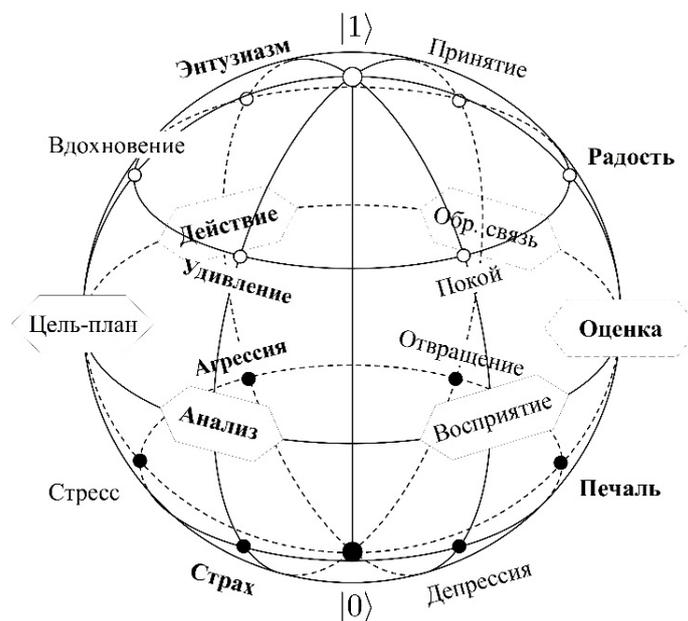


Рис. 3. Классы эмоциональных состояний человека в кубитном семантическом пространстве (рис. 1); положительные и отрицательные эмоции расположены в верхней и нижней полусферах соответственно; обе группы порождены процессно-семантическими классами, показанными на рисунке 2

Представленная классификация эмоций согласуется с имеющимися экспериментальными результатами, в том числе моделями основных эмоций (basic emotions) П. Экмана, классификациями основных нейротрансмиттеров и физиологических систем аффекта Ж. Панксеппа. Данная модель эмоций также согласуется с существующими теоретическими подходами, в том числе теориями основного аффекта (core affect) Дж. Расселла, центральной сборки (central assembly) С. С. Томкинса, а также с парадигмой психологической конструкции (psychological construction) Л. Ф. Барретт, дополняя их в ряде принципиальных вопросов. Детальный анализ сходств и различий представлен в работе [7].

#### 4. Эксперимент

Представленная модель эмоциональных состояний проверена для контекстов, описываемых отдельными словами английского языка. В качестве исходных данных взята языковая модель word2vec, кодирующая слова векторами в 300-мерном пространстве на основе статистики их использования в большой выборке текстов. Данная модель описывает смысл слов, усреднен-

ный по большой выборке субъектов и ситуаций принятия решений, и таким образом соответствует объективизированному пределу семантики, выраженному в классической теории Осгуда [8].

В описанной квантовой модели данному усреднению соответствует определение смысла контекстов по отношению к предельной бинарной альтернативе «добро / зло», составляющей базис кубитного семантического пространства. Направление декартовых осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  кубитного пространства определялось с помощью пяти семантических прототипов, показанных на рисунке 4,  $a$  в проекции на азимутальную плоскость ( $XY$ ) сферы Блоха.

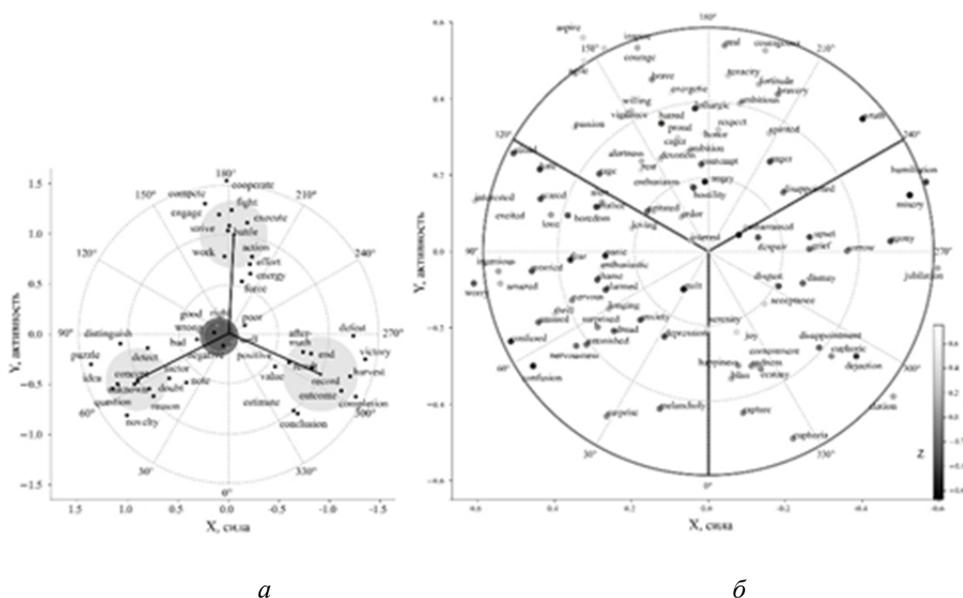


Рис. 4. Размещение контекстов, описываемых словами естественного языка, в кубитном семантическом пространстве, образованном предельной двоичной альтернативой «добро / зло»;  $a$  — прототипы трех главных процессных классов «анализ (новизна) — действие — оценка (результат)» и двух оценочных прототипов «хорошо / плохо»;  $b$  — размещение эмоциональных терминов в кубитном семантическом пространстве, задаваемом данными прототипами; оценочное измерение  $Z$  отражено тоном черно-белого цвета соответствующих точек

Прототипы сформированы наборами соответствующих слов английского языка. В частности, прототип процессно-семантического класса «анализ (новизна)» образован словами *detect*, *puzzle*, *novelty*, *reason*, *doubt* и др. Аналогично прототипы «действие и оценка (результат)» образованы в том числе словами *work*, *action*, *effort*, *engage* и *результат*, *конец*, *завершение*, *последствие* и т.д. Два оценочных прототипа, соответствующие полюсам сферы Блоха, расположены вблизи центра азимутальной плоскости в соответствии с теоретическим ожиданием.

Рисунок 4, б показывает представление 98 произвольно выбранных эмоционально окрашенных терминов в проекции на процессно-семантическую плоскость  $XU$  найденного кубитного пространства. Полученное расположение соответствует теоретическому ожиданию, показанному на рисунке 3. Например, эмоциональные состояния *surprise, anxiety, fear, confusion* расположены в процессно-семантическом секторе «новизна (анализ)». Аналогично *honor, courage, anger, zeal* и *acceptance, disgust, sadness, joy* правильно отнесены к секторам «действие» и «результат» соответственно. Данный результат подтверждает гипотезу о процессно-смысловом происхождении эмоциональных состояний человека.

### Заключение

В разработанном подходе наблюдаемые вероятности принятия решений и скрытые эмоциональные параметры соответствуют сопряженным измерениям единого кубитно-семантического пространства субъекта поведения. При этом эмоциональные переменные принимают участие в определении поведенческих вероятностей при рассмотрении поведенческой альтернативы в трех и более различных контекстах [5]. В развитие существующих подходов [9—17] описанная модель, таким образом, устанавливает фундаментальную связь между моделированием эмоциональных состояний субъекта, построением субъективных причинно-следственных моделей деятельности и вероятностным моделированием принятия решений.

Количественное представление указанных аспектов природы человека на основе квантовой теории открывает новые возможности для поведенческого моделирования в гуманитарных науках и кибернетике, а также для разработки более совершенных методов искусственного интеллекта и семантического анализа данных.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект №20-71-00136).*

### Список литературы

1. *Khrennikov A. Yu.* Ubiquitous Quantum Structure. From psychology to finance. Springer, 2010.
2. *Словохотов Ю.Л.* Физика и социофизика. Ч. 3. Квазифизическое моделирование в социологии и политологии. Некоторые модели лингвистики, демографии, математической истории // Проблемы управления. 2012. №3. С. 2—34.
3. *Сузов И.А., Алоджанц А.П.* Модели принятия решений в квантовой когнитивистике : учеб. пособие. СПб., 2018.
4. *Surov I. A., Pilkevich S. V., Alodjants A. P., Khmelevsky S. V.* Quantum Phase Stability in Human Cognition // *Frontiers in Psychology*. 2019. Vol. 10.
5. *Surov I. A.* Quantum Cognitive Triad: Semantic Geometry of Context Representation // *Foundations of Science*. 2021. Vol. 26, №4. P. 947—975.
6. *Surov I. A.* Quantum Process Semantics // *Preprints*. 2021.202109.0006/v1.

7. *Surov I. A.* Quantum core affect. Process-semantic theory of emotions // Preprints. 2021.202111.0379/v1.
8. *Петренко В. Ф.* Основы психосемантики. СПб., 2005.
9. *Данилевский И. В.* О новом варианте онтологии бессознательного // Вестник Пермского университета. 2013. Т. 1, № 13. С. 27—38.
10. *Аршинов В. И., Буданов В. Г.* Квантово-сложностная парадигма. Междисциплинарный контекст. М., 2015.
11. *Алексеева Т. А., Минеев А. П., Лошкарев И. Д.* «Земля смятения»: квантовая теория в международных отношениях? // Вестник Университета МГИМО. 2016. № 2. С. 7—16.
12. *Данилов О. Б., Розанов Н. Н., Соловьев Н. А., Сомс Л. Н.* Многомодовые лазеры как аналоги сложных биологических систем (обзор) // Оптика и спектроскопия. 2016. Т. 120, № 4. С. 682—690.
13. *Петренко В. Ф., Супрун А. П.* Методологический манифест психосемантики // Психологический журнал. 2016. Vol. 37, № 3. С. 5—14.
14. *Петренко В. Ф., Супрун А. П.* Методологические пересечения психосемантики сознания и квантовой физики. М., 2018.
15. *Melkikh A. V., Khrennikov A. Yu., Yampolskiy R.* Quantum Metalanguage and the new cognitive synthesis // NeuroQuantology. 2019. Vol. 17, № 1. P. 72—96.
16. *Райков А. Н.* Конвергентное моделирование в условиях неопределенности // Труды ВСПУ. М., 2019. С. 1579—1583.
17. *Суров И. А.* Квантовая теория: методология и математика управления // Труды ВСПУ. М., 2019. С. 1589—1593.

**А. Я. Фридман<sup>1</sup>, Б. А. Кулик<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Анапты, Россия

<sup>2</sup>Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

e-mail: <sup>1</sup>fridman@iimm.ru, <sup>2</sup>ba-kulik@yandex.ru

## **СИТУАЦИОННАЯ КОНЦЕПТУАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ СИСТЕМЫ СИТУАЦИОННЫХ ЦЕНТРОВ**

### **Введение**

В настоящее время оценка эффективности новых сложных систем и устройств обычно производится в рамках внутреннего подхода к этой оценке (по набору показателей, часто не отличающихся обоснованностью). Соответственно, результаты внедрения таких систем и устройств часто не совпадают с расчетными, а в ряде случаев приводят к возникновению нештатных и чрезвычайных ситуаций (НЧС) из-за недостаточного предварительного анализа взаимосвязей новых компонентов с уже существующими. Поэтому далее предлагается способ продвижения к внешнему, гораздо более объективному, подходу, когда эта оценка производится по результатам работы новой системы в составе метасистемы.

Обоснование такого предложения состоит в следующем: профилактика НЧС не менее важна, чем оперативное реагирование на них; самые значительные ущербы наносят зависимые (сложные, комплексные) отказы (ЗСКО), порождающие цепочки событий, которые инициируют НЧС (так называемый «эффект домино» [1]); существующие ситуационные центры (СЦ) специализированы для набора своих задач и слабо (или совсем не) взаимосвязаны [2].

### **1. Способ решения задачи**

Цель предлагаемого проекта заключается в наделении СЦ новой функцией: обеспечения аккумуляции и комплексной интеллектуальной обработки разнородной информации о статических и динамических характеристиках потенциально опасных объектов, находящихся на подведомственной им территории, и их взаимосвязях для выявления возможностей ЗСКО.

Объекты моделирования в новой системе интеллектуальных СЦ — промышленно-природные комплексы (ППК): территории, экосистемы, технологии и т. д., их свойства существенно зависят от географических координат и времени.

Актуальность задачи вызвана усложнением и взаимопроникновением ППК; ростом неопределенностей в мире из-за сложности и ускорения развития; ростом риска возникновения и масштабов ущерба от комплексных (зави-

симых) отказов из-за непредусмотренных сочетаний случайных факторов и несанкционированных воздействий, в частности хакерства; увеличением доступности данных в связи с быстрым развитием Интернета вещей (IoT).

Реализовать предложенный подход предлагается разработкой самоорганизующейся распределенной информационно-аналитической ситуационной системы (ИАСС) для превентивной аналитики с целью поиска и прогнозирования «узких мест» в структуре взаимосвязанных ППК с возможностью оценки ущербов от ЗСКО и обоснования мер по их предупреждению.

Новизна подхода состоит в интеграции средств изучения слабоформализованных сложных нестационарных пространственных объектов и комплексном использовании экспертных знаний для формирования критериев и осуществления выбора предпочтительных вариантов реализации структуры ППК, изучаемых более детально в режиме имитационного моделирования. Уникальность ИАСС основана на формальных определениях всех элементов ситуационного подхода (ситуация, сценарий и т.п.) и наличии детализированных процедур автоматического контроля корректности модели на всех этапах ее создания и модификации, что позволяет оперативно уточнять модель по ходу исследования, не опасаясь роста ее сложности, сопоставлять складывающиеся на изучаемом объекте ситуации по важным для ЛПР показателям, выявлять наиболее эффективные (по предыдущему опыту и/или предпочтениям ЛПР) средства изменения состояния объекта в желательном направлении. Ядро ИАСС составляет открытая для оперативной модификации иерархическая ситуационная концептуальная модель (СКМ) ППК [3—5], отражающая его организационную структуру и взаимодействия между составными частями.

## 2. Обоснование возможности решения задачи

При компьютерных исследованиях сложных систем обычно переходят либо к моделированию средних значений характеристик (энтропии, математических ожиданий и других статистических свойств) [6; 7], либо к анализу их графовых свойств, например достижимости тех или иных состояний с помощью сетей Петри [8] или E-сетей [9]. Если требуется оценивать количественные параметры более детально, необходимо вернуться к причинно-следственным моделям, в той или иной степени отражающим реальные потоки информации, материалов, сигналов, которые циркулируют в системе. Для сложных систем обычно не удается найти достаточно адекватную аналитическую модель, поэтому используют имитационные модели, изоморфные (в заданном масштабе) реальному объекту. С такой целью часто применяют модели системной динамики (например, [10]) или их аналоги, но они не рассчитаны на объекты моделирования с иерархической структурой, вследствие чего быстро теряют консистентность при росте сложности реальной системы.

Построение иерархий возможно по нескольким принципам, основные из них — разделение общей функции системы на подфункции, организационная

или структурная декомпозиция и декомпозиция по состояниям. Программное обеспечение для реализации перечисленных видов декомпозиции поддерживается соответственно методами SADT [11], DFD [12] и STD [13]. Для исследования сложных систем необходимо организовать сочетание и совместное применение всех указанных видов декомпозиции, чего не позволяет ни один из упомянутых программных продуктов. Преодолеть эту проблему предполагалось с помощью объектно-ориентированного языка программирования UML [14], но и он не свободен от недостатков, главный — необходимость писать все программные модули в одной среде программирования и встраивать их в диаграмму классов, что затрудняет применение ранее созданных модулей и не допускает применения интеллектуальных процедур обработки информации.

Судя по известным автору публикациям, наиболее близка к описанной в настоящей работе СКМ [3—5] интеллектуальная гибридная система поддержки принятия решений РДО («Ресурс — Действие — Объект», см., например, [15]), предназначенная для моделирования сложных систем, функционирование которых требуется представить в форме продукционных правил. Аналогично СКМ в РДО объект моделирования рассматривается как гибкая, дискретная, неупреждаемая система, непрерывные параметры дискретизируются с шагом, позволяющим достаточно точно описать их изменения, используется дискретно-событийный подход к имитации [16]. Допускается построение иерархических моделей и подключение внешних имитаторов работы составных частей системы. В плане рассматриваемой здесь задачи моделирования ППК недостатки РДО состоят в следующем: основным механизмом моделирования служит логический вывод над системой продукций, что снижает эффективность моделирования при росте сложности модели; не обеспечивается удобное сопоставление альтернативных вариантов реализации исследуемого объекта; иерархия модели не согласуется с организационной структурой объекта моделирования, она либо структурирует продукционные правила с целью повышения скорости логического вывода, либо порождается системой классов в рамках объектно-ориентированного подхода; не предусмотрены средства учета географических характеристик исследуемого объекта, которые весьма существенны для ППК.

Общий недостаток РДО и других известных автору систем моделирования (например, [17—19]) для целей исследования ППК — отсутствие в них средств полноценной реализации всех аспектов ситуационного подхода, наиболее перспективного для решения поставленной задачи.

В связи с изложенным далее описана СКМ, не имеющая отмеченных выше недостатков, которая разработана при участии и под руководством одного из авторов в парадигме теории иерархических систем М. Месаровича [20] и теории ситуационного управления Д. А. Поспелова [21] и отличается от аналогов и прототипов в следующем: автоматизация всех этапов моделирования; широкое применение экспертных знаний для построения модели, управления

логическим выводом, реализации «быстрых прототипов» элементов ППК; использование семантически значимых понятий предметной области для построения ее формального описания; применение ГИС-технологии не только для графического представления составных частей объекта и результатов моделирования, но также для постановки задачи и выполнения пространственно-зависимых расчетов; поддержка современных сценарных подходов к моделированию; наличие средств детального формального анализа модели; развитый аппарат сопоставительного анализа ситуаций в статике и динамике; автоматический синтез исполнительной среды моделирования; использование единой инструментальной среды и методологии для моделирования как нормальных, так и критических режимов функционирования ППК; возможность интеграции знаний экспертов по различным аспектам функционирования ППК для обоснования принятия решений; возможность учета ситуационной осведомленности ЛПР, ответственных за функционирование составных частей ППК, при решении вопросов координации их взаимодействий.

Теоретические основы СКМ разработаны достаточно полно, отдельные аспекты ситуационного моделирования ППК апробированы в ряде приложений [3—5]. Это улучшение процесса переработки минерального сырья на основе технологического графа для хибинских руд сложного вещественного состава; ретроспективный анализ состояния лесных экосистем с целью мониторинга их состояния в условиях техногенного воздействия; оценка удароопасности горного массива в зоне горных работ; моделирование среднесрочных задач диспетчера в энергетике; выбор технологий обогащения сложного минерального сырья; технико-экономическая оценка рудных месторождений; исследование безопасности электроэнергетических систем путем защиты электрических сетей от перенапряжений.

ИАСС даст возможности полноценного использования СКМ как ядра системы ситуационного моделирования ППК различных масштабов и уровней подчиненности. Доказано, что СКМ позволяет реализовать все известные виды иерархий [20], при расширении зоны моделирования возможен переход от чисто иерархической к сетцентрической модели ППК с помощью нового метода количественного анализа ситуационной осведомленности ЛПР, ответственных за функционирование составных частей ППК [22—24].

Практическая значимость ИАСС заключается в адекватной реализации ситуационного подхода [21] к моделированию ППК в концептуальных пространствах [25; 26]. По алгоритмическому наполнению ИАСС относится к CASE-системам [27].

Перспективы применения ИАСС в настоящее время локализируются в двух направлениях.

1. *В качестве исследовательской системы.* Обоснование: естественная способность ИАСС обеспечивать аккумуляцию разнородных знаний о ППК на основе их пространственной привязки. Назначение: выявление законов функционирования и взаимосвязей параметров ППК; поэтапная разработка

многоуровневых ИАСС для регионального управления. *Эффект*: повышение информационной обеспеченности принимаемых решений; снижение риска нежелательных последствий этих решений; обоснование мероприятий по минимизации отрицательных воздействий.

2. *В качестве ситуационной системы поддержки принятия решений в СЦ* [28—30]. *Обоснование*: автоматизированная технология генерации проблемно-ориентированных ИАСС на основе универсальной исследовательской модели. *Назначение*: анализ ограниченного набора ситуаций; предоставление ЛПР алгоритмической поддержки для обоснования решений об изменении или сохранении структуры подчиненного ему объекта (альтернатива экспертному совету). *Эффект*: уменьшение затрат ресурсов на разработку специализированных прикладных систем без ущерба их эффективности.

Распределенная реализация СКМ позволяет решить вопросы правообладания и режимности применения локальных подмоделей составных частей ППК по аналогии с GRID-технологиями [31]. Разработчики новых компонентов ППК смогут обосновывать безопасность включения своего объекта в структуру ППК, анализируя его взаимосвязи с другими компонентами, уже специфицированными в СКМ. Такой анализ может стать важной составной частью технико-экономического обоснования предполагаемых структурных решений и представляется существенным аспектом повышения их объективности в современном стиле цифровизации экономики России.

Возможности развития ИАСС определяются, естественно, финансовыми и календарными ограничениями, но также связаны с дополнением рождающегося Интернета вещей новым сектором — Интернетом моделей вещей (Internet of Models of Things — IoMoT), то есть с переходом от IoT (Internet of Things) к IoTaM (Internet of Things and Models). *Для повышения безопасности целесообразно до встраивания новых устройств и систем в реальный мир встроить их модели в мир виртуальный.*

В пределах этой новой компоненты Интернета должны обеспечиваться разработка для появляющихся устройств и систем их локализованных ситуационных моделей (цифровых двойников), унифицированных по интерфейсам и форматам представления входной и выходной информации, и сертификация таких моделей; создание системы поиска существующих моделей по их концептуальному описанию с целью минимизации дублирования разработок; организация возможности глобального применения этих моделей по принципам, сходным с GRID-технологиями (например, [17]), что также даст возможность решать вопросы авторских прав разработчиков и, если это требуется, обеспечивать режимность локальных моделей.

### 3. Заключение

Для продвижения от внутреннего подхода к оценке эффективности новой системы к внешнему, гораздо более объективному, когда эта оценка производится по результатам работы новой системы в составе метасистемы, предло-

жено дополнить рождающийся Интернет вещей новым сектором — Интернетом ситуационных моделей вещей, то есть реализовать переход от Интернета вещей к Интернету вещей и моделей. Это позволит разработчикам новых устройств и систем обосновывать безопасность их включения в существующую среду, анализируя взаимосвязи с ранее специфицированными компонентами. Суть задачи можно выразить формулой

$$\text{IoT} + \text{IoMoT} = \text{IoTaM}.$$

Чтобы подтвердить своевременность изложенного выше, представляется уместным привести релевантные теме цитаты из выступлений спикеров недавней десятой конференции «Ситуационные центры: фокус кроссотраслевых интересов — 2020»:

Для принятия управленческих решений сегодня недостаточно мониторинга и накопления больших объемов информации, а развитие технологий искусственного интеллекта невозможно без понимания и моделирования предметной области (Николай Ильин).

На предприятиях критической инфраструктуры, в органах госвласти появился запрос на российские ПО и технологии (Елена Новикова).

Мы больше доверяем аналитическим ИС, чем аналитикам (Рашид Ахунов).

### Список литературы

1. *Котенко П. К., Шевцов В. И.* Основы обеспечения безопасности в чрезвычайных ситуациях : учеб.-метод. пособие. СПб. : Научно-технологические технологии, 2018.
2. *Fridman A. Ya., Britkov V. B., Royzenon G. V.* A GIS Application for Spatial Modeling and Forecasting in Situation Centres // International Conference on Information Technology and Applications (ICITA 2017), 1—4 July 2017, Sydney, Australia. URL: <http://www.icita.org/2017/papers/ru-fridman.pdf> (дата обращения: 12.03.2022).
3. *Фридман А. Я.* Ситуационное моделирование иерархических динамических систем // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2018. № 1. С. 5—15.
4. *Фридман А. Я., Курбанов В. Г.* Формальная концептуальная модель промышленно-природного комплекса как средство управления вычислительным экспериментом // Труды СПИИРАН. 2014. № 6 (37). С. 424—453.
5. *Фридман А. Я., Курбанов В. Г.* Ситуационное моделирование надежности и безопасности промышленно-природных систем // Информационно-управляющие системы. 2014. № 4 (71). С. 1—10.
6. *Попков Ю. С.* Теория макросистем. Равновесные модели. М. : Либроком, 2013.
7. *Fishman G. S.* Monte Carlo: concepts, algorithms, and applications. Springer, 1996.
8. *Котов В. Е.* Сети Петри. М. : Наука, 1984.
9. *Шаньгин В. Ф., Костин А. Е., Илюшечкин В. М., Тимофеев П. А.* Программирование микропроцессорных систем. М. : Высшая школа, 1990.

10. *Graham A.K.* Parameter Estimation in System Dynamics Modeling // *J. Randers* (ed.). *Elements of the System Dynamics Method*. Portland, 1980. P. 143—161.
11. *Nam Pyo Suh.* *Axiomatic Design — Advances and Applications*. N.Y. : Oxford University Press, 2007. Ch. 5. P. 239—298.
12. *Коваленко В.В.* Проектирование информационных систем. М. : Форум, 2011.
13. *Joe Celko's Trees and Hierarchies in SQL for Smarties*. The Morgan Kaufmann Series in Data Management Systems. 2<sup>nd</sup> ed. Elsevier Inc., 2012.
14. *Hunt J.* *The Unified Process for Practitioners: Object-oriented Design, UML and Java*. Springer, 2000.
15. *Ясиновский С.И.* Интеллектуальная гибридная система поддержки принятия решений РДО: вчера, сегодня, завтра // *Мягкие измерения и вычисления*. 2018. №12 (13). С. 33—50.
16. *Емельянов В.В., Ясиновский С.И.* Имитационное моделирование систем : учеб. пособие. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009.
17. *Массель Л.В., Массель А.Г.* Семиотический подход к созданию интеллектуальных систем ситуационного управления в энергетике // *Информационные технологии в науке, образовании и управлении / под ред. проф. Е.Л. Глориозова*. 2015. С. 182—193.
18. *Колесников А.В.* Ситуационное управление и семиотическое моделирование: развитие и применение идей, методов и моделей Д.А. Поспелова в калининградской научной школе // *Мягкие измерения и вычисления*. 2020. Т. 29, №4. С. 11—19.
19. *Массель Л.В., Кузьмин В.Р.* Ситуационное исчисление как развитие семиотического подхода к построению интеллектуальной системы поддержки принятия решений // *Вестник НГУ. Сер.: Информационные технологии*. 2017. Т. 15, №4. С. 43—52.
20. *Месарович М., Такахара Я.* *Общая теория систем: математические основы*. М. : Мир, 1978.
21. *Поспелов Д.А.* *Ситуационное управление: теория и практика*. М. : Наука, 1986.
22. *Fridman A., Oleynik A.* Modelling of Situation Awareness in Net-Centric Commercial Systems // *Proc. 34th Eur. Simulation and Modelling Conf. (ESM-2020)*. Toulouse, 2020. P. 64—67.
23. *Фридман А.Я., Кулик Б.А.* Когнитивный подход к оценке ситуационной осведомленности в сетевых системах гражданского назначения // *Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. V Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием / под ред. д-ра техн. наук, проф. А.В. Колесникова*. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2020. С. 489—497.
24. *Фридман А.Я., Кулик Б.А.* Возможности управления сетевыми системами на основе знаковых формализмов // *Труды Кольского научного центра РАН. Сер. Информационные технологии*. 2020. Вып. 11. С. 161—165.
25. *Олейник А.Г., Фридман А.Я.* Структура комплексных концептуальных пространств в междисциплинарных проектах // *Труды КНЦ РАН. Сер. Информационные технологии*. 2020. Вып. 11. С. 149—154.
26. *Фридман А.Я.* Концептуальные пространства как средство оценки ситуационной осведомленности при моделировании динамических иерархий // *Вестник Кольского научного центра РАН*. 2018. №2 (10). С. 101—111.
27. *Одинцов И.О.* *Профессиональное программирование. Системный подход*. 2-е изд. СПб. : БХВ-Петербург, 2004.

28. *Oleynik A., Fridman A., Masloboev A.* Informational and analytical support of the network of intelligent situational centers in Russian Arctic // IT&MathAZ 2018 Information Technologies and Mathematical Modeling for Efficient Development of Arctic Zone. Yekaterinburg, 2018. P. 57—64. doi: 10.13140/RG.2.2.17217.04969.

29. *Бритков В. Б., Ройзензон Г. В., Фридман А. Я.* Многокритериальный подход к оценке ситуационных центров // Проблемы прогнозирования чрезвычайных ситуаций : сб. матер. М. : ФКУ Центр «Антистихия» МЧС России, 2016. С. 26—28.

30. *Бритков В. Б., Ройзензон Г. В., Фридман А. Я.* Оценка ситуационных центров по многим критериям // Система распределенных ситуационных центров как основа цифровой трансформации государственного управления (СРСЦ-2017) : тр. Всерос. форума. СПб. : Научный совет по информатизации Санкт-Петербурга, 2018. С. 83—85.

31. *Аллатов А. Л.* Развитие распределенных технологий и систем // Перспективы науки и образования. 2015. №2 (14). С. 60—66.

## Секция 2

### ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ В НАУКЕ, ОБРАЗОВАНИИ, МЕДИЦИНЕ, ЭКОНОМИКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

---

Руководители секции — проф. С. Н. Ковалев  
проф. И. Б. Фоминых

**Д. В. Березкин<sup>1</sup>, И. А. Козлов<sup>2</sup>, П. А. Мартынюк<sup>3</sup>**

*<sup>1, 2, 3</sup> Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> berezkind@bmtu.ru, <sup>2</sup> kozlovilya89@yandex.ru, <sup>3</sup> martapauline@yandex.ru*

#### **ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЛУБОКИХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ НАПРАВЛЕНИЙ НА ОСНОВЕ ПОСТРОЕНИЯ СТРУКТУРНЫХ МОДЕЛЕЙ ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ**

##### **Введение**

Развитие современного мира основано на прогрессе в научно-технологической и инновационной сферах. Этот процесс характеризуется значительной динамикой, скоростью изменений, которые подстегиваются нарастающей глобализацией экономической, политической и социокультурной жизни различных стран и регионов. Возрастает потребность в достоверных прогнозах научно-технологического и инновационного развития для принятия стратегических и тактических решений на государственном и отраслевом уровнях.

С целью поддержки принятия управленческих решений по развитию перспективных технологий авторами статьи разрабатывается гибридный подход к прогнозированию появления и развития новых технологических направлений в научно-технической сфере. Доклад посвящен развитию наработок авторов в области создания новых гибридных методов анализа разнородных данных [1].

Для принятия обоснованных управленческих решений необходим учет мировых тенденций в научно-технологической и инновационной областях [2]. На государственном уровне эти тенденции отражаются в различных доктринальных документах. Традиционные методы анализа таких документов предполагают выполнение большого объема ручной работы экспертов-аналитиков. В связи с этим актуальной становится задача разработки методов, алгоритмического и программного обеспечения для автоматизированного анализа документов государственной политики стран в научно-технической сфере и создание системы мониторинга, выполняющей подобный анализ.

В работе рассматривается задача построения системы мониторинга развития технологических направлений на основе построения структурных моделей текстовых документов. Приводится аналитический обзор технологических средств, потенциально применимых для решения поставленной задачи. Представлен прототип системы мониторинга, разработанный с учетом проведенного обзора, и результаты его функционирования.

### 1. Структура системы мониторинга

Структурная система разработанной системы мониторинга представлена на рисунке 1.

Работа системы состоит из следующих этапов: 1) сбор текстовых документов по мере их публикации; 2) построение структурных моделей документов для возможности их дальнейшего анализа; 3) классификация построенных структурных моделей с целью выделения документов, относящихся к анализируемым технологическим направлениям; 4) сравнение построенных структурных моделей для выделения отличий, характеризующих развитие технологических направлений; 5) предоставление результатов мониторинга лицу, принимающему решения (ЛПР), в наиболее удобном для анализа виде.

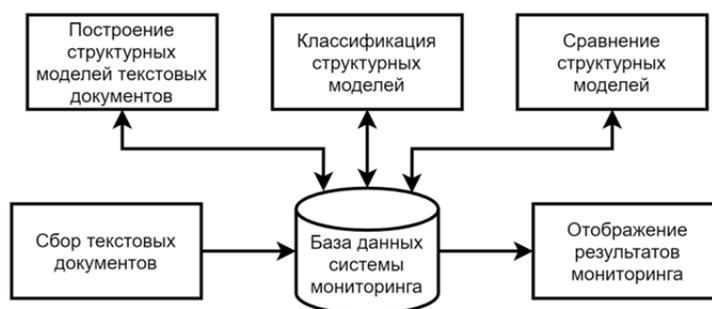


Рис. 1. Структурная схема системы мониторинга развития технологических направлений на основе построения структурных моделей текстовых документов

Исходные данные для системы — текстовые документы, регулярно загружаемые из открытых и специализированных источников. При загрузке выполняется очистка текстов документов от служебной информации, удаление дубликатов [3] и отслеживание сбоев, связанных с изменением верстки сайтов [4].

Для каждого из загруженных неструктурированных документов строится структурная модель (карточка) — набор полей, содержимое каждого из которых должно отражать фрагмент текста, характеризующий тот или иной его аспект. Таким образом, карточка документа — краткая структурированная аннотация наиболее существенной информации текста, упрощенная модель, достаточная для проведения дальнейшего анализа документа в системе мониторинга.

Сформированные карточки документов классифицируются с целью автоматической сортировки и разделения документов на группы направлений технологического развития, описанных в документах и подлежащих мониторингу. Для каждого из анализируемых направлений необходимо отслеживать его развитие с течением времени. Для этого в системе мониторинга предусмотрена возможность сравнения структурных моделей документов и выделения схожих аспектов с элементами различий. Так, при проведении сравнения документов одной тематики, принадлежащих одной стране, но опубликованных в разное время, можно отслеживать динамику последовательного развития указанных в документе направлений. Также сравнению подвергаются карточки документов разных стран за один период времени, что позволяет выявлять повторяющиеся динамики развития и принципиально различные стратегии поведения.

Результаты мониторинга предоставляются ЛППР в качестве исходных данных для принятия управленческих решений по внедрению и развитию перспективных технологий. Для отображения результатов мониторинга и повышения эффективности работы ЛППР используются методы когнитивной графики [5].

## **2. Анализ существующих технологий обработки текстов на естественном языке**

Формирование структурных моделей текстовых документов — задача извлечения информации из текстов на естественном языке (ЕЯ). В настоящее время для решения этой задачи применяются как классические методы работы с текстами, основанные на использовании лингво-синтаксических шаблонов и вероятностного подхода, так и новейшие подходы нейросетевых языковых моделей (Natural Language Processing models, NLP).

Предобученные нейросетевые модели обладают преимуществами относительно традиционных средств работы с текстом. Например, они не требуют наличия большого количества вспомогательных лингвистических ресурсов для работы, что обусловлено возможностью нейронной сети самостоятельно определять признаковое пространство при обработке обучающего корпуса текста [6]. Данную технологию называют обучением представлению (representation learning). Оно направлено на автоматическое изучение информативных представлений объектов из необработанных данных [7]. Вследствие этого для проведения предварительного обучения современных языковых моделей не требуется детальное описание элементов текста множествами признаков (морфологических, синтаксических, семантических и иных). Предобученные модели, размещенные в открытом доступе, требуют значительно меньше времени и материалов для дальнейшей точечной настройки под решение конкретной задачи (fine-tuning).

Одна из последних масштабных разработок в сфере нейросетевых языковых моделей — BERT (Bidirectional Encoder Representations from Transformers),

нейронная сеть от компании Google с архитектурой Transformer. В отличие от предшествующих языковых моделей BERT формирует контекстно-зависимые представления слов с учетом двустороннего контекста, что позволяет точнее определять смысловые особенности и различия слов-омонимов [8].

Предварительно обученные BERT-модели предоставляют возможности точечной настройки для решения ряда типовых задач работы с текстом на ЕЯ, например задачи классификации (бинарной или мультиклассовой) и задачи разметки текста (поиск именованных сущностей — Named Entity Recognition, NER). Поскольку знание языка уже получено на этапе предобучения, при точечной настройке необходима лишь незначительная коррекция сети. Для настройки требуется размеченный набор данных, специфичных для решения конкретной задачи. В работе [8] приводятся варианты настроек моделей BERT с указанием конкретных наборов данных, включенных в бенчмарк General Language Understanding Evaluation (GLUE), которые можно задействовать в процессе точечной настройки.

Помимо базовой модели для формирования векторных представлений слов в открытом доступе представлены некоторые дообученные BERT-модели, уже готовые к использованию в проекте. Например, модель BERT Question Answering (Q&A) предназначена для поиска ответа на вопрос в небольшом текстовом фрагменте. Размер исходных данных для работы модели ограничен 512 токенами, что обусловлено архитектурными особенностями модели.

Среди средств работы с нейросетевыми языковыми моделями особо интересна библиотека с открытым исходным кодом DeepPavlov. Основная цель разработки библиотеки — получение инструмента, упрощающего создание диалоговых систем. В арсенале библиотеки имеется как набор предварительно обученных моделей NLP и предопределенных компонентов диалоговой системы, так и средства создания, обучения и тестирования собственных моделей и компонентов [9].

В библиотеке представлены типовые шаблоны для создания приложений диалогового типа с использованием NLP-моделей. В частности, это средства для разработки целевого чат-бота (Goal-oriented Bot), открытой вопросно-ответной системы (Open Domain Question Answering, ODQA) и системы поиска ответов на часто задаваемые вопросы (Frequently Asked Questions, FAQ). Взаимодействие модулей системы задается в специализированном config-файле, что обеспечивает корректное взаимодействие нескольких нейросетевых моделей в одном проекте. Отдельные компоненты системы могут быть изменены или отключены по желанию разработчика. Помимо возможности адаптации одного из готовых шаблонов, библиотека DeepPavlov предоставляет возможность создания системы собственной структуры благодаря использованию некоторых готовых архитектурных решений библиотеки. При этом к различным компонентам-моделям предоставляется единообразный доступ вне зависимости от их типа для свободного комбинирования разнородных моделей в одном проекте гибридных систем обработки текстов на ЕЯ.

Среди готовых NLP-моделей в библиотеке представлены модели BERT-based для решения задач классификация текста, распознавания именованных сущностей, морфологической разметки, синтаксического разбора предложений, поиска ответов на контекстный вопрос и ранжирования текста (в том числе парафразной идентификации). Кроме этого библиотека содержит и другие модели для правки орфографических ошибок, классификации и извлечения отношений между объектами, распознавания и синтеза текста [9].

Ввиду комплексности поставленной задачи мониторинга и узкой специализации каждой языковой модели в отдельности можно сделать вывод о том, что при создании системы мониторинга необходимо реализовать интегрированную гибридную модель, позволяющую использовать несколько NLP-моделей и обеспечить условия их корректного взаимодействия.

### 3. Реализация прототипа системы мониторинга

Реализован прототип системы, решающей задачу построения структурной модели текстового документа. При создании прототипа использованы как готовые нейросетевые модели, так и собственные алгоритмы работы с векторными представлениями слов и предложений.

Модуль построения структурных моделей текстовых документов базируется на использовании языковых моделей BERT Q&A и BERT NER. Для каждого поля в формируемой карточке документа задаются множества вопросов и ключевых слов. При выборе вопросов предполагается, что потенциальные ответы на них, полученные из текста документа, будут использоваться при формировании содержимого поля карточки. Набор ключевых слов используется для отбора релевантных фрагментов текста для поиска ответа на вопросы. Кроме этого введена классификация полей карточки по типу содержимого — объемное, требующее развернутого содержимого, составленного из полных предложений текста, и краткое, требующее краткости содержимого — слова или словосочетания. Дополнительно для поля карточки есть возможность указания типа сущностей (среди доступных категорий модели BERT NER), которые должны присутствовать в искомым ответах.

Концепция применения модели BERT Q&A состоит в разбиении исходного текста документа на фрагменты, отсеивании потенциально нерелевантных фрагментов с помощью поиска в них ключевых слов и получении ответов на каждый вопрос из заданного множества для каждого из релевантных фрагментов с помощью языковой модели. Необходимость разбивки текста на части обусловлена ограниченными техническими возможностями модели BERT Q&A. В результате выполнения поиска ответов по отобранным фрагментам текста формируется набор предполагаемых ответов, из которого с помощью модели BERT NER удаляются элементы, не содержащие требуемые типы сущностей.

В зависимости от типа поля карточки к набору ответов применяется либо алгоритм выбора единственного обобщающего ответа, либо алгоритм удаления дублирующих ответов. Оба алгоритма включают вычисления меры смысловой близости полученных ранее ответов. Вычисление меры сходства векторов фрагментов предложений осуществлено на модели Sentence-BERT для получения семантически цельных векторных представлений предложений, которые можно сравнить с использованием меры косинусного сходства [10]. После обработки набора ответов тем или иным алгоритмом в качестве содержимого поля используется либо единственный потенциально верный ответ, либо совокупность ответов, из которой были удалены дубликаты и в которой по каждому из ответов были получены исходные полные предложения текста документа. После получения структурной модели документа проводится ее классификация по тематике развиваемых технологических направлений. В качестве представления рубрики классификатора используется структура, состоящая из текста описания рубрики и набора ключевых слов. Классификация проводится в два этапа. На первом этапе попарно сравниваются предложения текста описания рубрики с предложениями из указанных объемных полей карточки на модели Sentence-BERT с применением меры косинусного сходства. На втором этапе ключевые слова извлекаются из предложений объемных полей карточки для дальнейшего аналогичного попарного сравнения с ключевыми словами анализируемой рубрики. По заданным границам значения мер сходства предложений и ключевых слов определяется число схожих предложений  $s$  и число схожих ключевых слов  $k$ . Модель документа относится к рубрике, если полученные параметры  $s$  и  $k$  равны или превышают минимальные граничные значения пользователя.

Для тематического классификатора предусмотрено автоматическое формирование новой рубрики, если ни одна из рассматриваемых рубрик не была отнесена к документу, и разделение крупной рубрики на дочерние подрубрики.

Для отслеживания развития некоторого технологического направления документы, отнесенные к соответствующей рубрике, сравниваются, результат — степень смысловой близости (сходства) содержимого каждого поля в процентах, а также выделение наиболее схожих предложений и ключевых слов различия для объемных полей карточек. Коэффициент сходства для кратких полей определяется с использованием модели Sentence-BERT и меры косинусного сходства. Коэффициент сходства для объемных полей специфицируется поиском схожих предложений в идентичных полях двух карточек (аналогично процессу классификации, описанному выше) и расчетом значения коэффициента по модифицированной бинарной мере сходства Жаккара.

#### 4. Результаты работы системы мониторинга

В качестве исходных данных для оценки работы прототипа системы мониторинга использовались стратегические документы США — «Стратегия национальной безопасности» (The National Security Strategy, NSS) за 2002,

2006, 2010, 2015 и 2017 гг., «Стратегия национальной обороны» (National Defense Strategy, NDS) за 2005, 2008 и 2018 гг., а также «Руководящие принципы оборонной стратегии» (Defense Strategic Guidance, DSG) за 2012 г.

Для каждого документа сформирована карточка, проведены попарные сравнения каждых последовательно опубликованных документов. С точки зрения мониторинга развития технологических направлений интерес представляют следующие наблюдения:

1. При сравнении NSS 2002 и 2006 гг. можно отметить тенденцию перехода от тематики разработки более чистых и энергоэффективных технологий к вопросам переработки ядерных материалов и реакторов, что может свидетельствовать о развитии данного направления.

2. При сравнении NSS 2006 и 2010 гг. среди ключевых слов отличия более позднего документа можно отметить появление понятия киберпространства (cyberspace), что свидетельствует о росте популярности данной сферы технологических и политических интересов.

3. При сравнении NSS 2015 и 2017 гг. можно отследить причинно-следственную связь: если в документе 2015 г. отмечается упор на развитие науки и обмена информацией, а в ключевых словах встречаются понятия «образование», «педагоги» и «наука» (education, teachers, science), то в документе 2017 г. фигурирует интенсивное развитие инновационных технологий, а среди ключевых слов встречаются понятия «наука о данных» и «искусственный интеллект» (data science, artificial intelligence).

4. При сравнении DSG за 2012 г. и NDS за 2018 г. отмечается распространение ядерного, биологического и химического оружия, среди ключевых слов присутствует понятие ядерного оружия (nuclear). Также в документе за 2018 г. отмечается развитие новейших технологий (передовые вычисления, аналитика больших данных, искусственный интеллект, робототехника, биотехнологии), что аналогично NSS за 2017 г.

### Заключение

Представлен прототип системы мониторинга развития технологических направлений на основе построения структурных моделей текстовых документов. Прототип разработан в рамках реализации гибридного подхода к прогнозированию появления и развития новых технологических направлений в научно-технической сфере. Он позволяет отслеживать развитие перспективных технологических направлений на основе сбора и анализа доктринальных документов с использованием нейросетевых моделей анализа естественного языка. Авторы видят направление развития системы мониторинга в совершенствовании способов гибридизации различных нейросетевых моделей. Для этого в рамках дальнейшей работы предполагается использовать средства библиотеки DeepPavlov, предоставляющей готовые технологические решения для построения приложений с совместным применением как NLP-моделей, так и моделей на основе правил.

## Список литературы

1. Андреев А. М., Березкин Д. В., Козлов И. А. Гибридный подход к прогнозированию развития ситуаций на основе извлечения событий из потоков разнородных данных // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. 4-й Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием. Калининград, 2018. С. 140—147.
2. *Silberglitt R., Anton P.S., Howell D.R. et al.* The Global Technology Revolution 2020: In-Depth Analyses. Santa Monica, 2006.
3. Андреев А. М., Березкин Д. В., Козлов И. А., Симаков К. В. Многокритериальный метод выявления нечетких дубликатов в потоке текстовых сообщений // Системы и средства информатики. 2015. Т. 25, № 1. С. 34—53.
4. Андреев А. М., Березкин Д. В., Козлов И. А., Симаков К. В. Подход к автоматизированному контролю работы системы извлечения данных с веб-сайтов // Информатика и ее применения. 2013. Т. 7, вып. 3. С. 2—13.
5. Пролетарский А. В., Березкин Д. В., Гапанюк Ю. Е. и др. Методы ситуационного анализа и графической визуализации потоков больших данных // Вестник Московского государственного технического университета им. Н. Э. Баумана. Сер.: Приборостроение. 2018. № 2 (119). С. 98—123.
6. Шелманов А. О., Исаков В. А., Станкевич М. А., Смирнов И. В. Открытое извлечение информации из текстов. Ч. 1. Постановка задачи и обзор методов // Искусственный интеллект и принятие решений. 2018. № 2. С. 47—61.
7. *Zhiyuan Liu, Yankai Lin, Maosong Sun.* Representation Learning for Natural Language Processing. Springer, 2020.
8. *Devlin J., Chang M.-W., Lee K., Toutanova K.* BERT: Pre-training of Deep Bidirectional Transformers for Language Understanding // Proceedings of the 2019 Conference of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. Vol. 1 (Long and Short Papers). Minneapolis, 2019. P. 4171—4186.
9. *Burtsev M., Seliverstov A., Airapetyan R., Arkhipov M.* DeepPavlov: Open-Source Library for Dialogue Systems // Proceedings of the 56th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics-System Demonstrations. Melbourne, 2018. P. 122—127.
10. *Reimers N., Gurevych I.* Sentence-BERT: Sentence Embeddings using Siamese BERT-Networks // Proceedings of the 2019 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing and the 9th International Joint Conference on Natural Language Processing (EMNLP-IJCNLP). Hong Kong, 2019. P. 3982—3992.

**Т. А. Гаврилова<sup>1</sup>, К. В. Кротов<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup> СПбГУ, Высшая школа менеджмента, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> gavrilova@gsom.spbgu.ru, <sup>2</sup> krotov@gsom.spbgu.ru*

## **ОБ ОПЫТЕ ОНЛАЙН-ПЕРЕПОДГОТОВКИ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ ВУЗОВ В ОБЛАСТИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА**

### **Введение**

Популярность тематики искусственного интеллекта в настоящее время трудно переоценить. Проводятся десятки конференций, публикуются меморандумы, ГОСТы, интервью со специалистами. Однако в высшей школе наблюдается явная нехватка экспертов в области искусственного интеллекта (ИИ), больших данных и других перспективных направлениях информатики.

В ответ на эти вызовы в СПбГУ в конце 2019 г. был создан Международный научно-методический центр (МНМЦ) для распространения лучших международных практик подготовки, переподготовки и стажировки продвинутых кадров цифровой экономики в областях математики, информатики и технологий. В условиях пандемии COVID-19 и в соответствии с требованиями предотвращения распространения коронавирусной инфекции выполнен полный перевод всех запланированных мероприятий программы в режим онлайн.

Данная статья посвящена анализу результатов первого выпуска слушателей в 2020 г. в рамках проекта МНМЦ (руководитель К. В. Кротов).

### **1. О программе**

Целевая аудитория программы — преподаватели, научные сотрудники и аспиранты высшей школы и научно-исследовательских институтов, занятые преподаванием технических дисциплин и научными исследованиями в областях, близких к computer science, и интересующиеся проблемами ИИ. Акцент в программе сделан на широкий охват проблематики в этой стремительно развивающейся области. Цель — развеять мифы и сверхожидания, а также раскрыть современное состояние научных исследований и промышленных технологий этой ветви информатики.

Программа повышения квалификации «Искусственный интеллект» (академический директор программы Т. А. Гаврилова) состояла из пяти учебных курсов, серии открытых вебинаров и итоговой аттестации в форме защиты выпускной работы. На программу зачислены 65 обучающихся, а до защиты выпускной аттестационной работы дошли 50 человек из 21 университета.

Обучение велось на платформах zoom и LMS (Learning management system) Moodle в течение четырех месяцев в синхронном и асинхронном режимах. Система Moodle кастомизирована для МНМЦ СПбГУ, где размещались учебно-дидактические материалы, презентации, домашние задания, кейсы, литература и загружались выпускные аттестационные работы.

## 2. Краткая предыстория

Российская традиция чтения курсов по системам ИИ насчитывает уже почти 30 лет. В Москве, Петербурге, Новосибирске, Владивостоке, Томске и других городах с момента образования Российской ассоциации искусственного интеллекта в 1988 г. данный курс успешно читается ведущими специалистами в этой области для студентов технических и гуманитарных вузов. Опубликованы несколько базовых учебников (как отечественных, так и переводных [1—5], материалы которых также можно использовать при чтении курсов лекций.

Однако структура этих курсов существенно отличается, достаточно сравнить выпущенные в России монографии и учебники по ИИ [6—13]. Отчасти это объясняется междисциплинарным базисом и широкой проблематикой ИИ, отчасти быстрой сменой парадигм в этой молодой науке. В большой степени это связано с различиями в научных школах и направлениях исследований. В данной статье обсуждается дизайн, основанный на подходе, смягчающем субъективизм и несбалансированность курсов, читаемых в высших учебных заведениях под названием «искусственный интеллект».

## 3. Педагогический дизайн программы: онтологический подход

Одно из определений онтологии дал Том Грубер: «Онтология — это спецификация концептуализации» [14]. Никола Гуарино определяет онтологию следующим образом: «Онтология — это формальная теория, ограничивающая возможные концептуализации мира» [15]. Более детализированное определение: «Онтология — это спецификация предметной области или формальное ее представление, которое включает словарь указателей на термины предметной области и логические выражения, которые описывают, что эти термины означают, как соотносятся друг с другом и как они могут или не могут быть связаны между собой» [6].

В общем виде структура легкой (light-weighted) онтологии представляет каркас или структурированный словарь основных разделов предметной области. Самый распространенный тип отношений во всех онтологиях — отношение категоризации, отнесения к определенной категории.

Если подойти к структуре программы (или курса) как к онтологии предметной области, то явно выделяются два подхода (рис. 1, 2): чтение курса обзорно («широкая» онтология ИИ) и чтение курса в глубину («глубокая» онтология ИИ).

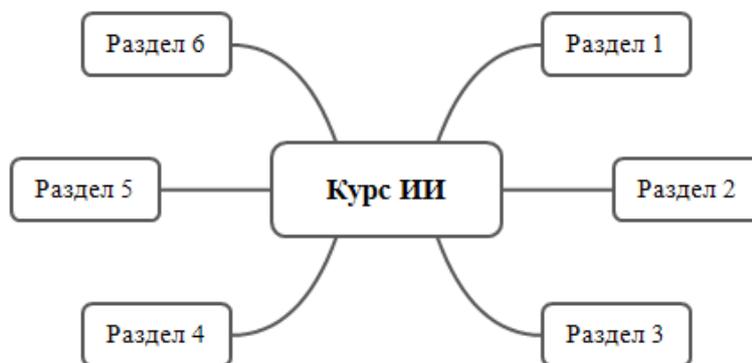


Рис. 1. «Широкая» онтология

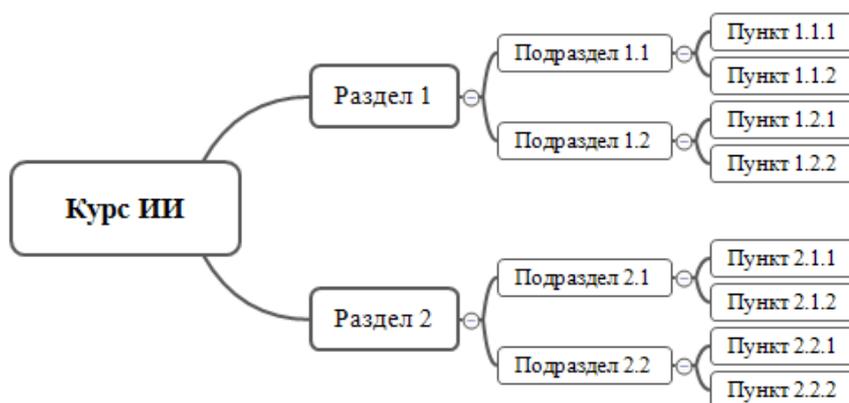


Рис. 2. «Глубокая» онтология

При планировании проекта принято решение о целесообразности чтения преподавателями максимально широких курсов, что позволяет сформировать разностороннюю палитру компетенций у слушателей, которую впоследствии они могут видоизменять согласно специфике профиля своего вуза.

Для педагогического дизайна авторы придерживались визуального онтологического подхода в разработке учебных онтологий [16], который был последовательно применен для детальной проработки материалов всех пяти курсов программы. Для этого подхода характерно визуально отображать структуру онтологии в виде интеллект-карт, или концептуальных карт.

Так, в программе использовались два типа онтологий: 1) организационно-методические: методические модели, например карты программ обучения, карты профилей и направлений обучения; карты знаний об организации процесса обучения [17], например карты подготовки к экзамену и критериев

оценки, карты организации библиотечной работы и карты, отражающие структуру выпускной аттестационной работы; 2) учебно-дидактические: содержательные модели, например карты основных понятий, идей, подходов, личностей, научных школ; структурные модели, например содержание отдельных сложных понятий, схемы организационных структур, архитектуры, платформы, логистические схемы и т. д.

### 3. Общий дизайн и реализация программы

Современные исследования в области ИИ ведутся в основном в двух научных парадигмах. Одна основана на развитии графов знаний и семантических технологий, это направление называется «символьный ИИ», или «черный ящик», вторая парадигма включает моделирование искусственных нейронных сетей и машинное обучение. Курс по специфике дистанционного обучения (ДО) и цифровым технологиям обучения был введен дополнительно в связи с тотальными революционными изменениями в технологиях обучения в эпоху пандемии. Структура программы изображена на рисунке 3.

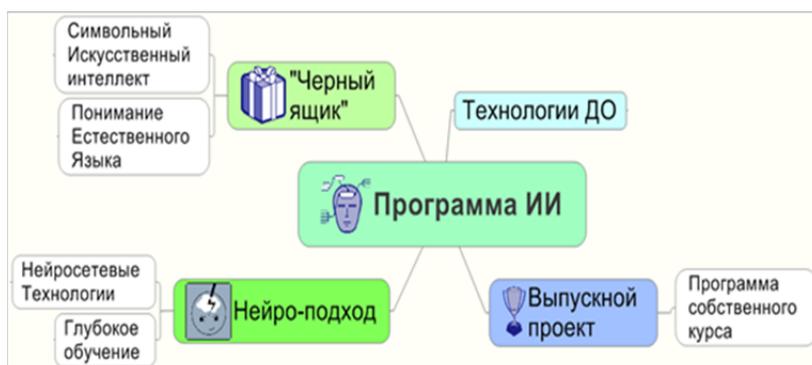


Рис. 3. Структура программы «Искусственный интеллект»

Для преподавания приглашались ведущие исследователи СПбГУ, Москвы и зарубежные специалисты. Помимо лекций, практических занятий, консультаций, самостоятельной работы и компьютерного практикума в рамках учебных занятий программа включала вебинары, круглые столы и обмен опытом.

Основные дисциплины программы и преподаватели:

— *Символьный искусственный интеллект*, д-р техн. наук, проф. Т. А. Гаврилова, РИНЦ = XXXX, индекс Хирша по РИНЦ = XX на 12.12.2020 г.

— *Нейросетевые технологии*, канд. физ.-мат. наук С. И. Николенко, РИНЦ = XXXX, индекс Хирша по РИНЦ = XX на 12.12.2020 г.

— *Глубокое обучение*, канд. физ.-мат. наук С. И. Николенко, РИНЦ = XXXX, индекс Хирша по РИНЦ = XXX на 12.12.2020 г.

— *Обработка естественного языка и распознавание речи*, канд. техн. наук С. А. Яблонский, РИНЦ = XXX, индекс Хирша по РИНЦ = X на 12.12.2020 г.

— *Применение цифровых инструментов в преподавании*, М. Ю. Арзуманян, РИНЦ = XXX, индекс Хирша по РИНЦ = X на 12.12.2020 г.

#### 4. Инновации в программе

В результате перевода программы в онлайн стало возможным приглашение ведущих исследователей из-за рубежа и России для проведения открытых вебинаров.

Особый интерес у слушателей вызвали следующие темы: «Google Dataset Search: Building an open ecosystem for dataset discovery» («Как Гугл ищет наборы данных: построение открытой экосистемы поиска данных»), Н. Ной, PhD (Исследовательский центр Гугл, США); «Preparing the ground for AI — Data and Information Integration with Knowledge Graphs» («Подготовка почвы для искусственного интеллекта — интеграция данных и знаний с помощью графов знаний»), профессор А. Зёрен, PhD (директор технической библиотеки Германии, Университет Лейбница); «Интеллектуальные системы в медицине: реальность, мифы и перспективы», д-р мед. наук Б. А. Кобринский (ФИЦ «Информатика и управление» РАН, Москва); «ИИ в фармацевтической промышленности», канд. техн. наук И. Ефименко, д-р техн. наук В. Ф. Хорошевский (компания Semantic Hub, Москва); «Эволюционные вычисления. Генетические алгоритмы», канд. техн. наук О. Н. Тушканова (СПб ФИЦ РАН), вебинар только для слушателей программы; «Роевой интеллект. Основные методы и алгоритмы», канд. техн. наук О. Н. Тушканова, вебинар только для слушателей программы; «Семантические технологии и графы знаний», канд. техн. наук, доц. Д. И. Муромцев (ИТМО), открытый вебинар; «Онтологическое моделирование», канд. техн. наук, доц. Д. В. Кудрявцев (ВШМ СПбГУ), гостевая лекция.

Следует отметить высокий уровень подготовки слушателей (более одной трети аудитории имели степень кандидата наук и двое — доктора наук), их активность, энтузиазм и положительную обратную связь.

Особенный интерес вызвали закрытые семинары и круглые столы «Опыт преподавания и исследований по ИИ в России» по обмену опытом только для слушателей программы с докладами канд. техн. наук О. Н. Тушкановой «Опыт исследований и преподавания в Политехе» (Санкт-Петербург); канд. техн. наук Д. И. Муромцева «Опыт исследований и преподавания в ИТМО» (Санкт-Петербург); канд. техн. наук А. Ю. Максимовой «Миварные интеллектуальные системы» (Донецк); канд. техн. наук А. В. Углева «Фиксация авторского права на базы знаний и наборы данных для обучения алгоритмов ИИ» (Красноярск); канд. техн. наук Г. Б. Бронфельда «Технология прямого наложения знаний» (Нижний Новгород); канд. техн. наук А. А. Бабенко «Программный комплекс утечки графических инструментов» (Волгоград); канд. техн. наук О. А. Сычева «Система генерации учебных задач для студентов» (Москва).

### Заключение

Обратная связь со слушателями показала, что программа переподготовки в целом удалась и получила высокую оценку. Участники проявили самоорганизованность и активность во время обучения, а также написания выпускной работы по составлению собственной программы курса по дисциплине «Искусственный интеллект». Онтологический подход к построению программы обучения создал у слушателей целостное и системное представление о структуре современного ИИ, что потребовало достаточно широкого кругозора и навыков визуально-аналитического мышления. Разработке информационно-методического ресурса (другими словами, «поля знаний» [18], или концептуального каркаса [19]) предшествовал трудоемкий процесс согласования терминологии, определений и основных парадигм в коллективе преподавателей курса. Реализация программы способствовала распространению накопленного в СПбГУ и его сети партнеров опыта обучения студентов и переподготовки научно-педагогических работников и аспирантов российских образовательных организаций. Кроме того, было создано научное сообщество, объединяющее преподавателей ИИ, выпускников программ МНМЦ по всей стране.

*Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 20-07-008854 (ЭМПИРИОН).*

### Список литературы

1. Рутковский Л. Методы и технологии искусственного интеллекта. Телеком, 2010.
2. Джарратано Д., Райли Г. Экспертные системы. Принципы разработки и программирование. М., 2006.
3. Осипов Г. С. Методы искусственного интеллекта. М. : Физматлит, 2011.
4. Редько В. Г. Эволюция, нейронные сети, интеллект: Модели и концепции эволюционной кибернетики. М., 2016.
5. Финн В. К. Искусственный интеллект. Методология, применения, философия, М. : КРАСАНД, 2011.
6. Гаврилова Т. А., Хорошевский В. Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. СПб. : Питер, 2001.
7. Загорулько Г., Загорулько Ю. Искусственный интеллект. Инженерия знаний : учеб. пособие для вузов. М. : Litres. 2021.
8. Гаврилова Т. А., Кудрявцев Д. В., Муромцев Д. И. Инженерия знаний. Модели и методы. СПб. : Лань, 2020.
9. Колесников А. В., Кириков И. А., Листопад С. В. Гибридные интеллектуальные системы с самоорганизацией: координация, согласованность, спор. М. : ИПИ РАН, 2014.
10. Норвиг П., Рассел С. Искусственный интеллект: современный подход (AIMA-2). М. ; СПб. ; Киев : Вильямс, 2015.
11. Тарасов В. Б. От многоагентных систем к интеллектуальным организациям. М. : Эдиториал УРСС, 2002.

12. Чулюков В. А. и др. Системы искусственного интеллекта. Практический курс : учеб. пособие. М., 2008.
13. Хайкин С. Нейронные сети. Полный курс. 2-е изд. М. ; СПб. ; Киев, 2016.
14. Gruber T. R. A translation approach to portable ontology specifications // Knowledge acquisition. 1993. 5 (2). P. 199—220.
15. Guarino N. Formal ontology, conceptual analysis and knowledge representation // International journal of human-computer studies. 1995. 43 (5—6). P. 625—640.
16. Гаврилова Т. А. Авторский дизайн курса «искусственный интеллект»: онтологический подход // Шестнадцатая Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2018. Труды конференции : в 2 т. М., 2018. Т. 1. С. 13—19.
17. Кудрявцев Д. В. Системы управления знаниями и применение онтологий. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010.
18. Гаврилова Т. А., Червинская К. Р., Яшин А. М. Формирование поля знаний на примере психодиагностики // Известия АН СССР. Техническая кибернетика. 1988. № 5. С. 72—85.
19. Ligozat F., Almqvist J. Conceptual frameworks in didactics-learning and teaching: Trends, evolutions and comparative challenges // European Educational Research Journal. 2018. 17 (1). P. 3—16.

**А. В. Галкин<sup>1</sup>, П. В. Сараев<sup>2</sup>, А. С. Сысоев<sup>3</sup>, Е. Л. Хабибуллина<sup>4</sup>**

*1, 2, 3, 4 Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия*  
e-mail: <sup>1</sup> galkin\_av@stu.lipetsk.ru, <sup>2</sup> saraev\_pv@stu.lipetsk.ru, <sup>3</sup> sysoev\_as@stu.lipetsk.ru, <sup>4</sup> e\_khabibullina@stu.lipetsk.ru

## **ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ РЕГИОНАЛЬНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

### **Введение**

Разработка эффективных схем региональных транспортно-логистических систем в России и большой интерес, вызванный отсутствием подобных проектов, объясняются несколькими причинами. Прежде всего это возможность подключения интеллектуальных систем к системе мониторинга транспорта. Другая причина — применение разработанной системы, связанной с искусственным интеллектом, к сфере беспилотного транспорта. Следование этой идее приводит к дорожным картам Российской национальной технологической инициативы — программе поддержки перспективных развивающихся отраслей экономики. Дорожные карты Инициативы основаны на изучении сферы модернизации экономики и инновационного развития и включают результаты анализа каждого этапа реализации. В соответствии с дорожными картами Правительство РФ подтвердило участие в семи рынках мировой экономики, одним из которых является рынок AutoNet [1].

Актуальность разработки интеллектуальной системы управления транспортными потоками в высокоскоростных транспортных коридорах — важная и актуальная проблема, поскольку, по оценке Всемирной торговой организации, доля использования транзитного потенциала России составляет сегодня примерно 20 %.

Развитие региональных интеллектуальных транспортно-логистических модулей и их дальнейшая интеграция в единую систему — стратегический план, определяющий общую конкурентоспособность России на мировом рынке транспортно-логистических услуг.

Транспортная инфраструктура Липецкой области играет значительную роль в ее социально-экономическом развитии — это один из факторов экономического роста, повышения конкурентоспособности экономики и качества жизни населения (рис. 1). Крупные промышленные предприятия, расположенные в регионе, — источники грузопотоков, неравномерно распределенных по сезонам.

Работа построена следующим образом. В разделе 1 предлагается схема создания региональной системы управления транспортными потоками в

транспортных коридорах. В разделе 2 описаны подходы к моделированию элементов транспортного коридора и его параметров. Раздел 3 содержит алгоритмы для автоматического формирования продукционных правил для управления параметрами транспортного коридора. В разделе 4 описывается подход к минимизации перегруженных элементов транспортной системы путем перераспределения транспортных потоков.

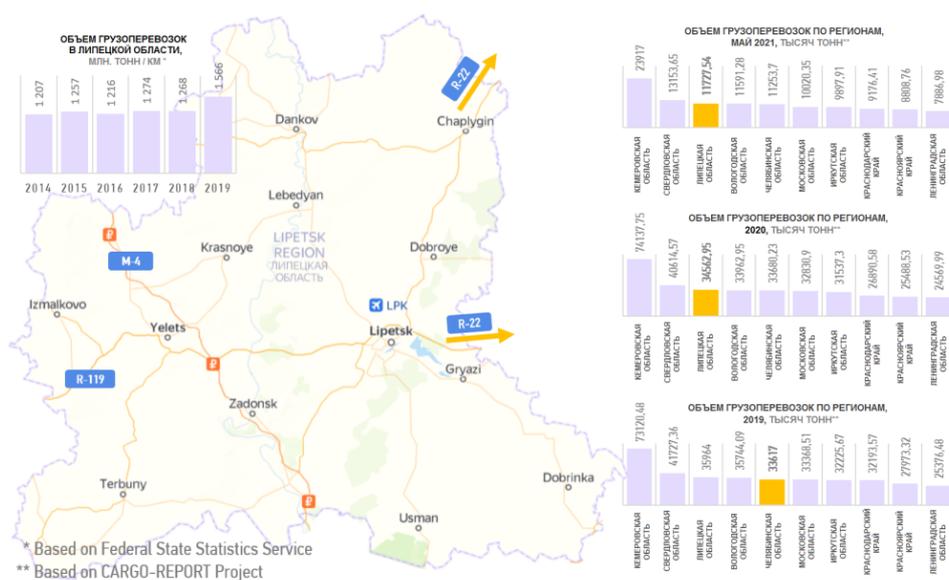


Рис. 1. Транспортная инфраструктура Липецкой области

### 1. Гибридная концептуальная схема региональной интеллектуальной транспортно-логистической системы

На базе многолетних исследований Липецкого государственного технического университета предлагается следующая структурная схема организации регионального центра интеллектуальной транспортно-логистической системы (рис. 2). Эта структура представляет собой платформу для реализации региональных модулей интеллектуальной транспортно-логистической системы Российской Федерации [2].

Исходя из обнаруженных отклонений характеристик транспортного потока и заданных критериев качества, система управления изменяет режимы светофорной сигнализации и/или формирует показания дорожных знаков (в том числе адаптивное управление) для достижения оптимальных значений наблюдаемых критериев. Кроме того, необходимая информация для водителей должна постоянно размещаться на информационных табло в режиме реального времени.

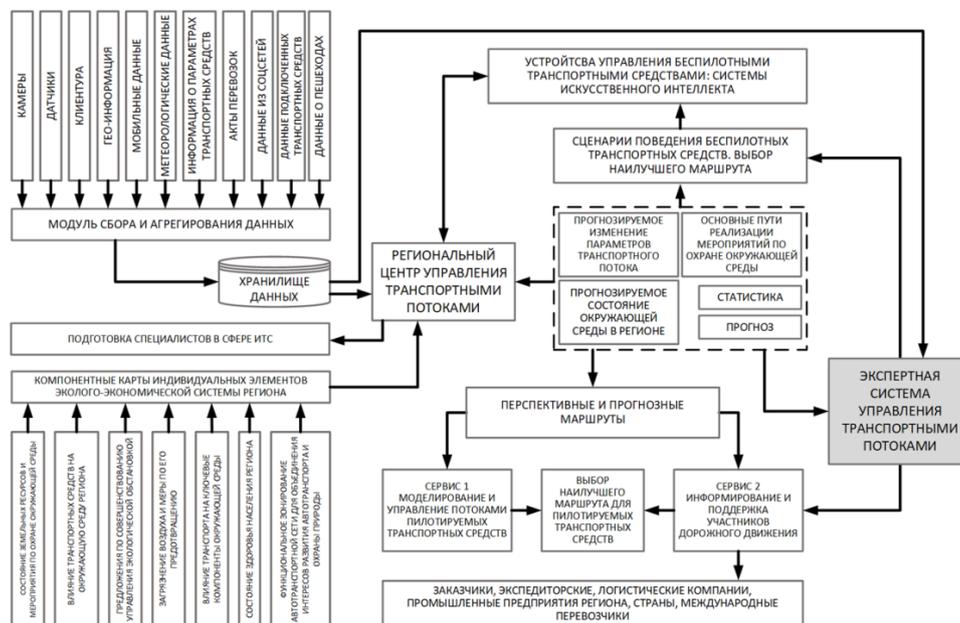


Рис. 2. Концептуальная схема модуля региональной интеллектуальной транспортно-логистической системы

Разумно считать, что транспортный коридор можно моделировать как магистраль с системой учета контроля доступа в коридор со всех въездных рамп. Параметры активации определяются и устанавливаются для коридора на основе его характеристик транспортного потока и геометрии, погодных условий и других факторов. Для выявления оптимальных режимов функционирования предлагается использовать решение оптимизационной задачи, которая определяет минимальное время в пути (включая задержки на въездных рампах) для прохождения всего анализируемого сегмента транспортного коридора.

## 2. Моделирование транспортных коридоров и их параметров

Сегмент транспортного коридора может быть разделен на участки двух типов, характеризующиеся расположением въездных рамп (рис. 3). Участки первого типа (Т1) состоят из съездной рампы и сегмента до следующей въездной рампы. Интенсивность движения в этом случае может быть найдена как разница между интенсивностью движения перед съездной рампой и объемом выезжающего транспорта. Участки второго типа (Т2) начинаются там, где транспортные средства с примыкания въезжают на основную дорогу, и заканчиваются на следующем съезде.

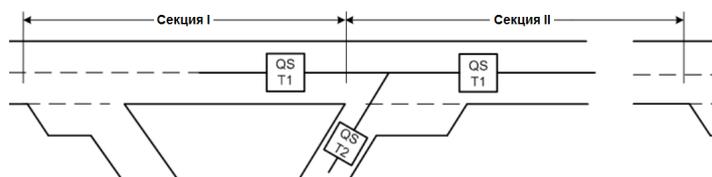


Рис. 3. Система массового обслуживания для моделирования участков скоростного транспортного коридора

Участки обоих типов имеют общее время в пути, рассчитываемое в режиме онлайн в соответствии с текущими условиями движения. Задержки на въездных рампах относятся к участкам второго типа.

Для количественной оценки общего времени в пути время движения в пределах коридора и время задержки на въездных рампах суммируются. Интенсивности, замеренные на въездных рампах и в коридоре, служат входными данными для оптимизационной модели.

На подходах к въездным рампам возникает еще один тип задержки, которая может быть оценена как задержка движения на нерегулируемых перекрестках (когда система ограничения доступа выключена) или регулируемых перекрестках (когда система включена). Расчеты времени этой задержки основаны на соотношении интенсивности и пропускной способности.

Для оценки интенсивности транспортного потока на подходах к транспортным коридорам, а также внутри коридоров построена модель компьютерного зрения на основе нейронной сети глубокого обучения. Интерфейс приложения для распознавания параметров транспортного потока представлен на рисунке 4.

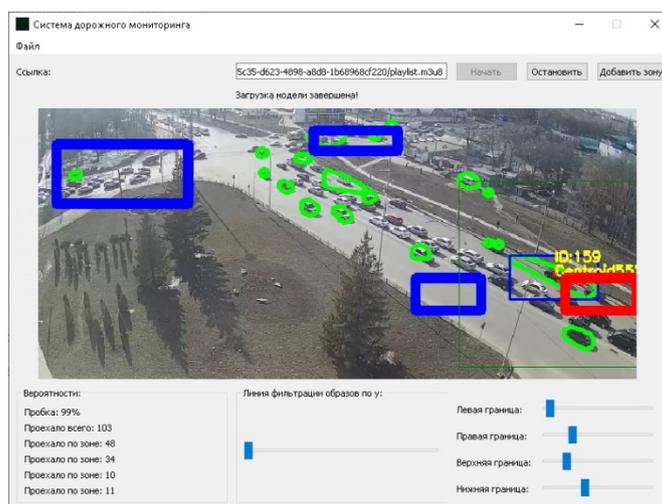


Рис. 4. Интерфейс системы детектирования параметров транспортного потока на основе видеоданных из открытых источников

В отличие от классического стохастического подхода, основанного на распределении Пуассона для процесса прибытия и при некотором стохастическом распределении для объяснения времени обслуживания, детерминированный (систематический) механизм предполагает использование постоянно фиксированного времени прибытия для каждой заявки (транспортного средства) в системе и постоянного времени для процесса обслуживания. В исследовании применяются детерминированные системы массового обслуживания типа  $D/D/1$  с детерминированными временем прибытия и временем обслуживания на одном сервере.

Рисунок 3 также иллюстрирует, как детерминированные системы очередей применяются для моделирования различных типов сегментов транспортного коридора. Существуют два типа систем очередей [3]:

— QS T1: система очередей  $D/D/1$ , используемая для моделирования транспортного потока в коридоре, где основные характеристики транспортного потока (интенсивность движения и т. д.) принимаются в качестве входных параметров;

— QS T2: система очередей  $D/D/1$ , используемая для моделирования транспортного потока на въездных рампах. Задержки на въездной рампе возникают из-за высокой интенсивности движения в коридоре и/или из-за функционирования системы контроля доступа. Варьируя параметры управления системы контроля доступа, можно минимизировать время обслуживания.

Цель формулировки задачи — поиск оптимальных параметров управления для систем второго типа для того, чтобы обеспечить более высокий уровень качества для всего транспортного коридора.

Многие международные руководства содержат набор подходов к оценке пропускной способности различных типов дорог, предполагающих использование теоретических результатов, обновленных в последних редакциях, но все они представляют традиционный детерминированный подход для расчета пропускной способности. В 1986 г. в Нидерландах впервые была использована модель цензурированных данных для определения функции распределения случайной величины при моделировании пропускной способности автомагистрали. С помощью такого подхода сегмент транспортного коридора рассматривается как система очередей  $D/D/1$ , где все доступные данные о пропускной способности делятся на два класса интервалов — нецензурированные (если они содержат наблюдаемую пропускную способность) и цензурированные (скорость пропускной способности этого интервала не определена, но превышает текущее значение транспортного потока).

На основе имеющихся данных о моментах, в которые наблюдалось затрудненное движение транспортных средств в коридоре, и статистических допущений (в моменты свободного движения) процедура ремоделирования позволяет сформировать вход-выходной массив, разделяющий все временные интервалы на два подмножества:  $O$  («наблюдаемые») — временные интерва-

лы, в которых пропускная способность участка дороги точно равна наблюдаемому объему движения;  $E$  («оцененные») — временные интервалы, движение транспортных средств в которых свободное, то есть пропускная способность сечения оценивается с использованием стохастического подхода. Эти два подмножества формируют массив исходных данных для обучения выбранной структуры для дальнейшего прогнозирования.

Рассмотрим алгоритм построения нейросетевой модели для прогнозирования пропускной способности участка транспортного коридора.

*Шаг 1.* Разделить все имеющиеся данные на подмножества «наблюдаемых» и «оцененных» интервалов. Критерии такого разделения должны быть определены заранее. Обычно это порог средней скорости, указывающий на переход транспортного потока в режим затора.

*Шаг 2.* Используя выборку данных, полученную на шаге 1, обучить нейросетевую модель с заранее заданной структурой. На этом этапе должен быть проведен анализ точности модели и выполнена корректировка ее структуры (в случае неудовлетворительной точности).

*Шаг 3.* Используя модель, полученную на шаге 2, оценить пропускную способность на новом наборе данных. Общая форма нейросетевой модели, которая будет применена на шаге 2,

$$y = \phi^{(k)}(w_0^{(k)} + W_1^{(k)} \phi^{(k-1)}(\dots(w_0^{(2)} + W_1^{(2)} \phi^{(1)}(w_0^{(1)} + W_1^{(1)} x))\dots)),$$

где  $y \in R$  — скалярный выход (значение пропускной способности);  $x \in R^n$  — векторный вход (факторы, оказывающие влияние на пропускную способность);  $\phi^{(i)}, i = 1, \dots, k$  — векторные функции векторных аргументов (функции активации нейронов на слоях);  $W_1^{(i)}$  — матрица весов при переходе от скрытого слоя ( $i - 1$ ) к скрытому слою  $i$ ,  $w_0^{(i)}; i = 1, \dots, k$  — векторы свободных членов.

В прикладных задачах важно найти, какие входные факторы наиболее значимы, для того, чтобы, например, управлять процессом или системой, редуцировать модель или преобразовать ее в модель из другого класса. Как правило, ответ на такой вопрос можно получить после применения методов анализа чувствительности. В исследовании был синтезирован подход к анализу чувствительности, основанный на применении анализа конечных изменений [6].

Наиболее часто используемое представление конечного изменения  $\mu(x)$  переменной  $x$  при переходе от начального состояния в момент  $t_0(x^{t_0})$  к своему финальному состоянию в момент времени  $t_1(x^{t_1})$  — это конечное приращение  $\mu(x) = \Delta x = x^{t_1} - x^{t_0}$ . Такое приращение рассматривается как малая, но не бесконечная величина. Анализ конечных изменений направлен на решение задачи построения на основе модели  $y = f(X)$  новой модели  $\mu(y) = \phi(\mu(X))$ ,

показывающей связь между конечным изменением скалярного выхода  $\mu(y)$  и конечными изменениями  $\mu(X)$  вектора факторов, оказывающих на него влияние. Оценки индексов  $A_i$ , характеризующих влияние, которое оказывает изменение каждого из входов модели на изменение ее выхода:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n A_i \cdot \Delta x_i = A_1 \cdot \Delta x_1 + \dots + A_n \cdot \Delta x_n, \quad A_i = \frac{\partial f}{\partial x_i}(\dots, x_1^{(t_0)} + \alpha \cdot \Delta x_i, \dots).$$

Анализ чувствительности, основанный на применении анализа конечных изменений, был проведен для получения оценок значимости факторов, влияющих на пропускную способность участка транспортного коридора.

В соответствии с полученными результатами факторы пропускной способности могут быть ранжированы (рис. 5).

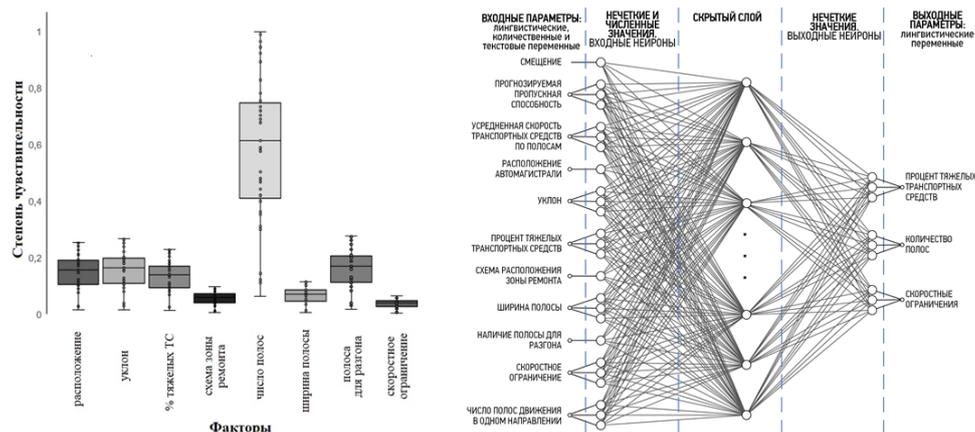


Рис. 5. Результаты анализа чувствительности модели стохастической пропускной способности и структура нейронной сети для автоматического формирования продукционных правил

### 3. Экспертная система управления транспортом параметрами коридоров

Согласно приведенным выше результатам, следующие факторы, описывающие текущее и прогнозируемое состояние транспортного коридора, используются в экспертной системе в качестве входных параметров: расчетная пропускная способность, средняя скорость движения транспортных средств по полосам, местоположение высокоскоростного транспортного коридора, уклон магистрали, процент тяжелых транспортных средств, расположение зоны ремонта, количество полос движения в одном направлении, ширина полос движения, сокращение полос и ограничение скорости. Процент тяжелых транспортных средств, количество полос движения в одном направлении

(обочины или полосы реверсивного движения работают в качестве дополнительных полос), ограничение скорости (с переменными дорожными знаками) используются в качестве выходных параметров экспертной системы.

Знания экспертов по конкретным задачам представлены набором продукционных правил IF-THEN. Каждое продукционное правило может включать информацию об одном или нескольких входных факторах в части условия и в части вывода.

Набор нечетких правил, сформулированных экспертами, может быть неполным или противоречивым. Поэтому задача автоматического построения базы знаний на основе наблюдаемых данных является актуальной. В исследовании для формирования таких наборов правил предлагается следующий алгоритм [7].

На первом шаге алгоритма необходимо определить терм-множества для лингвистических переменных, соответствующих каждому входному ( $I_i, i = \overline{1, N}$ , где  $N$  — количество входных параметров экспертной системы) и выходному ( $O_l, l = \overline{1, M}$ , где  $M$  — количество выходных параметров экспертной системы) параметрам, на основе экспериментального набора данных и результатов анализа чувствительности, определяющих количество нечетких значений, которые каждая лингвистическая переменная может первоначально принять ( $N_i$  и  $M_l$  — количество возможных нечетких значений для каждой входной и выходной лингвистической переменной соответственно). Для каждой переменной определяется минимальное и максимальное значения по массиву данных, затем полученный интервал разбивается на  $N_i$  или  $M_l$  отрезков, имеющих одинаковую длину. Также должны быть определены функции принадлежности для каждого терма (в задаче управления транспортными потоками рекомендуется использовать функцию принадлежности треугольной формы). Каждая лингвистическая переменная принимает нечеткие значения из своего терм-множества (например, «НИЗКАЯ», «СРЕДНЯЯ», «ВЫСОКАЯ»).

На втором шаге алгоритма выполняется фаззификация числовых значений в массиве данных, соответствующих лингвистическим переменным.

Третий шаг — предобработка массива данных: нормализация входных значений, соответствующих количественным переменным, кодирование входных значений строковых переменных модели, агрегирование строк в наборе данных с учетом близких наборов данных, возникших в результате фаззификации.

На четвертом шаге выполняется структурная идентификация нейронной сети. Для решения задачи может быть использована нейронная сеть как без скрытого слоя, так и со скрытым слоем. В задаче построения базы знаний экспертной системы управления транспортными потоками предлагается применять нейронную сеть с одним скрытым слоем (пример возможной структуры нейронной сети приведен на рисунке 5).

Нейроны входного слоя соответствуют возможным нечетким значениям входных параметров. Если входной параметр, например «усредненная скорость по полосам», соответствует нечеткому значению «НИЗКАЯ», то это показывает, что в этот же момент времени он не может принимать никаких других значений. Другими словами, только один нейрон из группы нейронов, соответствующих значениям одной входной лингвистической переменной, может принимать значение «1» в конкретный момент времени, а нейроны, соответствующие остальным значениям из этой группы, принимают значение «0» ( $j = \overline{1, N_i}$ ):

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если } I_i \text{ принимает нечёткое значение } j, \\ 0, & \text{если } I_i \text{ не принимает нечёткое значение } j. \end{cases}$$

Аналогичным образом определяются нейроны выходного слоя ( $s = \overline{1, M_l}$ ):

$$y_{ls} = \begin{cases} 1, & \text{если } O_l \text{ принимает нечёткое значение } s, \\ 0, & \text{если } O_l \text{ не принимает нечёткое значение } s. \end{cases}$$

Количество нейронов скрытого слоя должно быть больше, чем количество нейронов выходного слоя:  $h_k$  — нейроны скрытого слоя, где  $k = \overline{1, K}$ ,  $K > M$ .

Пятый шаг — обучение нейронной сети. В результате определяются веса:  $v_{ijk}$  — веса «входной слой — скрытый слой»,  $w_{ksl}$  — веса «скрытый слой — выходной слой».

На шестом шаге формируются продукционные правила: выбор наиболее доминирующего правила для каждого нейрона выходного слоя (количество продукционных правил соответствует количеству нейронов выходного слоя). Чтобы сформировать правило, сначала выбирается нейрон скрытого слоя для каждого нейрона выходного слоя следующим образом:

$$h_s = \max_s (h_k \cdot w_{ksl}).$$

Затем для каждого выбранного нейрона скрытого слоя определяется комбинация нейронов входного слоя (по одному из группы нейронов, соответствующей входному параметру  $I_i$ ,  $i = \overline{1, N}$ ):

$$\forall I_i : x_{ij} = \max_j (x_{ij} \cdot v_{ijc} - b_c),$$

где  $c$  — индекс выбранного нейрона скрытого слоя.

На заключительном шаге полученная база продукционных правил упрощается, например, объединением похожих правил, а также выполняется семантический контроль базы знаний экспертами.

#### 4. Перераспределение транспортных потоков внутри транспортной системы

Практически все транспортные системы для описания схемы автомобильных дорог используют универсальный инструмент — вершинно и реберно взвешенные графы. В таком случае вершины графа обозначают транспортные узлы, соответствующие, например, пересечению дорог, а ребра — связи между этими узлами, то есть транспортные коридоры. Каждую вершину графа взвешивают векторной величиной, отображающей наличие (или отсутствие) объекта светофорной сигнализации или его сигнал, интенсивность входящего потока транспорта, пропускную способность, значение выбросов углекислого газа и др. С каждым ребром графа также можно сопоставить свою весовую векторную величину  $e^{(i,j)} = [x_i; x_j] = (e_1^{(i,j)}, e_2^{(i,j)}, \dots, e_m^{(i,j)})$ , соответствующую, например, пропускной способности, интенсивности движения и др. В общем случае эти характеристики не постоянные и могут изменяться во времени. Также предполагается, что варьирование некоторых из этих характеристик позволит повысить уровень качества функционирования транспортной системы.

Сравнение функционирования интеллектуальных транспортных систем может проводиться на основании критериев, зависящих от их состояния. В общем случае таких критериев может быть несколько, и их значения определяются для каждого элемента транспортной схемы:

$$f^{(j)}(x, e) = (f_1^{(j)}(x, e), f_2^{(j)}(x, e), \dots, f_l^{(j)}(x, e)).$$

Интегральный критерий для всей системы должен определяться как функция от набора частных критериев для каждого элемента схемы. В этом случае можно сформулировать многокритериальную задачу оптимизации: используются различные критерии для одного элемента транспортной схемы, локальные критерии каждого элемента интегрируются в глобальный критерий всей схемы.

В качестве критерия скорости передвижения может быть рассмотрена величина отношения интенсивности потоков, поступающих в элемент транспортной сети, к пропускной способности данного элемента:

$$k_1(e^{(k)}) = \frac{\lambda(x^{(i)})}{\mu(e^{(k)})},$$

где  $\lambda(x^{(i)})$  — интенсивности потока, входящая в  $i$ -ю вершину, являющуюся началом  $k$ -го ребра, а  $\mu(e^{(k)})$  — пропускная способность  $k$ -го ребра.

Подходящим считается вариант, когда значение этого критерия не превышает единицы, то есть элемент транспортной системы справляется со всем поступающим транспортным потоком и не создает заторов движения.

Интегральный критерий эффективности системы нельзя рассматривать как сумму локальных для всех элементов системы, так как даже превышение единицы локальным критерием в одной части схемы может приводить к коллапсу всей системы в целом. Поэтому для оценки эффективности транспортной системы в целом предлагается использовать следующий критерий:

$$K_1 = \min \sum_{k=1}^m c(e^{(k)}), \quad c(e^{(k)}) = \begin{cases} 1, & k_1(e^{(k)}) > 1; \\ 0, & k_1(e^{(k)}) \leq 1. \end{cases}$$

Исходя из вышесказанного, представляется обоснованным рассмотрение минимального количества участков, не справляющихся с интенсивностью поступающих транспортных потоков.

В качестве критерия безопасности выступает вероятность аварии на определенном элементе транспортной сети при текущем уровне интенсивности движения на участке  $k_2(e^{(k)}) = g(\lambda(x^{(i)}))$ .

Этот показатель определяется на основе анализа ретроспективных данных о движении на данном участке и возникновении аварий. В качестве оценки вероятности выступает относительная частота возникновения аварий при схожем уровне интенсивности движения. Для оценки эффективности транспортной системы в целом предлагается использовать сумму вероятностей аварий на отдельных элементах транспортной системы:

$$K_2 = \min \left( \sum_{k=1}^m k_2(e^{(k)}) - \sum_{i,j=1}^m k_2(e^{(i)})k_2(e^{(j)}) + \dots + (-1)^{m-1} k_2(e^{(1)}) \dots k_2(e^{(m)}) \right).$$

Для сложения вероятностей используется именно такая модель, так как возникновения аварий на различных участках транспортной сети — совместные события.

В качестве экологических критериев функционирования интеллектуальных транспортных систем может выступать превышение показателей предельных допустимых норм содержания загрязняющих веществ, выделяемых транспортом, на отдельных элементах транспортной сети:

$$k_{3(X)}(x^{(i)}) = \begin{cases} 0, & V_X^i \leq V_X^0; \\ V_X^i - V_X^0, & V_X^i > V_X^0, \end{cases}$$

где  $V_X^i$  — содержание элемента  $X$  в  $i$ -й вершине транспортной системы,  $V_X^0$  — предельно допустимое содержание элемента  $X$ . Содержание в атмосфере вредных веществ может отслеживаться датчиками (газоанализаторами), однако при отсутствии модели зависимости содержания загрязняющих веществ от состояния транспортной системы, в частности интенсивности движения, невозможно будет выбирать управляющие воздействия, приводящие к снижению уровня содержания данных веществ до допустимого. В случае пролонгированного наблюдения за состоянием транспортной системы можно получить модель такой зависимости эмпирическим путем. Одним из аргументов в данной модели будут выступать климатические.

Интегральным критерием эффективности в этом случае может выступать

$$K_3 = \min \sum_{i=1}^n k_{3(x)}(x^{(i)}).$$

Таким образом рассматривается минимальный суммарный вред от выбросов для транспортной сети в целом.

Объединение трех различных типов критериев в единый осуществляется расчетом их взвешенного значения. Причем, учитывая разную размерность и порядок значений, предварительно эти критерии нормализуются и сводятся к безразмерным в определенном диапазоне, например  $[0;1]$ . В этом случае итоговый критерий примет вид

$$\alpha_1 K_1 + \alpha_2 K_2 + \alpha_3 K_3, \quad \sum_{i=1}^3 \alpha_i = 1, \quad \alpha_i \geq 0.$$

Идея алгоритма [8] решения поставленной задачи заключается в поиске перегруженных участков транспортной системы, возможностей увеличения пропускных способностей перегруженных участков за счет использования свободной пропускной способности недогруженных участков, в перераспределении пропускных способностей. Общая схема алгоритма приведена на рисунке 6.

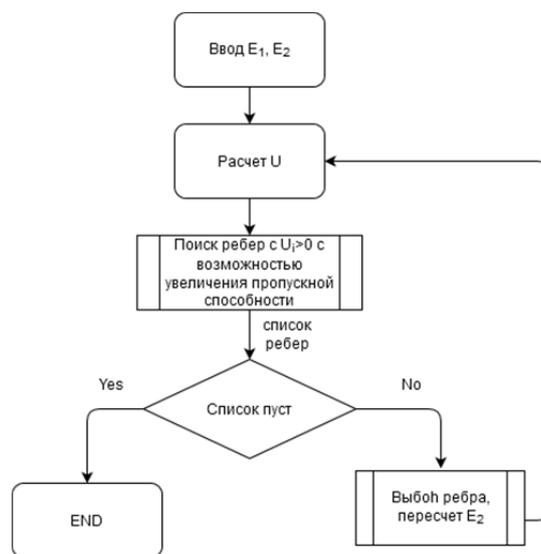


Рис. 6. Схема алгоритма перераспределения транспортных потоков

На первом шаге ищутся перегруженные участки. Для этого рассчитывается вектор  $U = [U_1, \dots, U_n]^T$  с элементами  $U_i = \sum_{j \in X} e_1^{(j,i)} - \sum_{j \in X} e_2^{(i,j)}$ . Перегруженные участки определяются из условия  $U_i > 0$ . Для каждого из таких участков опре-

деляется возможность увеличения его пропускной способности за счет недогруженных смежных. Для этого выбираются все ребра  $e^{(i,j)}$ , такие, что  $U_j < 0$ . Тогда общая возможность увеличить пропускную способность  $i$ -го узла составит  $\sum_{j \in X_j} |U_j|$ , где  $X_j$  — множество вершин  $x^{(j)}$ , смежных вершине  $x^{(i)}$ .

Следующий шаг — перераспределение пропускных способностей ребер, рассчитываемое по формуле

$$e_{2_{new}}^{(i,j)} = e_2^{(i,j)} + \frac{|U_j|}{\sum_{j \in X_j} |U_j|} \min \left[ |U_i|, \sum_{j \in X_j} |U_j| \right].$$

У данного алгоритма есть ограничения, основное из которых — учет только критерия по скорости передвижения. Поэтому предлагается его модификация. На этапе определения возможности увеличения пропускной способности перегруженных участков необходимо проверять дополнительное условие

$$\alpha_1 \geq \alpha_2 \left( k_2 \left( e_{2_{new}}^{(i,j)} \right) - k_2 \left( e_2^{(i,j)} \right) \right) + \alpha_3 \left( k_3 \left( e_{2_{new}}^{(i,j)} \right) - k_3 \left( e_2^{(i,j)} \right) \right).$$

Выполнение данного условия гарантирует, что выигрыш в итоговом критерии от уменьшения перегруженных участков не будет нивелирован увеличением аварийности и загрязнений. Увеличение пропускной способности этого участка возможно проводить только при выполнении данного условия.

Интерфейс разработанной системы перераспределения потоков представлен на рисунке 7.

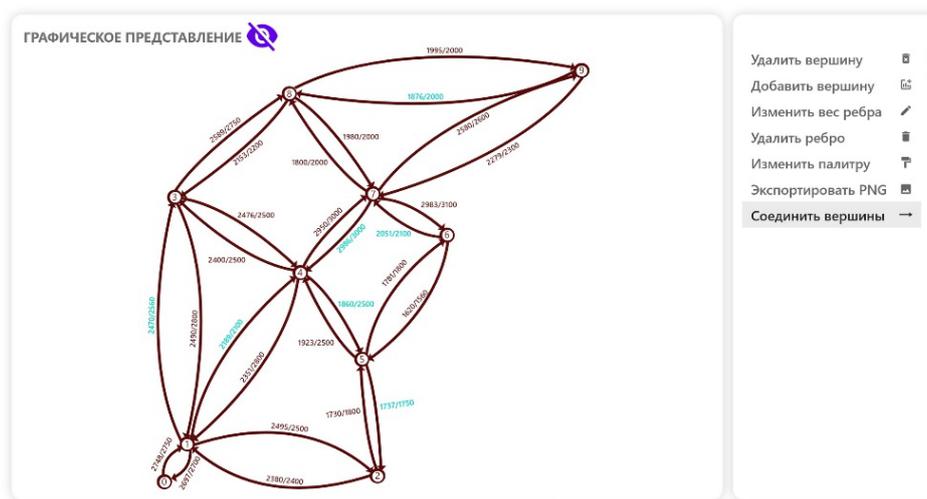


Рис. 7. Численный пример функционирования системы перераспределения потоков

### Заключение

Предлагаемый региональный модуль гибридной интеллектуальной транспортно-логистической системы может быть интегрирован во всю систему страны с ее дальнейшим вхождением в европейско-азиатскую транспортную сеть. Подключение и адаптация российской транспортной сети к европейско-азиатским системам должно происходить с минимальными инвестициями, сохраняя уровень интеллектуального управления транспортно-логистическими мощностями, достигнутого в Европе, и координацию транспортных и логистических услуг для всех видов транспорта.

*Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 18-71-10034).*

### Список литературы

1. *National Technological Initiative*. AutoNet market. URL: <https://nti2035.ru/markets/autonet> (дата обращения: 20.02.2022).
2. *Sysoev A., Khabibullina E.* Regional module of intelligent transportation system: Algorithms and information infrastructure // VEHITS 2020 — Proceedings of the 6th International Conference on Vehicle Technology and Intelligent Transport Systems. 2020. P. 245—251.
3. *Sysoev A., Galkin A., Khabibullina E.* Hybrid Model of Controlling Traffic Flows Within Regional Intelligent Transportation System // Lecture Notes in Networks and Systems. 2021. Vol. 195.
4. *Saraev P., Blyumin S., Galkin A., Sysoev A.* Mathematical Remodeling Concept in Simulation of Complicated Variable Structure Transportation Systems // Transportation Research Procedia. 2020. Vol. 45. P. 475—482.
5. *Sysoev A., Anikienko T., Blyumin S.* Highway capacity estimation: International regulation and neurostructural remodeling approach // Period. Polytech. Transp. Eng. 2020. Vol. 48 (2). P. 180—188.
6. *Sysoev A., Ciurlia A., Sheglevatykh R., Blyumin S.* Sensitivity analysis of neural network models: Applying methods of analysis of finite fluctuations // Period. Polytech. Electr. Eng. Comput. Sci. 2019. Vol. 63 (4). P. 306—311.
7. *Sysoev A. S., Khabibullina E. L.* Functional model of expert traffic flow control system within high-speed transportation corridors // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1479 (1). 012084.
8. *Galkin A., Sysoev A.* Controlling Traffic Flows in Intelligent Transportation System // Studies in Systems, Decision and Control. 2021. Vol. 333. P. 91—101.

**А. А. Дырnochкин<sup>1</sup>, В. С. Мошкин<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup> Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> dymo4kin@gmail.com, <sup>2</sup> postforvadim@ya.ru

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО ИЗВЛЕЧЕНИЯ НЕСТРУКТУРИРОВАННЫХ ДАННЫХ ИЗ БИБЛИОГРАФИЧЕСКИХ ЗАПИСЕЙ**

### **Введение**

Анализ наукометрических данных — важный аспект формирования рейтингов научной активности или подбора научных групп по определенной тематике.

Данные о научных публикациях хранятся в цифровых библиографических базах данных. Такие базы помогают отслеживать цитируемость статей, опубликованных в научных изданиях. Также это один из источников получения наукометрических данных в оценочных исследованиях [1; 5; 6].

В работе представлено описание системы извлечения библиографической информации для последующего наукометрического анализа публикаций. Предложен подход для формирования научных групп по заданной тематике с использованием кластеризации статей. Также в статье представлены результаты экспериментов с данными из научной библиотеки eLibrary, подтверждающие эффективность предложенных моделей и алгоритмов.

### **1. Алгоритм извлечения библиографической информации**

В рамках проекта разработки системы извлечения и анализа текстовых данных наукометрических записей предложен следующий реализуемый алгоритм загрузки неструктурированных данных с сайта eLibrary на примере библиографических записей работ исследователей Ульяновского государственного технического университета (УлГТУ).

На первом этапе были выгружены все научные идентификаторы сотрудников УлГТУ из внутренней учетной системы университета в формате JSON: около 200. Пример выгруженных данных представлен на рисунке 1.

На втором этапе были загружены статьи всех авторов в формате: *ID* и *название статьи*. Загрузка статей происходила с помощью java-библиотеки JSOUP. Для этого отправляется POST-запрос к сайту eLibrary с научным идентификатором автора, возвращается страница в формате html. После чего происходит парсинг страницы по специальным тегам и вычисляется общее количество статей автора. На следующем этапе вычисляется количество страниц, которое нужно загрузить, чтобы получить все статьи автора.

```

"Authors": [
  {
    "LastName": "Петрова",
    "FirstName": "Татьяна",
    "PatronymicName": "Евгеньевна",
    "AuthorId": "http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=712826"
  },
  {
    "LastName": "Киреев",
    "FirstName": "Сергей",
    "PatronymicName": "Владимирович",
    "AuthorId": "http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=16930"
  },
  {
    "LastName": "Рябова",
    "FirstName": "Светлана",
    "PatronymicName": "Витальевна",
    "AuthorId": "http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=842411"
  },
  {
    "LastName": "Генералова",
    "FirstName": "Кристина",
    "PatronymicName": "Александровна",
    "AuthorId": "http://elibrary.ru/author_profile.asp?id=913406"
  },
]

```

Рис. 1. Выгрузка научных идентификаторов авторов из ИС Университет

Формула вычисления количества страниц:

$$\text{количествоСтатей} / 20 + ((\text{количествоСтатей} \% 20 \neq 0) ? 0 : 1),$$

где 20 — это максимальное количество статей на одной странице.

После чего происходит обход каждой страницы автора и загрузка всех статей в базу данных. Всего было загружено около 14 тысяч статей. На рисунке 2 показан пример загруженных статей.

```

47092024,FUZZY RATING SYSTEM FOR COHESIVE DEVELOPMENT TEAMS
47085567,APPLICATION OF NEURAL NETWORKS IN SENTIMENT ANALYSIS OF SOCIAL MEDIA TEXT DATA
47056425,AN APPROACH TO THE PSYCHOLINGUISTIC ANALYSIS OF SOCIAL MEDIA TEXTS USING THE BIG FIVE PERSONALITY TRAITS
44762013,ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА МАППИНГА ПРОФИЛЕЙ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ РАЗНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ
44762014,ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ OPINION MINING СОЦИАЛЬНЫХ МЕДИА
45821682,ПРОГРАММНАЯ СИСТЕМА КЛАСТЕРИЗАЦИИ КОРОТКИХ ТЕКСТОВ
46337292,ПРЕДИКТИВНАЯ АНАЛИТИКА НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ
46337307,РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ НАХОЖДЕНИЯ ТЕКСТОВ ЭКСТРЕМИСТСКОЙ НАПРАВЛЕННОСТИ
46677556,СРАВНЕНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ СЕНТИМЕНТ-АНАЛИЗА ДАННЫХ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ
46677557,ОБЩИЙ АЛГОРИТМ ВЫЧИСЛЕНИЯ АГРЕГИРОВАННОГО ПРОГНОЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ
47052758,DATA EXTRACTION OF CHARTS WITH HYBRID DEEP LEARNING MODEL
47247677,НЕЧЕТКАЯ СИСТЕМА РЕЙТИНГА КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ ПРОЕКТНЫХ КОМАНД
45452543,TWO PHASE APPROACH TO DETECTION OF SOFTWARE PROJECTS WITH SIMILAR ARCHITECTURE BASED ON CLUSTERING AND ONTOLOGICAL METHODS
45413213,DEVELOPMENT OF A SYSTEM BASED ON A FUZZY KNOWLEDGE BASE FILLED FROM VARIOUS FORMATS DOCUMENTS
46026367,THE EXTENDING THE KNOWLEDGE BASE OF THE INTELLIGENT CAD OF A DESIGN ORGANIZATION USING SEMANTIC ANALYSIS OF WIKI-RESOURCES
45094866,APPROACH TO THE USE OF LANGUAGE MODELS BERT AND WORD2VEC IN SENTIMENT ANALYSIS OF SOCIAL NETWORK TEXTS

```

Рис. 2. Загруженные статьи

На следующем этапе была загружена полная информация по статьям. Для каждой статьи по ссылке `https://elibrary.ru/item.asp?id=" + articleId` загружался документ в формате html, после чего производился его парсинг и извлечение основных данных по статье. На рисунке 3 показан пример загруженной статьи в формате JSON.

```

InCoreRisc:      false
InScopus:       false
InWOS:          false
rubricOecd:     "Computer and information sciences"
rubricGrnti:    "Кибернетика / Искусственный интеллект"
year:           "2014"
fullText:      null
inCoreRisc:    false
inWOS:         false
inScopus:     false
Id:            0
ArticleId:     "21716969"
▼ ArticleName: "ПРИМЕНЕНИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ СОСТОЯНИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ"
▼ ArticleAbstract: "Описан семантический подход резюмирования временных рядов на примере показателей состо. модель OWL-онтологии рассматриваемой предметной области, онтологическая модель представ. в процессе оценки её состояния при искусственном повышении трафика. Решена задача объедин. онтологическую модель с использованием SWRL-правил. Рассмотрена реализация данного алго
▼ Keywords:
  ▼ 0:
    keywordId: "942073"
    getKeywordName: "ОНТОЛОГИЯ"
  ▶ 1: {}
  ▶ 2: {}
  ▶ 3: {}
  ▶ 4: {}
  ▶ 5: {}
  ▶ 6: {}
  ▶ 7: {}
▼ Authors:
  0: "10358"
  1: "762084"

```

Рис. 3. Пример загруженной статьи в формате JSON

При большом количестве запросов к сайту eLibrary возникает проблема блокировки сервером этого сайта. После обхода 100 страниц блокируются IP-адреса, с которых работал парсер. Для решения этой задачи потребовалось оптимизировать скорость и частоту запросов таким образом, чтобы избежать блокировок.

В результате экспериментов подобрано оптимальное время задержки между запросами к серверу. В итоге пауза между запросами составила от трех до 35 секунд, в результате чего имитировалась работа обычного пользователя.

Также во избежание блокировки использовался динамический подход для формирования данных User agent. User agent — это строка с характеристиками устройства, по которым серверы могут определить тип браузера, операционную систему и производителя.

## 2. Предобработка статей

Предобработка текста — один из важнейших этапов интеллектуального анализа текста, переводящий текст на естественном языке в формат, удобный для дальнейшей работы. Предобработка состоит из нескольких частей, которые могут отличаться в зависимости от задачи и реализации [3].

Процесс предобработки текстовых статей представлен на рисунке 4.

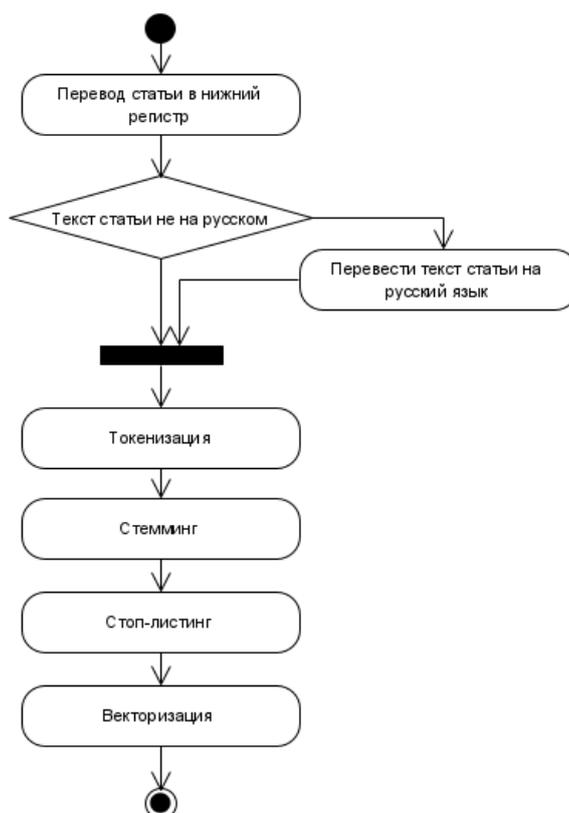


Рис. 4. Схема предобработки статей

Для перевода статей на русский язык применяется модуль на языке Google Apps Script, использующий стандартное средство перевода LanguageApp от Google. Данный скрипт развернут на сервере Google и вызывается через `HttpURLConnection`.

Стемминг — процесс нахождения основы слова для заданного исходного слова. В данной работе использовался стеммер Портера для русских слов. Основная идея стеммера Портера заключается в том, что существует ограниченное количество словообразующих суффиксов, и стемминг слова выполняется без использования каких-либо баз основ: только множество существующих суффиксов и вручную заданные правила [4].

### 3. Алгоритм векторизации текстов

Векторизация текста — это процесс конвертации текста в числа по определенному алгоритму. Для векторизации преобразованных статей использовался метод TF-IDF [2].

TF-IDF расшифровывается как Term Frequency — Inverse Document Frequency и представляет собой статистику, цель которой — определить, насколько важно слово для документа, а также принять во внимание связь с другими документами из того же корпуса [5].

Для этого вычисляются относительные частоты появления слова в данном документе и в других документах корпуса.

TF-IDF — оценка, которая применяется к каждому слову в каждом документе в нашем наборе данных. И для каждого слова значение TF-IDF увеличивается с каждым появлением слова в документе, но постепенно уменьшается с каждым появлением в других документах [6].

Частота слова TF рассчитывается по формуле

$$tf(w, d) = \log(1 + f(w, d)),$$

где  $f(w, d)$  — частота слова  $w$  в документе  $d$ .

На втором шаге вычисляется обратная частота документа. Обратная частота рассчитывается по формуле

$$idf(w, D) = \log \frac{N}{f(w, D)},$$

где  $N$  — количество документов в наборе данных;  $f(w, D)$  — частота слова  $w$  во всем наборе данных.

Последний шаг — вычисление оценки TF-IDF по формуле

$$tf\_idf(w, d, D) = tf(w, d) \times idf(w, D).$$

### 4. Кластеризации библиографических текстовых данных

Кластеризация — разделение множества входных векторов на группы (кластеры) по степени «похожести» друг на друга.

В данной работе был выбран метод кластеризации  $k$ -средних. Метод  $k$ -средних используется для кластеризации данных на основе алгоритма разбиения векторного пространства на заранее определенное число кластеров  $k$ , чтобы минимизировать суммарное квадратичное отклонение точек кластеров от центроидов этих кластеров [8]. Минимальное суммарное отклонение рассчитывается по формуле

$$\min \left[ \sum_{i=1}^k \sum_{x^{(j)} \in S_i} \|x^{(j)} - u_i\|^2 \right],$$

где  $u_i$  — центроид для кластера  $S_i$ .

Для нахождения ближайшего кластера, к которому принадлежит документ, вычисляется минимальное косинусное расстояние между вектором документа и центром каждого кластера. Косинусное расстояние рассчитывается по формуле

$$similarity = \cos(\theta) = \frac{A \cdot B}{\|A\| \|B\|} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \times B_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i)^2}},$$

где  $\sum_{i=1}^n A_i \times B_i$  — произведение двух векторов,  $\sqrt{\sum_{i=1}^n (A_i)^2}$  — норма вектора А,  $\sqrt{\sum_{i=1}^n (B_i)^2}$  — норма вектора В.

Остановка алгоритма производится тогда, когда границы кластеров не перестанут изменяться от итерации к итерации. Центроида каждого кластера рассчитывается по формуле

$$u_i = \frac{1}{S_j} \sum A_j,$$

где  $S_j$  — количество документов в кластере,  $\sum A_j$  — сумма всех векторов документов, принадлежащих данному кластеру.

### 5. Архитектура программной системы

Для реализации предложенного алгоритма разработан модуль загрузки статей с сайта eLibrary и модуль предобработки и кластеризации на языке программирования Java.

Архитектура системы представлена на рисунке 5.

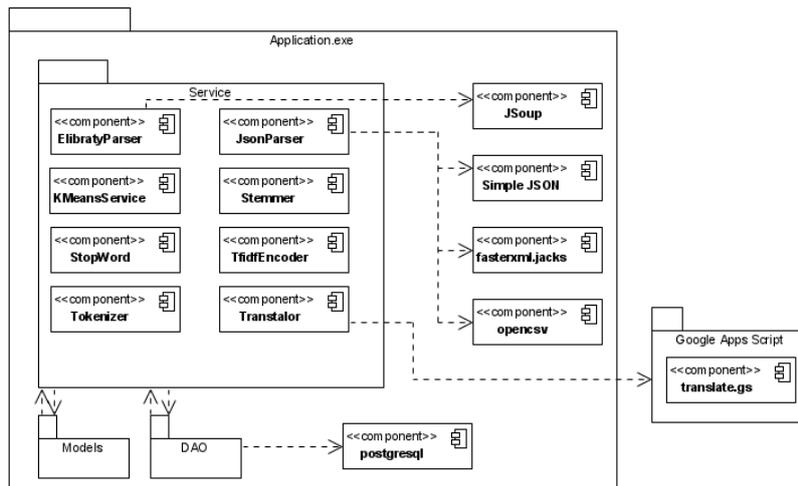


Рис. 5. Архитектура системы

## 6. Результаты экспериментов

Для кластеризации была загружена библиографическая информация по сотрудникам УлГТУ. Всего загружено около 14 тысяч статей в формате: название статьи и уникальный идентификатор, и в дальнейшем было загружено полное описание 1000 статей для проведения экспериментов.

В результате кластеризации корпус статей был разделен на 12 кластеров. На рисунке 6 представлены результаты кластеризации и рекомендации по формированию научной группы.

```
Cluster no. 2 has 17 documents.
23820554 ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА НА ОСНОВЕ FUZZYOWL-ОНТОЛОГИИ [10358, 762084]
23886412 ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЕМАНТИЧЕСКОЙ МЕТРИКИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ТЕРМИНОЛОГИИ ИЗ ТЕКСТА ПРОБЛЕМНОЙ ОБЛАСТИ
24250264 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОНТОЛОГИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И МЕХАНИЗМОВ ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА [762084, 10358]
26270695 СЕМАНТИЧЕСКАЯ МЕТРИКА ""ТЕРМИН/НЕ ТЕРМИН"" НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ ПРОБЛЕМНОЙ ОБЛАСТИ" [762084, 842148, 843847]
27076426 ГИБРИДИЗАЦИЯ НЕЧЕТКОГО ВЫВОДА И САМООБУЧАЮЩЕГОСЯ СЕМАНТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ДАННЫХ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ОНТОЛОГИИ
29267065 ПОСТРОЕНИЕ ОНТОЛОГИИ ПРОБЛЕМНОЙ ОБЛАСТИ НА ОСНОВЕ СИНТАГМАТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ [325284, 93
308080307 МОДИФИЦИРОВАННЫЙ МЕТОД ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКОЙ ОНТОЛОГИИ И БАЗЫ ПРЕЦЕДЕНТОВ [762084, 10
32262706 РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА КОНТЕКСТОВ ПРОБЛЕМНОЙ ОБЛАСТИ [708454, 762084, 10358, 8120
32323140 ПРИМЕНЕНИЕ НЕЧЕТКОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ ПРОБЛЕМНОЙ ОБЛАСТИ В ЗАДАЧЕ ПОИСКА АРХИТЕКТУРНО ПОДОБНЫХ ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТА
32704420 РАЗРАБОТКА НЕЧЕТКОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ КАК ОСНОВА ПЛАТФОРМЫ АТЕНЕ [708454, 762084, 10358]
34895038 РАЗРАБОТКА БАЗЫ НЕЧЕТКИХ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ КОНТЕКСТНОГО АНАЛИЗА ПРОБЛЕМНОЙ ОБЛАСТИ [10358, 708454, 762084]

Тематика: Нечеткий логический вывод и базы знаний принадлежит к кластеру 2
Авторы в данном классе: [10358, 762084, 843847, 842148, 325284, 933801, 708454, 812005, 31637:
Ярушкина Н. Г., Мошкин В. С., Гуськов Г. Ю., Филиппов А. А., Андреев И. А., Зарубин А. А., Коваль А. Р., Дьяков И. В.
```

Рис. 6. Результаты кластеризации

### Заключение

В результате исследования представлена система, которая позволяет извлекать библиографическую информацию по авторам из системы eLibrary.

Описан алгоритм предобработки и векторизации полученных статей. Также представлен механизм кластеризации научных статей и формирования рекомендаций при составлении научных групп по заданной тематике.

### Список литературы

1. Николаев А. В., Жуков В. В. Тематическая кластеризация научной литературы // Информационно-телекоммуникационные технологии и математическое моделирование высокотехнологических систем. М., 2021. С. 268—273.
2. Юферев В. И., Разин Н. А. Векторизация текстов на основе word-embedding моделей с использованием кластеризации // Моделирование и анализ информационных систем. 2021. Т. 28, №3. С. 292—311.
3. Кравченко Ю. А., Мансур А. М., Хуссайн М. Ж. Векторизация текста с использованием методов интеллектуального анализа данных // Известия Южного федерального университета. Технические науки. 2021. №2 (219). С. 154—167.
4. Alam M. A., Sadaf K. Review on Clustering of Web Search Result // Advances in Computing and Information Technology. Advances in Intelligent Systems and Computing / N. Meghanathan, D. Nagamalai, N. Chaki (eds.). Berlin ; Heidelberg, 2013. Vol. 177.

5. Трубников В. С., Туральчук К. А. Проектирование системы сбора, анализа и визуализации наукометрических данных // Проблемы современной науки и образования. 2015. № 6 (36).

6. Низомутдинов Б. А., Тропников А. С. Автоматизированный сбор данных для наукометрического анализа // Научный сервис в сети Интернет. 2019. Т. 21. С. 523—531.

7. Пархоменко П. А., Григорьев А. А., Астраханцев Н. А. Обзор и экспериментальное сравнение методов кластеризации текстов // Труды Института системного программирования РАН. 2017. Т. 29, № 2. С. 161—200.

8. Мусаев А. А., Григорьев Д. А. Обзор современных технологий извлечения знаний из текстовых сообщений // COMPUTER. 2021. Т. 13, № 6. С. 1291—1315.

9. Yarushkina N., Moshkin V., Filippov A. Development of a knowledge base based on context analysis of external information resources // DS-ITNT 2018 : Proceedings of the International conference Information Technology and Nanotechnology. Session Data Science. Samara, 2018. P. 328—337.

**Е. В. Елетин<sup>1</sup>, Г. С. Боровкова<sup>2</sup>, А. В. Галкин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Центр корпоративных решений, Липецк, Россия

<sup>2,3</sup> Липецкий государственный технический университет, Липецк, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> eletin\_ev@cscentr.com, <sup>2</sup> haligh@mail.ru, <sup>3</sup> galkin\_av@stu.lipetsk.ru

## **АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ СОСТАВЛЕНИЯ РАСПИСАНИЯ ДВИЖЕНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ЛОКОМОТИВОВ**

### **Введение**

Рассматривается задача формирования грузовых составов и маршрутов их следования по ограниченной железнодорожной сети — сети горнодобывающего предприятия. Алгоритм решения представляет собой комбинирование решений частных задач составления расписания для одного локомотива с учетом ограничений по возможности их совместного движения.

Необходимость обработки постоянно увеличивающегося объема данных, а также постоянный рост грузопотоков требуют модификации логистических процессов [1—3]. Поэтому задачи железнодорожного планирования остаются актуальными и требуют разработки новых подходов к их решению [4; 5]. Для повышения качества управленческих решений создаются различные интеллектуальные системы железнодорожного планирования, учитывающие специфику конкретных предприятий [6; 7].

В работе приведена постановка задачи, включающая наличие нескольких локомотивов одного типа, алгоритм решения такой задачи и его применение к частному случаю.

### **1. Постановка задачи**

В работах [8; 9] были представлены формализация и решение задачи составления расписания движения для одного локомотива. Формализация рассматривает несколько локомотивов с одинаковыми характеристиками, перевозящих грузы между заданным количеством станций.

Введем следующие обозначения. Пусть  $h$  — номер локомотива,  $h = 1, \dots, m$ , где  $m$  — общее количество локомотивов. Тогда будем говорить, что локомотив  $h$  находится в состоянии  $S^h(s^h, t^h, k_{ij}^h)$ , если в момент времени  $t^h \in T$  он расположен на станции  $s^h$  и к данному моменту им доставлено  $k_{ij}^h$  заказов с  $i$ -й станции на  $j$ -ю,  $i \neq j, i, j = 1, \dots, n$ , где  $n$  — общее количество станций.

Также заданы заказы, определяющие количество груза, которое нужно перевезти с  $i$ -й станции отправления в  $j$ -ю станцию назначения. Заказы появляются в определенные моменты времени и не могут быть обслужены ранее.

Необходимо составить расписание движения локомотивов, обеспечивающее выполнение всех заказов. Расписание задается состоянием локомотивов в каждый момент времени.

В качестве целевой функции будем использовать суммарное время выполнения всех заказов всеми локомотивами в последнем состоянии (моменте завершения выполнения всех заказов):

$$F = \sum_{h=1}^m t^h . \quad (1)$$

Следует отметить, что в данной работе рассматривается решение задачи с несколькими локомотивами одного типа. При этом состояние перестает быть вектором и становится матрицей, где  $h$ -я строка — состояние  $h$ -го локомотива. В связи с тем что рассматриваются локомотивы одного типа, будем считать состояния, включающие одинаковый набор строк, идентичными, как на рисунке 1, и их тоже будем склеивать.

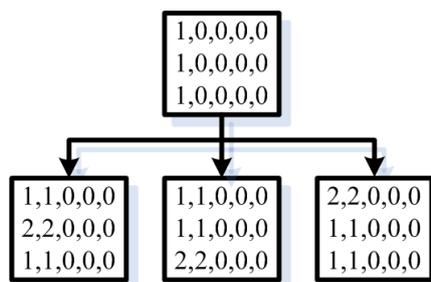


Рис. 1. Пример одинаковых состояний

В [9] представлен алгоритм склеивания вершин для решения задачи формирования составов и расписания их движения для одного локомотива. В данной работе показано развитие этого алгоритма для случая с несколькими локомотивами одного типа.

## 2. Алгоритм решения задачи составления расписания движения нескольких локомотивов

Алгоритм склеивания вершин:

1. Добавляется новое состояние в дерево и фиксируется как матрица  $S_j$ , каждая строка которой — состояние отдельного локомотива.

2. Ищется среди построенных состояний такое, у которого набор строк совпадает с набором строк матрицы  $S_j$ , а именно — они сравниваются построчно; то есть для матриц  $S_j$  и  $S_i$  могут найтись  $k$  и  $h$  такие, что  $S_i^h = S_j^k$ ; состояние, для которого выполнится это соотношение для всех  $k$  и  $h$ , запоминается как  $S_i$ . Если такое состояние не нашлось, переход к п. 1, иначе — к п. 3.

3. Находится родительское состояние  $S_{i-1}$ , предшествующее состоянию  $S_i$ , и состояние  $S_{j-1}$ , предшествующее  $S_j$ ; сравниваются эти два состояния, для этого необходимо вычислить их значения состояний  $c_{i-1}$  и  $c_{j-1}$  по формуле

$$c_z = \sum_{h=1}^m \sum_{l,q=1}^n k_{z_l^h}^h, \quad (2)$$

где  $z$  — номер состояния, равно  $(i-1)$  или  $(j-1)$ ,  $l$  — станция отправления,  $q$  — станция назначения; далее возможны два варианта: 3а — если  $c_{i-1} > c_{j-1}$ , то нужно прекратить строить ветку, содержащую состояние  $S_j$ , и удалить ее; переходим к п. 1; 3б — если  $c_{i-1} > c_{j-1}$ , то необходимо удалить ветку, содержащую состояние  $S_i$ , до вершины  $S_i$  включительно, а вершины следующих уровней перенести к состоянию  $S_j$ ; переход к построению следующей ветки (п. 1).

Формула (2) — это сумма всех выполненных заказов для данного состояния. Будем считать более выгодным то расписание, в котором к данному моменту времени выполнено больше заказов.

### 3. Пример решения задачи с тремя локомотивами для трех станций

Рассмотрим пример решения задачи построения расписания с тремя локомотивами для трех станций, расположенных по кругу. Используем обозначения, введенные в разделе 1, и алгоритм из раздела 2. Схема расположения вершин представлена на рисунке 2.

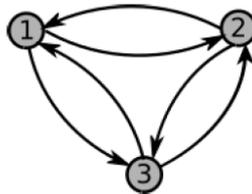


Рис. 2. Схема расположения вершин

Пусть заданы станции отправления — 1 и 2, станции назначения — 2 и 3, маршруты следования — 12 (то есть со станции 1 на станцию 2), 13, 23. Заказы поступают на станции отправления в моменты времени один и три, размер одного заказа равен одной единице, грузоподъемность локомотива — двум единицам. Требуется найти расписание, при котором все заказы будут выполнены за наименьшее время.

Построим дерево состояний для данной постановки, используя алгоритм склеивания вершин. Результат представлен на рисунке 3.

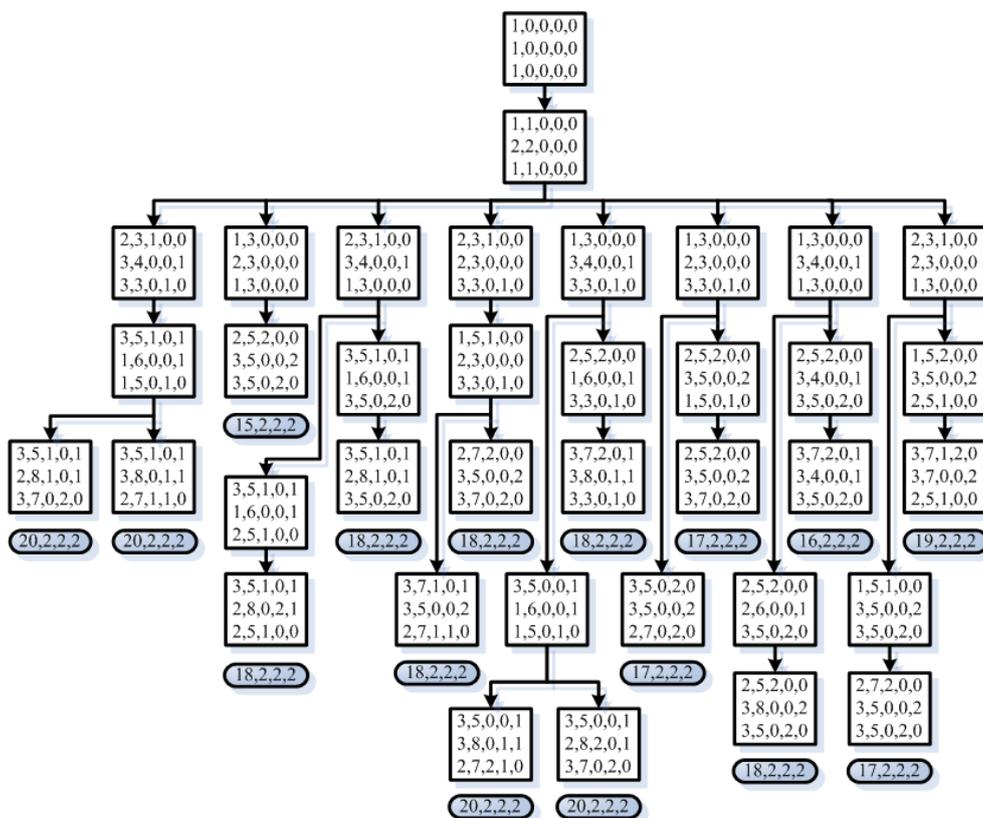


Рис. 3. Дерево состояний для трех локомотивов

Внизу после каждого расписания посчитано значение целевой функции по (1) и для контроля приведено количество доставленных заказов по каждому маршруту. Как видно из рисунка 3, всего было получено 16 возможных расписаний, при этом наименьшее значение целевой функции равно 15 и достигнуто за счет ожидания заказов до полного заполнения локомотивов.

### Заключение

Представлен алгоритм решения задачи составления расписания движения нескольких локомотивов. В таком случае состояние системы описывается матрицей, каждая строка которой соответствует отдельному локомотиву. Расписание представляет собой состояние каждого локомотива в каждый момент времени. Приведен алгоритм поиска оптимального расписания. Решение представляется иерархической структурой, соответствующей всевозможным вариантам состояния для каждого из моментов времени. Склеивание одинаковых состояний по минимальному суммарному времени перевозки

сокращает размерность задачи. Представлено решение частного случая задачи, а именно, построения расписания движения трех локомотивов между тремя сортировочными станциями, расположенными в форме круга.

В дальнейшем планируется развить данный алгоритм под локомотивы разных типов и использовать его в качестве основы для интеллектуальной системы железнодорожного планирования.

### Список литературы

1. *Микаилзаде Л. А. К., Гаджиева Р. Ф. К.* Информационные технологии в транспортной логистике // Достижения вузовской науки 2021 : сб. ст. XVII Междунар. науч.-исслед. конкурса. Пенза, 2021. С. 108—112.
2. *Шапкин И. Н., Вдовин А. Н.* Автоматизированное управление локомотивным парком // Железнодорожный транспорт. 2021. №3. С. 34—38.
3. *Гайнанов Д. Н., Рассказова В. А.* Математическое моделирование в задаче оптимального назначения и перемещения локомотивов методами теории графов и комбинаторной оптимизации // Труды МАИ. 2017. №92.
4. *Карасёв С. В., Корягин М. Е.* Оценка задержек поездов на железнодорожной сети методом моделирования в условиях случайного образования заявок на перевозку // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2018. №2 (45). С. 43—51.
5. *Петров К. В., Низов А. С.* Математическое обоснование современной концепции планирования и управления транспортным обеспечением // Вестник Военной академии материально-технического обеспечения им. генерала армии А. В. Хрулева. 2018. №1 (13). С. 15—21.
6. *Варичев А. В., Кретов С. И., Исмагилов Р. И. и др.* Комплексный подход к интеллектуальным системам управления горным производством // Горная промышленность. 2016. №3 (127).
7. *Золкин А. Л., Чистяков М. С., Буштрук Т. Н., Ли Б.* Разработка алгоритма, обеспечивающего качественное планирование оперативного графика движения железнодорожного транспорта // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. 2021. №2. С. 10—20.
8. *Лазарев А. А., Мусатова Е. Г., Кварацхелия А. Г., Гафаров Е. Р.* Теория расписаний. Задачи управления транспортными системами. М. : Физический факультет МГУ им. М. В. Ломоносова, 2012.
9. *Eletin E. V., Borovkova G. S., Galkin A. V.* Solving the Task of Forming Trains and Their Schedule for Four Stations Using the Algorithm of Vertex Gluing // 3<sup>rd</sup> International Conference on Control Systems, Mathematical Modeling, Automation and Energy Efficiency (SUMMA). Lipetsk, 2021. P. 1013—1016.

**А. Г. Коробейников**

*Санкт-Петербургский филиал Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн  
им. Н.В. Пушкова Российской академии наук (СПбФ ИЗМИРАН), Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: Korobeynikov\_A\_G@mail.ru*

## **ПРИМЕНЕНИЕ MATLAB ДЛЯ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ**

### **Введение**

В настоящее время методы машинного обучения (англ. Machine Learning (ML)) применяют во многих областях науки и техники: медицинской диагностике, распознавании речи и прогнозировании развития событий. Само по себе ML — совокупность методов искусственного интеллекта (ИИ) с не прямым, а косвенным решением задачи посредством обучения в ходе процесса использования существующих решений во множестве аналогичных задач [1]. ML базируется на теоретических положениях и методах различных дисциплин: математической статистики, теории оптимизации, математического анализа, теории вероятностей, теории графов и нейронных сетей.

Традиционно выделяют три задачи, решаемые с помощью ML: классификация, кластеризация и регрессия. В данной работе предложены методические указания для решения задачи регрессии. В качестве инструментальных средств используется система MATLAB R2021b.

### **1. Постановка проблемы**

При помощи системы MATLAB успешно решаются многие задачи в различных предметных областях [2—6]. Это связано прежде всего с наличием в составе MATLAB многочисленного числа мощных и удобных инструментов (Toolboxes). Среди них есть и инструменты для работы с ML в различных предметных областях.

В данной работе выбор предметной области обусловлен следующим обстоятельством.

Начиная с 2020 г. на всех континентах в большинстве стран, и, в частности, в России, наблюдается пандемия COVID-19. Планируя свою жизнедеятельность, необходимо учитывать дальнейшее развитие этого процесса. Для этого, используя официальные данные о распространении COVID-19 в РФ и применяя MATLAB R2021b, предлагается строить процедуры решения задачи регрессии для прогноза развития пандемии COVID-19. В докладе предложен один из вариантов.

### 1. Построение процедуры ML

Официальные данные о распространении COVID-19 в РФ можно взять из различных источников. Например, <https://www.worldometers.info/coronavirus/>, <https://coronavirus-monitor.ru/>, <https://news.mail.ru/coronavirus/stat/russia/>. В данной работе использованы данные с сайта <https://news.mail.ru/coronavirus/stat/russia/>.

Вопросы, связанные с обращением к сайтам в системе MATLAB, не предмет рассмотрения в настоящем докладе, и поэтому предполагается, что пользователь умеет переносить необходимые данные с указанных сайтов в таблицу Excel. Таким образом, считается, что данные находятся в таблице формата Excel с именем "The spread of COVID-19 in Russia.xlsx" по столбцам: 1 — дата, количество: всего инфицированных — 2; инфицированных в этот день — 3; выздоровевших всего — 4; выздоровевших в этот день — 5; умерших всего — 6; умерших в этот день — 7. Дата начала отсчета, 9 апреля 2020 г., выбрана произвольно.

Дальнейшие шаги следующие.

1. Запускаем MATLAB.

2. Создаем при первом сеансе новый файл для работы в Live Editor. В случае наличия такого файла сразу открываем его. Работа в Live Editor связана с удобством использования.

3. Выполняем команды:

`T0 = readtable("The spread of Covid-19 in Russia.xlsx");` %Считываем в таблицу данные;

`T = timetable(T0);` %Переводив в тип timetable; это удобно для вывода графиков.

4. Переходим при помощи «мышки» в Workspace и кликаем на имени переменной символа T; произойдет выделение таблицы.

5. Переходим при помощи «мышки» в раздел PLOTS; выбираем stackedplot; появляется график инфицированных, выздоровевших и умерших людей в РФ, например с данными за период с 9 апреля 2020 г. по 18 марта 2021 г. (рис. 1).

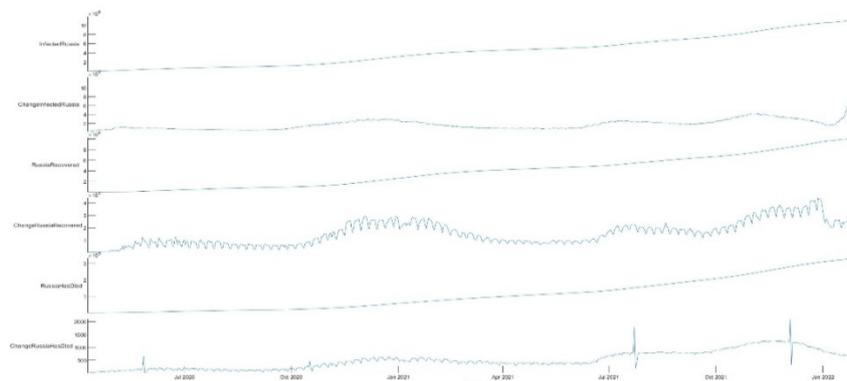


Рис. 1. Графики количества инфицированных, выздоровевших и умерших людей в РФ с 9 апреля 2020 г. по 31 января 2022 г.

6. Выбираем модель и обучаем ее на имеющихся данных. Для этого: 1) переходим в раздел APPS; 2) входим в раздел “MACHINE LEARNING AND DEEP LEARNING”; 3) выбираем раздел “REGRESSION LEARNING”; 4) Выбираем раздел “New Session” и выбираем “From WorkSpace”; в появившемся окне в разделе Responce выбираем прогнозируемую переменную; выбираем ChangeInfectedRussia; нажимаем кнопку Start Session; появляется график исходных данных.

7. Выбираем модель; для этого в разделе MODEL TYPE справа нажимаем на стрелку; выбираем, например, *Гауссовские модели*, то есть раздел GAUSSIAN PROCESS REGRESSION MODELS; выбираем конкретную модель, например Optimizable GPR.

8. Запускаем процесс обучения; для этого нажимаем зеленую кнопку Train; появляется график динамического процесса обучения выбранной модели; по окончании процесса на графике показана точка с наилучшими значениями параметров; для выбранных данных графики изображены на рисунках 2 и 3.

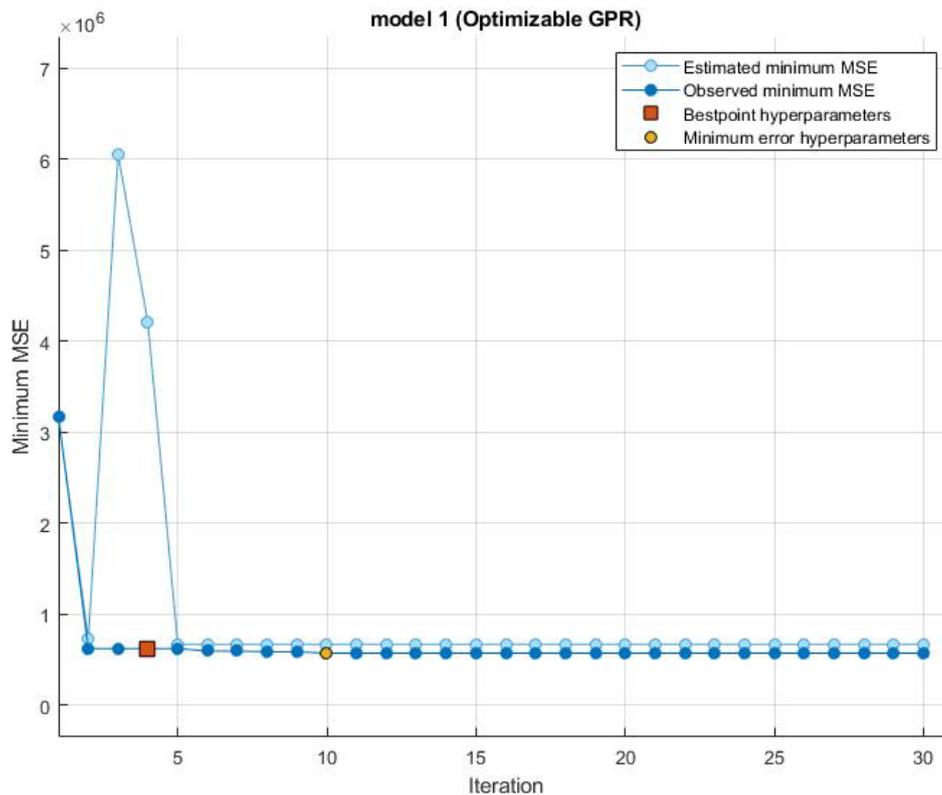


Рис. 2. Процесс обучения модели

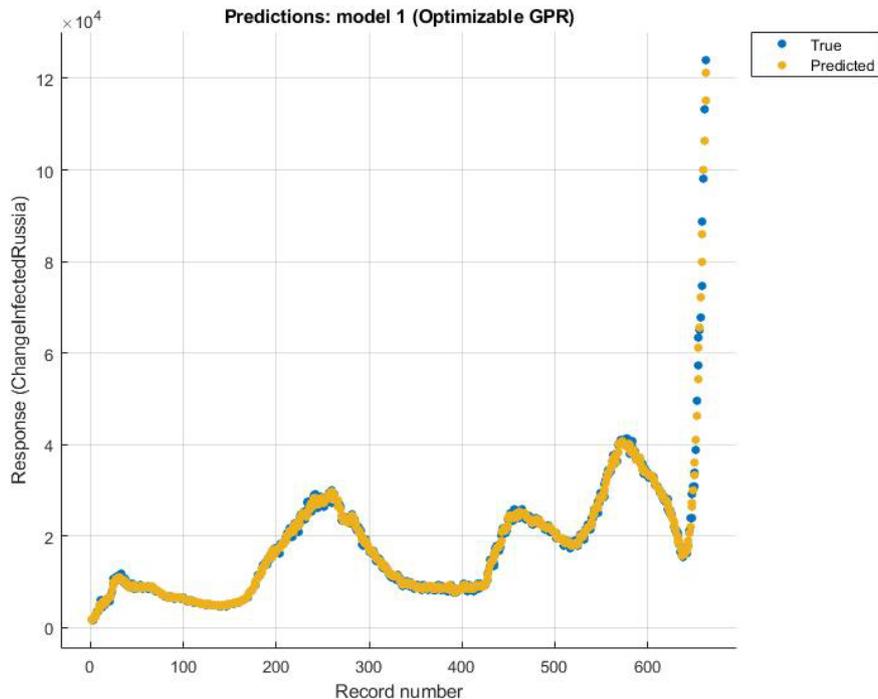


Рис. 3. Результаты применения обученной модели

9. Выбираем раздел Export Model, задаем имя модели, например, trained-Model.

10. Предположим, что прогнозируется ChangeInfectedRussia через 10 дней после последней регистрации; кроме того, предположим, что количество инфицированных людей возрастет на 700 000; введем исходные данные для прогнозирования, структура которых совпадает с обучающей выборкой, что можно сделать при помощи следующих команд:

$$T1=T0(\text{end},:);$$

$$T1.\text{Date}=T1.\text{Date}+10;$$

$$T1.\text{InfectedRussia}=T1.\text{InfectedRussia}+700000.$$

11. Запускаем выполнение:

$$y=\text{trainedModel}.\text{predictFcn}(T1)$$

$$y=1.2288\text{e}+05.$$

Результат, полученный для конкретной выборки, прогнозирует оценку роста числа инфицированных в выбранный день на 122 880 человек.

### Заключение

Представленная процедура позволяет утверждать, что система MATLAB обладает мощным и удобным инструментарием для решения задач машинного обучения в различных предметных областях.

Выбранный пример связан с повышенным интересом населения РФ к ситуации распространения коронавирусной инфекции. Поскольку в модели учтены далеко не все факторы, влияющие на пандемию, реальное состояние дел будет отличаться.

### Список литературы

1. *Rubio J. d. J.* Stability Analysis of the Modified Levenberg — Marquardt Algorithm for the Artificial Neural Network Training // *IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems*. 2021. Vol. 32, №8. P. 3510—3524. doi: 10.1109/TNNLS.2020.3015200.
2. *Гришенцев А. Ю., Коробейников А. Г.* Разработка модели решения обратной задачи вертикального зондирования ионосферы // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2011. №2 (72). С. 109—113.
3. *Гришенцев А. Ю., Коробейников А. Г.* Декомпозиция n-мерных цифровых сигналов по базису прямоугольных всплесков // *Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики*. 2012. №4 (80). С. 75—79.
4. *Коробейников А. Г., Кутузов И. М., Колесников П. Ю.* Анализ методов обфускации // *Кибернетика и программирование*. 2012. №1. С. 31—37.
5. *Korobeynikov A. G., Grishentsev A. Y., Velichko E. N. et al.* Calculation Of Regularization Parameter In The Problem Of Blur Removal In Digital Image // *Optical Memory & Neural Networks (Information Optics)*. 2016. Vol. 25, №3. P. 184—91.
6. *Коробейников А. Г., Кутузов И. М.* Алгоритм обфускации // *Кибернетика и программирование*. 2013. №3. С. 1—8.

**В. В. Ничепорчук**

*Институт вычислительного моделирования Сибирского отделения РАН, Красноярск, Россия  
e-mail: valera@icm.krasn.ru*

## **ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА УПРАВЛЕНИЯ ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ТЕРРИТОРИЙ**

### **Введение**

Обеспечение природно-техногенной безопасности территорий наряду с другими функциями государственного управления заключается в решении разнообразных задач, многие из которых имеют нетривиальный характер. Принятие решений основывается на обработке огромных объемов информации, поступающих от систем мониторинга, экстренных служб, взаимодействующих органов. Цифровизация управления, использование новых технологий, в числе которых озера данных, глубокая аналитика и искусственный интеллект, направлены на уменьшение числа кризисных и чрезвычайных ситуаций (ЧС), снижение потерь от них [1; 2].

Особенности предметной области обуславливают довольно низкие темпы развития интеллектуальных систем поддержки управления рисками и безопасностью [3]. По сравнению с медицинскими системами, разработками в области беспилотного транспорта и другими системами накопление знаний о ЧС происходит довольно медленно. Поддержка предупредительных мероприятий, упреждающих возникновение опасных факторов ЧС, имеет отложенный эффект. От оценки ситуации и формирования решений до их реализации и проявления результатов проходит значительное время. Оценки природных, техногенных и социальных факторов безопасности имеют вероятностный характер. Приведение их к единой шкале оценок (например, стоимости человеческой жизни [4]) — предмет дискуссий. Надежность экспертных оценок как неотъемлемой части большинства стратегических решений, можно подвергнуть сомнению. Практика их использования обозначила проблему формирования групп независимых экспертов, численность которых была бы достаточна для применения «классических» методов расчета, например Дельфи [5].

Базовый этап решения перечисленных проблем с учетом актуальности применения интеллектуальной поддержки для управления природно-техногенной безопасностью территорий — комплексный подход к проектированию платформ и сервисов. Малозатратный, по сравнению с разработкой и внедрением, данный этап определяет жизненный цикл информационных ресурсов и средств их обработки. В работе сделана попытка интеграции системного ана-

лиза бизнес-процессов формирования решений по обеспечению безопасности территорий с технологиями цифровизации управления. Приведены примеры применения интеллектуальных технологий.

### Интеллектуализация процессов принятия решений

Начало разработки систем поддержки управления в сфере природно-техногенной безопасности положено в 1990-е гг. Автоматизированы многоэтапные расчеты динамики опасных факторов ситуаций, оценивание критических состояний сложных технических систем. С созданием геоинформационных систем (ГИС) появилась возможность моделирования аварий промышленных объектов, чрезвычайных ситуаций природного характера. Консолидация мониторинговых данных, продолжающаяся и сегодня, сопровождается совершенствованием методов аналитической обработки и способов представления данных. Внедрение интегрированных систем, сочетающих множество технологий, разнообразные информационные ресурсы трансформируют деятельность специалистов разной квалификации [6].

Реализация стратегии цифровизации экономики — качественно новый этап машинной поддержки управления. Широкий доступ к данным, сервисам из обработки до содержательных решений сокращает количество «передаточных звеньев» между экспертами, лицами, принимающими решения (ЛПР) и непосредственными их исполнителями.

Специфика управления природно-техногенной безопасностью заключается в наличии нескольких видов рисков [4]: проявлении опасности, требующей немедленного реагирования; формировании решений на основе неполной и неточной информации о ситуации; принятии решения при наличии альтернатив в условиях дефицита времени.

Перечисленные факторы показывают актуальность использования систем поддержки принятия решений и вместе с тем сложность построения и внедрения таких систем.

Последние 25 лет широкое распространение получили интеллектуальные системы медицинского назначения [7]. Их функционал частично заменяет специалистов-экспертов в задачах, не имеющих строгих математических моделей их решения. Они обеспечивают поддержку в принятии решений в сфере диагностики и лечения. Количество коммерческих систем исчисляется тысячами. Совершенствуются методы и алгоритмы вывода решений, увеличивается количество фактов и правил в базах знаний. Например, под руководством В. Ф. Хорошевского в вычислительном центре им. А. А. Дородницына РАН ФИЦ «Информатика и управления» РАН разработана база данных текстов: вопросов пациентов и их родственников и ответов врачей в медицинских социальных сетях. Созданная онтология медицинского контента позволила интегрировать разные сведения предметной области: о гендерном и возрастном составе пациентов, геоландшафте пациентов, симптоматике заболеваний, диагнозах, а также о рекомендуемых пациентами и/или врачами лекарственных препаратах [8].

Научной школой Т. А. Гавриловой (Санкт-Петербургский государственный университет) развиваются технологии построения интеллектуальных систем и формирования баз знаний уровня предприятия для разных отраслей экономики. В работе [9] обосновано применение систем управления знаниями, позволяющих консолидировать интеллектуальный капитал нефтегазовых компаний для повышения их конкурентоспособности.

### Концептуальная модель

Интеллектуальная поддержка управления должна реализовываться как часть многозадачной информационно-аналитической платформы. Большая часть решений по ликвидации ЧС требует оперативного доступа к разноплановой информации с гарантированной достоверностью. В критических условиях часть информации, получаемой ЛППР в режиме онлайн, имеет неполный, нечеткий и даже противоречивый характер. Риски принятия неэффективных решений по экстренному реагированию можно минимизировать, выполнив две задачи: поддержание в актуальном состоянии информационных ресурсов; формирование сценариев развития ситуаций и действий в них с механизмом адаптации к конкретным условиям и прогнозам складывающейся ситуации.

Несмотря на кажущуюся тривиальность, первая задача требует проведения большого количества технических и организационных мероприятий. Поддержка в актуальном состоянии десятков (а на федеральном уровне сотен) источников информации, обеспечение импорта данных или онлайн-доступа к ним является ключевой задачей цифровизации территориального управления. Многоэтапный контроль качества этой информации с использованием аналитических средств, минимизация человеческого фактора на всех этапах формирования решений — отдельная научная задача.

Решение второй задачи требует определения объема информации, которую необходимо предоставить ЛППР. Как правило, для конкретной территории  $Place$  и вида ситуации  $H$  формируется несколько сценариев, соответствующих масштабам  $Sc$ . Ситуации малого масштаба  $Sc_{min}$  содержат данные о формированиях и резервах, привлекаемых для ликвидации последствий и проведения аварийно-спасательных работ. При этом перечень мероприятий носит справочный характер ввиду своей очевидности. Ситуации большого масштаба  $Sc_{max}$  описывают многоэтапные процессы, разные по длительности и содержанию. В этом случае интеллектуальная поддержка управления носит адаптивный характер. Решения целесообразно представлять в динамическом виде с управляемой детализацией. Использование многостраничных печатных форм малоэффективно из-за особенностей человеческого восприятия информации.

Разработка и ревизия большого количества сценариев ( $Place \cdot H \cdot Sc$ ) требует постоянной работы специалистов высокого уровня. Классические работы по экспертным системам рекомендуют совместную работу экспертов и инженеров по знаниям для формирования баз знаний. В штате органов управле-

ния, обеспечивающих природно-техногенную безопасность территорий, такие должности отсутствуют. Необходим переход от эпизодического сотрудничества научных организаций с органами власти к долговременным процессам «разработка — сопровождение». Актуальна организация подготовки специалистов по интеллектуальному моделированию чрезвычайных и кризисных ситуаций, обладающих навыками прогнозирования и формализации произошедших событий для извлечения опыта и знаний.

Интеллектуальная поддержка управления предупреждением ЧС заключается в автоматическом формировании выводов из результатов анализа больших объемов текущей и ретроспективной информации, поиске новых закономерностей и причинно-следственных связей с использованием Data Mining, нейронных сетей и других технологий. Приоритетный фактор решения задачи — не время вычислений, а статистическая значимость объективных данных и обоснованность экспертных оценок.

Опыт создания региональных систем поддержки управления показал востребованность мультизадачных автоматизированных комплексов (платформ) [11]. Система, ориентированная на работу в режиме ЧС, применяется довольно редко. Оценка территориальных рисков для обоснования превентивных мероприятий происходит 2-3 раза в год перед началом циклических ЧС (затоплением территорий, лесных пожаров), отопительного периода или при планировании годового бюджета на предупреждение бытовых пожаров, переселение людей из аварийного жилья и т. п. Поддержание актуальности информационных ресурсов только для интеллектуальной поддержки перечисленных задач «не окупается», поскольку большая их часть формируется не из внешних источников, а собирается операторами дежурных смен.

Продолжительный жизненный цикл возможен для систем и сервисов повседневного использования. Такие системы реализуют сбор и «стандартизованную» обработку потоков информации, задействуя интеллектуальные компоненты в случае неординарных событий. По нашему мнению, один из способов интеллектуализации повседневной деятельности заключается в накоплении аналитических моделей. Реализуется циклический процесс: эксперт изучает задачи оперативных дежурных смен, строит исследовательские аналитические модели. В случае подтверждения гипотез о связях факторов рисков, приемлемой точности прогнозов и другие модели переводятся в разряд типовых и тиражируются, а эксперт переходит к новой задаче.

В МЧС России с 2004 г. параллельно с разработкой информационно-управляющих систем формируется информационный ресурс «Паспорта безопасности объектов и территорий» (ПТ). Тексты, таблицы, графика характеристик объектов и территорий представлены в неструктурированных файлах MS Power Point. Для отображения используются растровые карты мелкого масштаба. Актуализация ПТ сопровождается большими затратами, ресурс практически не используется для поддержки управления.

В работе [11] обосновано применение цифровых двойников в сфере природно-техногенной безопасности территорий. Разработаны структура мета-

данных, алгоритмы их управления, требования к системообразующим ресурсам, а также функциональные схемы процессов обработки данных. На рисунках 1 и 2 показаны результаты системного анализа процессов управления и их отражение в виде ресурсов информационно-аналитической платформы (конечные элементы, выделенные красным).

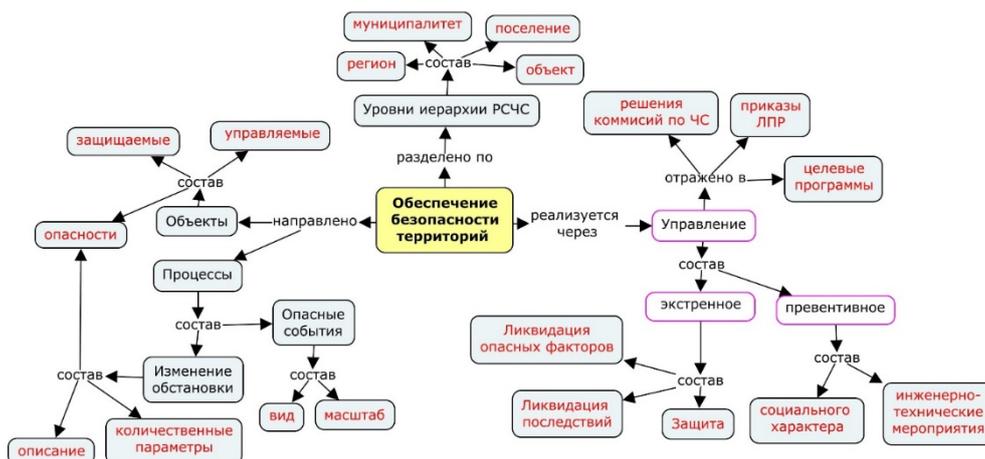


Рис. 1. Онтология реальной системы

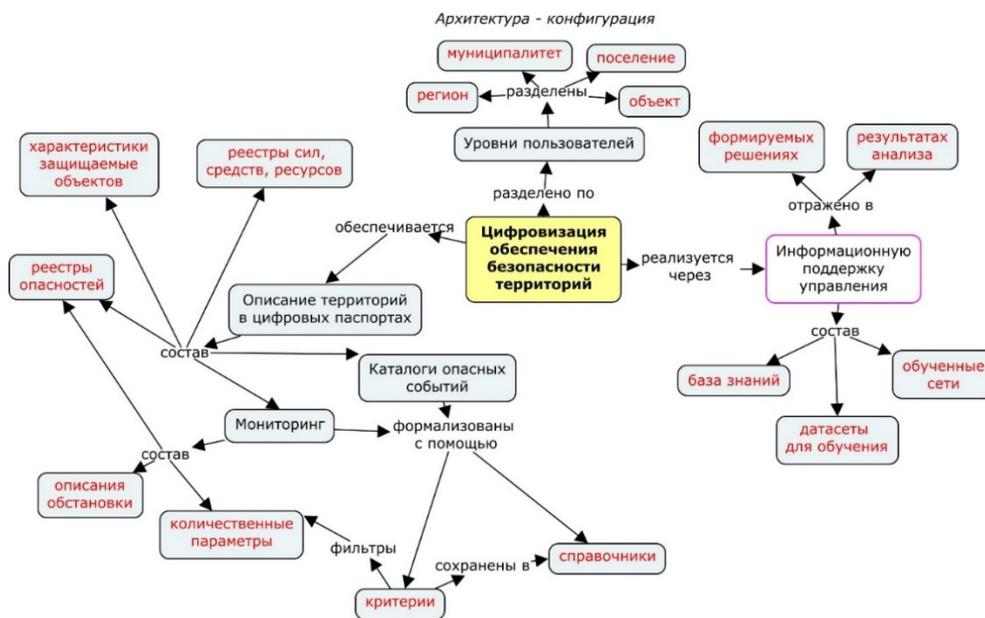


Рис. 2. Онтология цифрового двойника

Приведенные онтологии детализированы с использованием нотаций IDEFx и UML. Это позволило согласовать детализированное описание платформы между исполнителями (системными архитекторами, программистами, дизайнерами) интерфейсов и пользователями разных уровней с использованием графических представлений.

Архитектура информационно-аналитической платформы представлена в виде таблицы.

#### Архитектура информационно-аналитической платформы

Слой	Наименование и состав подсистемы	Используемые технологии	Представление для пользователей
1	Мониторинг и консолидация данных	Веб, MDA-модели; озера данных, облачные и локальные хранилища данных, API, ETL	Формы сбора данных; описание метаданных внешних источников; модели контроля качества данных; интерфейс SQL-запросов
2	Вычислительный блок: аналитическое моделирование; ситуационное моделирование Интеллектуальная подсистема	OLAP, бизнес-аналитика; Data Mining; ГИС, контейнеры нейронные сети; экспертные системы	Типовые модели; редактор моделей; модуль обучения нейросетей; редактор баз знаний; интерфейс управления логическим выводом
3	Представление данных	ГИС, дашборды, инфографика, веб, генератор отчетов	Типовые витрины; редактор витрин

Слои различаются «глубиной» информационной поддержки принятия решений, возможностями детализации составляющих рисков, степенью обоснования мероприятий по управлению рисками и полнотой описания возможных эффектов. Режимы использования платформы предполагают разный уровень квалификации лиц, принимающих и подготавливающих решения. Наиболее наглядный и малозатратный по времени — четвертый уровень, формирующий решения в виде отчетных форм, привычных руководителям территорий и ведомств. Для уточнения информации они используют представления данных в виде динамических дашбордов, отдают распоряжения по оперативному созданию новых представлений с расширенным набором данных.

Работа с вычислительным блоком требует навыков использования технологий Business Intelligence для формирования моделей, тестирования функционала ранее созданных на новых наборах данных. При этом пополняются типовые витрины данных. Расширяется спектр решаемых задач управления,

повышается доля автоматизированной информации в управленческих решениях. Редактор моделей и модуль обучения нейросетей позволяют проверять новые гипотезы, проводить исследования факторов рисков, решать задачи оптимального использования ресурсов при наличии ограничений. Редактор баз знаний реализует обратную связь — формализацию результатов принятых решений (выполненных превентивных мероприятий) с целью повторного их использования при снижении рисков территорий.

Интеллектуальная подсистема включает ситуационные и аналитические модели. Характер задач управления, объем и организация исходных данных определяют набор инструментов, используемых для их обработки. Например, для поиска причинно-следственных связей между факторами рисков и превентивными мероприятиями используется Data Mining. Найдены решения задачи предупреждения затопления территорий. Выявление долгосрочных трендов, периодичности появления опасностей реализовано на OLAP. При наличии достаточных объемов данных величины рисков уверенно прогнозируются нейронными сетями. Регрессионный анализ оценивает тренды прогноза рисков и помогает скорректировать модели управления. Ситуационные модели сформированы на основе нормативных расчетных методик.

Проектирование аналитической платформы — важный этап цифровизации процессов обеспечения природно-техногенной безопасности территорий. Интеллектуальная поддержка управления обеспечена за счет интеграции информационных ресурсов, аналитических и вычислительных модулей, управляемых сценариями многоэтапной обработки данных.

### Заключение

Проектирование аналитической платформы — важный этап цифровизации процессов обеспечения природно-техногенной безопасности территорий. Интеллектуальная поддержка управления обеспечена за счет интеграции информационных ресурсов, аналитических и вычислительных модулей, управляемых сценариями многоэтапной обработки данных.

Применение разнообразных методов проектирования систем, ориентированных на информационную поддержку управления, — важнейший этап согласования подходов между заказчиками, в числе которых находятся лица, непосредственно принимающие решения, и разработчиками программного обеспечения и информационных ресурсов. Интеллектуализация средств автоматизации бизнес-процессов территориальных органов управления безопасностью снижает неопределенность в условиях экстренного реагирования, уменьшает потери и экономит ресурсы.

### Список литературы

1. *О развитии искусственного интеллекта в Российской Федерации* : указ Президента РФ от 10.10.2019 г. №490. Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».

2. *О Стратегии* в области развития гражданской обороны, защиты населения и территорий от чрезвычайных ситуаций, обеспечения пожарной безопасности и безопасности людей на водных объектах на период до 2030 года : указ Президента РФ от 16 октября 2019 г. № 501. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. *Москвичёв В. В., Бычков И. В., Потапов В. П. и др.* Информационная система территориального управления рисками развития и безопасностью // Вестник РАН. 2017. Т. 87, № 8. С. 696—705.

4. *Быков А. А., Зайковский В. Э.* Методологические и прикладные основы управления рисками предприятия и безопасностью населения и окружающей среды. М. : ВНИИ ГОЧС, 2022.

5. *ГОСТ Р ИСО 31000-2010/ISO 31000:2009* «Менеджмент риска. Принципы и руководство». М. : Стандартинформ, 2012.

6. *Отчет* по работе «Создание АИУС РСЧС-2030 на основе Единой интеграционной программной платформы и ее внедрение в НЦУКС». М. : ФГБУ ВНИИ ГОЧС (ФЦ), 2015.

7. *Ефименко И. В., Хорошевский В. Ф.* Интеллектуальные системы поддержки принятия решений в медицине: ретроспективный обзор состояния исследований и разработок // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2017. № 7. С. 251—260.

8. *Булгаков А. С., Хорошевский В. Ф. и др.* База данных Ontomedsn — ключевые информационные объекты онтологической модели медицинского контента в социальных сетях. Свидетельство о регистрации базы данных RU 2019621224, 10.07.2019. Заявка № 2019620865 от 22.05.2019.

9. *Безгинова Ю. А., Гаранина Т. А., Кудрявцев Д. В., Плешкова А. Ю.* Практики управления знаниями в нефтяных компаниях // Открытое образование. 2018. Т. 22, № 6. С. 27—38.

10. *Ноженкова Л. Ф., Ничепорчук В. В., Бадмаева К. В. и др.* Система консолидации и анализа данных мониторинга ЧС в Красноярском крае // Проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 012. № 4. С. 63—73.

11. *Москвичёв В. В., Ничепорчук В. В., Потапов В. П., Тасейко О. В.* Цифровой паспорт безопасности территории // Вычислительные технологии. 2021. № 26 (6). С. 110—132. doi:10.25743/ICT.2021.26.6.008.

**Ю. В. Строева<sup>1</sup>, А. А. Филиппов<sup>2</sup>**

*<sup>1,2</sup> Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> stroeva95@mail.ru, <sup>2</sup> 2a.filippov@ulstu.ru*

## **ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОИСКА ПРОГРАММНЫХ ПРОЕКТОВ**

### **Введение**

В настоящее время в проектных репозиториях есть большое количество данных, касающихся разрабатываемых проектов и содержащих опыт большого числа высококвалифицированных специалистов. Каждый программный проект можно рассматривать в разрезе особенностей предметной области, технологических особенностей, специфики процесса разработки, метрик проекта и т. д. Современные хостинги репозитория (gitlab, github, bitbucket) не предоставляют возможности поиска программных проектов с учетом особенностей проблемной области, среды выполнения, процесса разработки и метрик проекта. Хостинги репозитория используют для построения поискового индекса только текстовую информацию, представленную разработчиками в качестве описания. В докладе предложен подход к информационному поиску репозитория программных проектов с учетом сущностей и процессов предметной области, метрик проекта.

### **1. Анализ работ по тематике**

В работе [1] представлен метод поиска репозитория по архитектурным особенностям. Архитектурные особенности проектов представляют собой понятия онтологии, разработанной авторами статьи. Они формируются в процессе статистического анализа следующих текстовых данных: описания проекта (readme), описания изменений (commits), описания ошибок (issues), тегов (tags) и др.

В работах [2; 3] рассмотрено применение методов машинного обучения на основе нейронных сетей для создания системы для рекомендации тегов к новым задачам. В работе [4] также предлагается решение аналогичной задачи. Алгоритм основан на классификации текстовых описаний существующих задач с применением линейных классификаторов и методов глубокого обучения. В работе [5] предложено решение задачи классификации проектов на основе содержимого файлов с описанием.

Таким образом, можно сделать вывод, что основным источником данных при анализе репозитория выступают разнообразные текстовые данные, но не программный код или особенности процесса разработки. В связи с этим рассмотрим возможность анализа содержимого репозитория в разрезе артефак-

тов проектирования. В качестве прикладной используем задачу повышения качества информационного поиска программных проектов с учетом особенности проблемной области и количественных метрик проекта.

Для решения указанной проблемы необходимо разработать: 1) модель представления репозитория программного проекта в качестве элемента поискового индекса; 2) метод индексации репозитория и алгоритм выделения из программного кода сущностей и бизнес-процессов предметной области, алгоритм выделения метрик репозитория; 3) метод оценки схожести репозитория и запроса пользователя.

## 2. Модель представления репозитория программного проекта

Теоретико-множественное описание модели репозитория программного проекта можно представить следующим образом:

$$P = \langle E, B, R, M \rangle,$$

где  $E$  — сущности программного проекта;  $B$  — бизнес-процессы, реализующие бизнес-логику и использующие сущности программного проекта;  $R = \{hasEntity, hasProcess, hasMetric\}$  — множество отношений, устанавливающих связь между сущностями, бизнес-процессами и метриками проекта, при этом  $hasMetric = \{hasContributors, hasEntities, hasProcesses, hasCommits\}$  — множество отношений, устанавливающих связь между программными проектами и конкретными типами метрик;  $M$  — множество значений метрик программных проектов.

Будем рассматривать представленную модель как фрагменты графовой базы данных, имеющей структуру, представленную на рисунке 1.

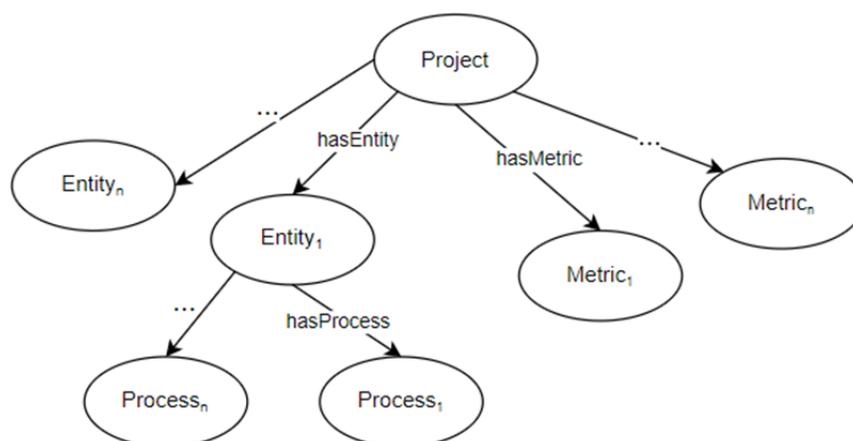


Рис. 1. Иллюстративное представление репозитория программного проекта

### 3. Метод индексации репозитория

Алгоритм извлечения сущностей и бизнес-процессов предметной области включает следующие шаги:

- 1) формирование абстрактного синтаксического дерева для исходного кода проекта;
- 2) выбор узлов с типом «Класс»;
- 3) поиск среди выбранных узлов классов, содержащих сведения о сущностях предметной области; в некоторых языках программирования подобные классы можно найти по наличию шаблонных конструкций или по ключевым словам, содержащимся в названии классов;
- 4) добавление узлов графовой базы данных с типом *Entity* множеством найденных сущностей;
- 5) поиск среди выбранных узлов классов, содержащих сведения о бизнес-процессах предметной области; используются подходы, применяемые для нахождения сущностей;
- 6) выделение из найденных классов публичных методов, содержащих сущности предметной области в аргументах или в качестве возвращаемого значения;
- 7) добавление узлов графовой базы данных с типом *Process* множеством найденных методов;
- 8) создание множества отношений *hasProcess* между созданными ранее сущностями и бизнес-процессами, в которых они задействованы.

Для учета особенностей программных проектов выбраны следующие метрики: количество разработчиков; количество изменений в проекте; сложность проекта, измеряемая в количестве сущностей и бизнес-процессов.

Алгоритм извлечения метрик программных проектов состоит из следующих шагов:

1. Создание структур, хранящих данные промежуточных вычислений: *metrics* — структура данных вида «ключ — значение», в которой в качестве ключа указан уникальный идентификатор изменения *id*, а в качестве значения — множество значений метрик; *contributors* — набор значений, хранящий уникальные идентификаторы разработчиков; переменные *entities* и *processes* для подсчета количества сущностей и бизнес-процессов предметной области в проекте до текущего изменения.

2. Для каждого изменения проекта требуется в коллекцию *contributors* поместить идентификатор разработчика; если в рамках изменения была добавлена сущность предметной области, увеличить значение переменной *entities* на единицу; если в рамках изменения была удалена сущность предметной области, уменьшить значение переменной *entities* на единицу; если в рамках изменения добавлен бизнес-процесс предметной области, увеличить значение переменной *processes* на единицу; если в рамках изменения удален бизнес-процесс предметной области, уменьшить значение переменной *processes* на

единицу; в структуру данных *metrics* добавить идентификатор изменения, а в качестве значения узлы с типом *Metric*, связанные с узлом текущего проекта следующими типами отношений: *hasContributors* для метрики количества разработчиков; количество разработчиков определяется как количество элементов в коллекции *contributors*; *hasEntities* для метрики количества сущностей; количество сущностей определяется как значение переменной *entities*, *hasProcesses* для метрики количества бизнес-процессов; количество бизнес-процессов определяется как значение переменной *processes*, *hasCommits* для метрики количества изменений; количество изменений определяется как размер структуры *metrics*.

#### 4. Метод оценки схожести репозитория и запроса пользователя

На основании приведенного алгоритма создана графовая база данных, фрагмент которой представлен на рисунке 2.

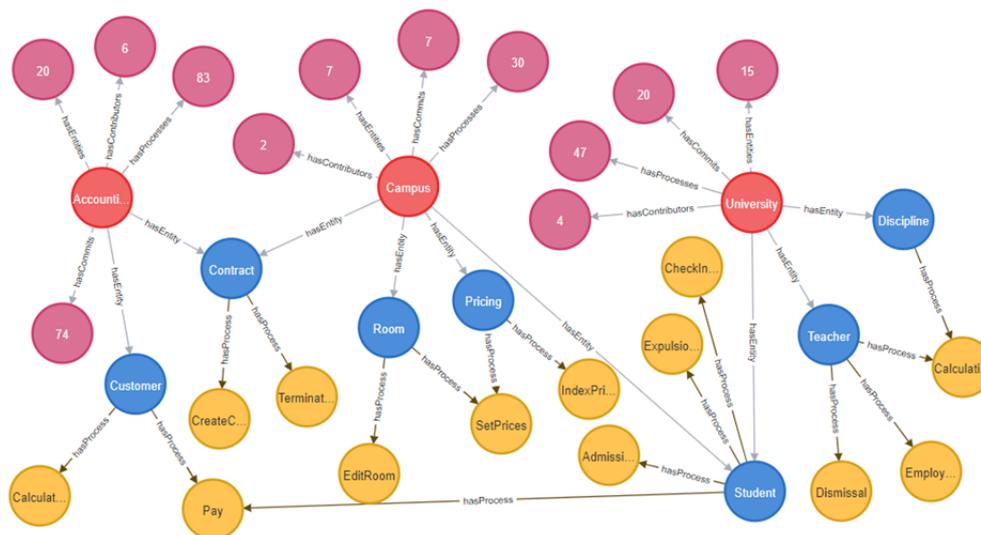


Рис. 2. Фрагмент графовой базы данных

Узлами графа с типом *Project* являются *University*, *Campus* и *Accounting*. Каждый узел типа *Project* связан отношением *hasEntity* с узлами с типом *Entity*: узел *University* связан с такими узлами, как *Teacher*, *Discipline* и *Student*; узел *Campus* связан с узлами *Pricing*, *Room*, *Contract* и *Student*; узел *Accounting* связан с узлами *Contract* и *Customer*.

Также каждый проект связан различными типами отношений с узлами типа *Metric*. Например, узел *University* связан следующими отношениями: *hasContributors* с узлом, указывающим количество разработчиков, участвующих в проекте, значение которого равно четырём; *hasEntities* с узлом, указывающим количество сущностей в проекте, значение которого равно 15; *hasProcesses* с

узлом, указывающим количество бизнес-процессов в проекте, значение которого равно 47; *hasCommits* с узлом, указывающим количество изменений в проекте, значение которого равно 20.

Таковыми же отношениями связаны и другие проекты с узлами с типом *Metric*. Узлы типа *Entity* связаны отношениями типа *hasProcess* с узлами с типом *Process*: узел *Teacher* связан с такими узлами, как *Employment*, *Dismissal*, *CalculationOfWorkload*; узел *Discipline* связан с узлом *CalculationOfWorkload*; узел *Student* связан с такими узлами, как *AdmissionToUniversity*, *ExpulsionFromUniversity*, *CheckInToCampus* и *Pay*; узел *Pricing* связан с узлами *IndexPrices* и *SetPrices*; узел *Room* связан с узлами *EditCampus* и *SetPrices*; узел *Contract* связан с узлами *CreateContract* и *TerminateContract*; узел *Customer* связан с узлами *CalculateDebt* и *Pay*.

Информационно-поисковый язык в данном случае — Cypher, язык для написания запросов к базе данных Neo4j. На данный момент критерий смыслового соответствия — полное соответствие характеристик проекта запросу пользователя. Таким образом, для выборки проектов, которые реализуют сущность *Student* и в котором задействовано более трех разработчиков, будет использован следующий запрос:

```
MATCH (m:Metric)-[:hasContributors]-(p:Project) -[:hasEntity]->(e:Entity)
WHERE m. value > 3 and e. name = "Student"
RETURN p;
```

В результате выполнения будет найден проект *University*, полностью удовлетворяющий критериям поиска.

### Заключение

В рамках проделанной работы реализован подход к информационному поиску репозитория программных проектов с учетом содержащихся в них описаний сущностей и процессов предметной области, а также метрик проекта. Дальнейшее развитие проекта предполагает поиск репозитория программных проектов не по точному совпадению, а с помощью механизмов нечеткой логики. Предполагается анализ метрик проектов с учетом их динамики.

### Список литературы

1. *Ordóñez H., Ordóñez C., Buchelli V.* Retrieval and Classification of Software Architectures on GitHub for Reuse, Supported by Ontologies // *Revista científica*. 2021. №41. P. 242—251. doi: 10.14483/23448350.17644.
2. *Jiang J., Qiudi W., Jin O. et al.* Recommending tags for pull requests in GitHub // *Information and Software Technology*. 2021. Vol. 129. P. 106394. doi: 10.1016/j.infsof.2020.106394.
3. *Coelho J. et al.* Is this GitHub project maintained? Measuring the level of maintenance activity of open-source projects // *Information and Software Technology*. 2020. Vol. 122. P. 106274. doi: 10.1016/j.infsof.2020.106274.
4. *Kallis R. et al.* Predicting issue types on GitHub // *Science of Computer Programming*. 2021. Vol. 205. P. 102598. doi: 10.1016/j.scico.2020.102598.
5. *Sharma A. et al.* Cataloging github repositories // *Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering*. 2017. P. 314—319. doi: 10.1145/3084226.3084287.

**О. А. Тягунов**

*РТУ МИРЭА, Москва, Россия*

*e-mail: tyagunov@mirea.ru*

## **ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИТЕРАТИВНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ АЛГОРИТМОВ**

С конца 1970-х гг. объектом пристального внимания разработчиков становятся так называемые сложные технические системы (СТС), состоящие из большого числа динамически взаимодействующих элементов и описываемые математическими моделями большой размерности. В качестве примеров таких систем можно привести объекты с распределенными параметрами; экономические и экологические системы; энергетические сети и т. д.

Все перечисленные примеры объединяет то, что для описания процессов в таких системах приходится использовать аппарат систем обыкновенных дифференциальных уравнений (СДУ) большой размерности (десятки, сотни и даже тысячи).

Прогресс в создании и разработке новых типов СТС в значительной мере определяется возможностями методов исследования процессов и синтеза управляющих устройств таких систем. Существующие методы, как правило, не позволяют в полной мере решать задачи исследования устойчивости и качества, синтеза и моделирования систем управления СТС.

В публикациях [1—3] отмечена перспективность развития прямых корневых методов, основанных на непосредственном нахождении решений алгебраических уравнений, описывающих свойства СТС. Выделены два класса прямых корневых методов: прямые точные методы и прямые приближенные методы.

Прямые точные методы — это методы, основанные на нахождении решений алгебраических уравнений с помощью конечного числа сравнительно простых вычислительных операций. Отмечено, что, несмотря на явно ограниченные возможности прямых точных методов, они обладают рядом достоинств. Во-первых, эти методы заключаются в реализации конечной совокупности операций и позволяют находить решения с произвольной точностью, определяемой разрядностью представляемых чисел; во-вторых, здесь не используются итеративные циклы, поэтому нет проблем с расходимостью процесса нахождения решения.

В прямых приближенных корневых методах используются различные итеративные численные методы. К их достоинствам можно отнести универсальность, однако при высоких порядках уравнений очень часто имеет место расходимость итеративного процесса, вызываемая, как, правило, накоплением ошибок вычислений.

Прямые приближенные методы можно разбить на следующие классы: 1) методы, основанные на использовании итеративных процедур отыскания действительных корней уравнений; здесь отметим методы секущих, Ньютона, интерполяции, Лагерра и т. д.; 2) методы, основанные на процедурах выделения линейных и квадратичных сомножителей исходного уравнения: методы Лина, Фридмана, Берстоу — Хичкока и т. д.; к этой группе методов можно отнести и метод Дженкинса — Трауба; 3) методы нахождения решения алгебраического уравнения, основанные на оптимизационных процедурах.

Для прямых приближенных методов ключевая задача — выбор наилучших начальных приближений для итеративных вычислительных процессов нахождения решения алгебраических уравнений. Эта проблема очень слабо обсуждалась в научной литературе, а от успешного ее решения зависит эффективность алгоритмов отыскания корней. Дело в том, что при использовании итеративных алгоритмов происходит практически неизбежная потеря точности вычислений, особенно при высоких порядках уравнений. В частности, для метода Берстоу — Хичкока характерной является двухуровневая структура итеративного процесса. На верхнем уровне происходит выбор начальных значений коэффициентов  $p$  и  $q$  квадратного трехчлена  $x^2 + px + q$ , который должен делить без остатка текущий полином. На нижнем уровне происходит итеративный процесс  $p \rightarrow p^*$  и  $q \rightarrow q^*$  отыскания таких значений  $p^*$  и  $q^*$ , для которых процесс деления выполняется без остатка. Тогда происходит процесс понижения порядка текущего полинома (deflation) [4] и все повторяется уже для нового полинома. При этом крайне важно добиваться возможно меньшего значения числа итераций на нижнем уровне.

Рассмотрим один из возможных вариантов решения поставленных задач, основанный на использовании методов искусственного интеллекта.

Отметим две задачи, развивающие технологии исследования устойчивости и качества СТС на основе использования прямых корневых методов. Первая задача связана с построением границ локализации корней характеристического уравнения на основе универсальных оценок. Вторая задача посвящена разработке стратегий выбора начальных приближений для группы итеративных методов решения алгебраических уравнений вида

$$F(x) = x^n + a_1 x^{n-1} + \dots + a_n = 0. \quad (1)$$

В рамках первой задачи выделены два класса универсальных оценок локализации корней для уравнения (1) — классические и неклассические.

Классические оценки, основанные на оценках для минимального  $r_{\min}$  и максимального  $r_{\max}$  значений модулей корней уравнений, восходят к работам О. Коши. Область локализации корней в этом случае представляется в виде кругового кольца с центром в начале координат комплексной плоскости с радиусами  $r_{\min}$  и  $r_{\max}$ . Выделены семь оценок классического вида [3].

Неклассические оценки, использующие расчет  $r_{\min}$  и  $r_{\max}$ , основаны на методах локализации собственных значений матриц с комплексными элементами (теоремы Ж. Адамара, С. Гершгорина и др.). Эти оценки предполагают построение для исходного уравнения (1) сопровождающей матрицы вида

$$A = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \cdots & 0 & 0 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 1 \\ -a_n & -a_{n-1} & -a_{n-2} & \cdots & -a_2 & -a_1 \end{pmatrix}. \quad (2)$$

При применении к сопровождающей матрице  $A$  (2) тот или иной вариант оценок снизу и сверху для модулей собственных чисел получены оценки сверху и снизу для модулей корней исходного уравнения. С помощью этого подхода было получено восемь оценок для границ локализации корней уравнений.

Исследования показали, что единой универсальной оценки, одинаково удобной для всех уравнений, не существует.

В [3] представлен принцип формирования оценок  $r_{\min}$  и  $r_{\max}$  для формирования наилучших границ локализации корней, а именно:

«Для заданного уравнения среди всех возможных оценок сверху границы локализации корней  $r_{\max}(i)$ , где  $i$  — номер оценки, находится оценка  $r_{\max}^*(i^*)$  из условия  $r_{\max}^*(i^*) = \min_i r_{\max}(i)$ ; соответственно, для оценок снизу границы локализации корней  $r_{\min}(j)$ , где  $j$  — номер оценки, находится оценка  $r_{\min}^*(j^*)$  из условия  $r_{\min}^*(j^*) = \max_j r_{\min}(j)$ ».

Важно отметить, что номера оценок  $i^*$  и  $j^*$ , соответствующие наилучшим оценкам, часто не совпадают. Это обстоятельство используется при построении программных комплексов для нахождения корней характеристического уравнения СТС.

Решение второй задачи (выбор начальных приближений для итеративных методов решения алгебраических уравнений) формализовано как неклассический вариант проблемы поиска объектов, расположенных в замкнутой области плоскости. Для решения поставленной задачи используются известные в теории поиска методы.

Рассмотрены два варианта задачи поиска — непрерывный и дискретный поиск. В первом случае речь идет о выборе точки из множества (области локализации корней уравнения), мощность которого равна континууму. Во втором случае область локализации корней уравнения подвергается предварительной операции дискретизации.

Для области локализации корней уравнения, определяемой круговым кольцом с радиусами  $r_{\min}$  и  $r_{\max}$  на комплексной плоскости корней с центром в начале координат, для случая непрерывного поиска задается двумерная плотность распределения вероятностей корней уравнения в цилиндрической системе координат  $f(r, \phi)$ , где  $r$  – расстояние от точки до начала комплексной плоскости корней, а  $\phi$  – аргумент комплексного числа  $x + jy$ , причем  $r \in [r_{\min}, r_{\max}]$ ,  $\phi \in [0, \pi]$  (рис. 1).

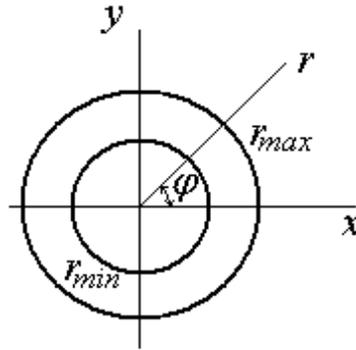


Рис. 1. Непрерывный поиск

В случае дискретного поиска область локализации корней уравнений подвергается операции дискретизации, а непрерывная плотность распределения вероятностей  $f(r, \phi)$  заменяется ее дискретным аналогом. В [3] исследуется вариант дискретизации, заключающийся в использовании концентрических окружностей радиуса  $r$ , удовлетворяющих условию  $r_{\min} < r < r_{\max}$ , и лучей, проходящих через начало координат комплексной плоскости (рис. 2).

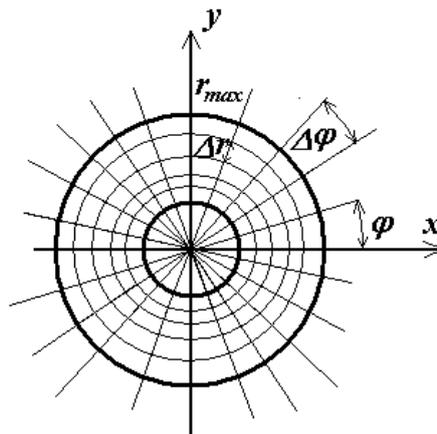


Рис. 2. Дискретный поиск

Будем всегда полагать, что шаг по углу  $\phi$  — равномерный, то есть  $\Delta\phi = \text{const}$ , и определяется степенью полинома  $n$ ,  $\Delta\phi = \pi/n$ . Пусть  $k$  — число, на которое производится разбиение исходного кругового кольца концентрическими окружностями радиуса  $r$ ,  $r_{\min} < r < r_{\max}$ .

Рассматривались две возможности выбора значений  $r$ . Во-первых, значения  $r$  выбираются с постоянным шагом, равным  $(r_{\max} - r_{\min})/k$ . Второй способ связан с неравномерным шагом по  $r$ , исходя, например, из условия равенства площадей секторов кругового кольца для всех значений  $r$  и при фиксированном  $\phi$ . Получены выражения шага  $\Delta r_i$  для различных значений  $i \in 1, \dots, k$ .

Автором разработан программный комплекс, позволяющий решать задачи нахождения корней алгебраических уравнений произвольно высокого порядка. Особенность программного комплекса — использование современных технологий искусственного интеллекта (в данном случае экспертных систем) для оптимального построения вычислительного процесса. Тем самым реализована высказанная Дж. Х. Уилкинсоном [4] идея разработки оптимальных (рациональных) форм организации вычислительных процессов с целью повышения порядка решаемых уравнений.

Важной особенностью программного комплекса является подсистема проверки точности полученного решения. Для этого используется режим вычислений с регулируемой точностью вычислений — вычисления выполняются с точностью, превышающей стандартные возможности ЭВМ. Для этого разработана библиотека подпрограмм, позволяющая проводить вычисления с произвольной точностью — размер мантиссы и порядка представляемых чисел произволен.

Большое число вычислительных экспериментов, проведенных для тестовых полиномов, рассмотренных в работах Дж. Х. Уилкинсона, показало эффективность рассмотренных модификаций различных итеративных алгоритмов, в том числе Бэрстоу — Хичкока. При этом размерность уравнений достигала достаточно больших значений ( $10^3 \div 10^4$ ).

Данный комплекс использовался при решении ряда задач исследования устойчивости, качества и оптимизации параметров систем управления высокой размерности, например оптимизации параметров многомерных мехатронных систем.

### Список литературы

1. Баничук Н. В., Карпов И. И., Климов Д. М. и др. Механика больших космических конструкций. М. : Факториал, 1997.
2. Рапопорт Э. Я. Структурное моделирование объектов управления и систем управления с распределенными параметрами. М. : Высшая школа, 2003.
3. Тягунов О. А. Развитие технологий анализа, многокритериальной оптимизации и моделирования многосвязных мехатронных систем управления : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М. : МИРЭА, 2009.
4. Уилкинсон Дж. Х. Алгебраическая проблема собственных значений / пер. с англ. М. : Наука, 1970.

**Секция 3**  
**МНОГОАГЕНТНЫЕ СИСТЕМЫ, СИНЕРГЕТИЧЕСКИЙ**  
**И РОЕВОЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ, РАСПОЗНАВАНИЕ ОБРАЗОВ,**  
**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ РОБОТОТЕХНИКА**

---

---

Руководитель секции — доц. А. В. Павлов

**К. А. Воронин<sup>1</sup>, Д. В. Демидов<sup>2</sup>, А. А. Плетнева<sup>3</sup>**

<sup>1,2</sup>Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ», Москва, Россия  
<sup>3</sup>Институт русского языка им. В. В. Виноградова РАН, Москва, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> vkairln@gmail.com, <sup>2</sup> dvedmidov@mephi.ru, <sup>3</sup> apletneva@list.ru

**АВТОМАТИЧЕСКАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ СТРОК В ТЕКСТАХ**  
**НА ЦЕРКОВНОСЛАВЯНСКОМ ЯЗЫКЕ**

**Введение**

Рассматривается задача автоматической сегментации строк в рукописных минеях и старопечатных изданиях на старославянском/церковнославянском языке. Проводится анализ особенностей церковнославянской письменности, характерных искажений рукописей, исследуются существующие методы сегментации строк и предлагается алгоритм сегментации, учитывающий искажения текста, наличие титл и надстрочных знаков.

**Особенности рукописных памятников XI—XVII веков на церковнославянском языке**

Рукописи и старопечатные издания, написанные на церковнославянском языке, можно характеризовать по ряду критериев:

1) Особенности алфавита — в течение рассматриваемого периода менялся как состав кириллического алфавита, так и начертание букв. Даже в одном источнике могут встречаться разные варианты одних и тех же букв.

2) Особенности орфографии и пунктуации — источники на церковнославянском языке традиционно более строго следовали правилам грамматики, чем тексты, написанные вне духовной тематики и вне церковной среды. Кроме того, в разные эпохи язык серьезно менялся, заглавные буквы первоначально использовались только в начале текста, огромный путь прошла пунктуация: в XI в. точки заменяли пробелы, а запятых не было до XV в.

3) Использование надстрочных знаков — титло для сокращения слов; разные знаки ударения, придыхания; титло над числами, для записи которых использовалась система из букв кириллицы (нуля не было).

---

© Воронин К. А., Демидов Д. В., Плетнева А. А., 2022

4) Особенности оформления текстов — цветное выделение заглавий, буквиц, а иногда богослужебных указаний, художественное оформление буквиц, использование вязи.

5) Наличие крюков и знамен — в церковных книгах между строками текста могли размещаться особые пометы — крюки и знамена, помогающие пению. Это, по сути, отдельный язык, прошедший несколько стадий развития, служащий примерно тем же целям, что и нотная грамота.

6) Качество текста — многие источники физически сильно пострадали, что снижает разборчивость текста: бумага заломлена, разорвана, поцарапана, протерта, заляпана воском или чернилами, есть выпуклости и сгущения от влаги, фрагменты оторваны или залеплены кусочками при восстановлении, чернила размыты. Из естественных процессов можно отметить пожелтение или потемнение страниц.

7) Качество цифрового изображения текста — встречается неравномерность освещенности, геометрические искажения, недостатки кадрирования.

Некоторые примеры искажений представлены на рисунке 1.

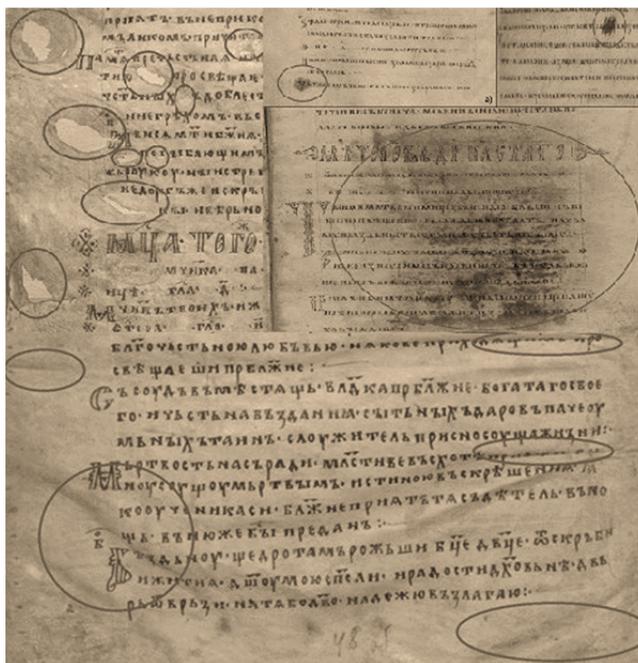


Рис. 1. Примеры искажений изображений текстов из старинных источников

### Предобработка и выделение зоны текста

Предобработка изображения направлена на подготовку изображения к сегментации на строки: изображение кадрируется, а если перед нами разворот книги, как на рисунке 2, а, то сегментируется на страницы, далее на каж-

дой странице выделяется зона текста. Для обрезки фона (кадрирования) путем усреднения яркости цветовых каналов строится полутоновое изображение, которое затем преобразуется к бинарному с глобальным порогом 65% максимальной яркости (с утратой читаемости, но это несущественно для целей алгоритма) [1, с. 855]. Такой высокий порог используется для устранения фона и уменьшения количества деталей, окружающих страницу, — обложки и/или краев других страниц. Далее применяется медианная фильтрация с окном  $25 \times 25$  [1, с. 382]. Вычисляются горизонтальный и вертикальный профили черного [2, с. 106]. Профили просматриваются с обоих концов для обнаружения участков слабого изменения яркости — границ зоны книги.

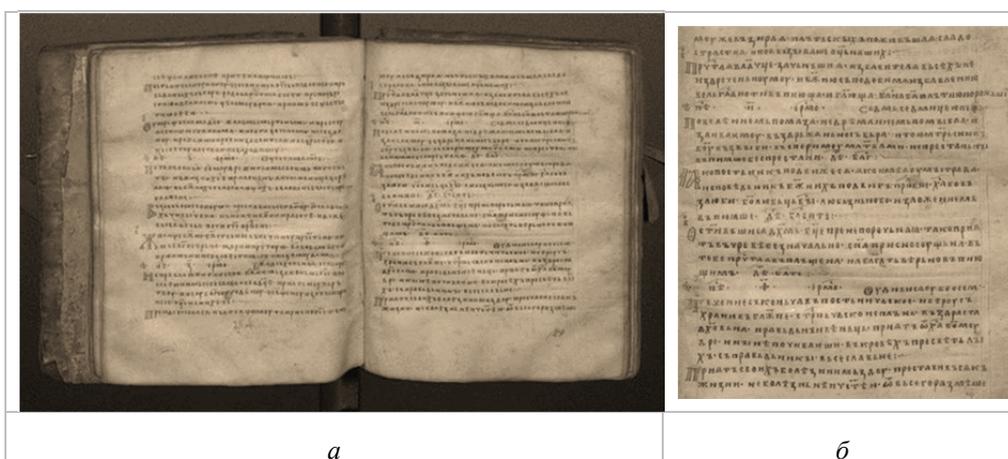


Рис. 2. Изображение разворота старопечатной книги (а) и текстовая зона, выделенная на правой странице разворота (б)

Для разделения изображения на две страницы вычисляется срединная вертикаль полученного прямоугольного сегмента. Относительно этой вертикали с отступом в 50 пикселей влево и вправо берется полоса полутонового изображения, которая бинаризуется с порогом 30%. На горизонтальном профиле линейным просмотром обнаруживается «всплеск» (максимум черного), что соответствует линии переплета страниц, которая всегда темнее, чем ее окрестность. По этой линии разворот книги делится на две страницы.

Далее цель — отделение части страницы, заключающей в себе текст, от остальной страницы, не содержащей текст. Сначала осуществляется глобальная бинаризация с порогом 35%, затем медианная фильтрация с окном  $5 \times 5$ . Затем вычисляются горизонтальный и вертикальный профили всего изображения. Критерий границы текстовой зоны — обнаружение участка из пяти подряд идущих значений профиля, превышающих 2% от размера изображения. Такие участки разыскиваются с обоих концов профилей, и по ним вычисляются верхняя, нижняя, левая и правая границы текстовой зоны. Текстовый сегмент, получаемый таким образом, приведен на рисунке 2, б.

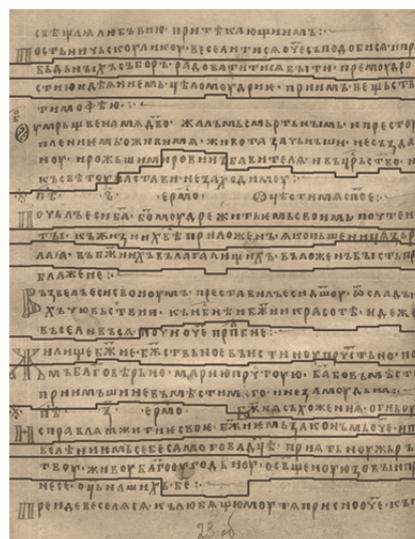
## Исследование методов сегментации строк

Задачу выделения строк можно сформулировать как нахождение наименьшей верхней и наибольшей нижней границы каждой строки текста. Далее рассматриваются некоторые существующие алгоритмы сегментации.

Алгоритм сегментации строк на основе анализа яркости [3] основывается на том, что средняя яркость в изображениях межстрочных промежутках существенно ниже средней яркости в изображениях текстовых строк. На рисунке 3, а показан результат сегментации фрагмента текста из служебной минеи этим алгоритмом, где для каждой строки определены верхняя и нижняя границы.



а



б

Рис. 3. Результат сегментации строк на основе анализа яркости (а) и генетическим алгоритмом (б)

Как видно, линии пересекают подстрочные и отсекают надстрочные символы. Кроме того, не учитываются отклонения текста от горизонтали. Алгоритм условно применим для печатного текста и слабо применим для рукописного.

Алгоритм сегментации на основе генетического алгоритма [4] предусматривает итерационный перебор некоторых параметров сегментации путем внесения небольших изменений в их значения и оценки целевой функции. В начале работы алгоритм находит пиковые значения яркостей изображения. Каждая итерация начинается с выбора области пикового значения, для которой будет производиться оптимизация границ. В качестве предка используется область вокруг пика заданной ширины (всего предков два), в качестве потомков выбирается та же область (всего потомков четыре). Каждый элемент

из «популяции» инициализируется как область предка с произвольным смещением. Далее область каждого элемента популяции пересекается с областью потомка. Образовавшихся пересечений получается заметно больше, чем число элементов в популяции. Для 20% элементов из популяции производится мутация, то есть произвольное смещение границ области в заданном интервале. На следующем шаге идет «селекция» из двух этапов: первый — это подсчет яркости пикселей в каждом из образовавшихся пересечений; второй — сортировка областей в порядке убывания яркостей и выбор лучших  $n$  областей, где  $n$  — это количество элементов в популяции. Таким образом, в конце каждой итерации оптимизируются границы областей. Всего таких итераций производится  $m$  штук, где  $m$  — это заданное количество. Результат работы генетического алгоритма для сегментации строк представлен на рисунке 3, б. Видно, что алгоритм вычисляет ломаные линии вместо прямых, что более точно отражает суть. Учитываются буквы с элементами ниже строки и, в некоторых случаях, очертания надстрочных символов. Но имеются и ошибки объединения нескольких строк в одну, отсечение надстрочных символов. Алгоритм слабо применим для решения поставленной задачи.

Статистический алгоритм сегментации строк, предложенный в [5], основан на разбиении изображения на вертикальные полосы по 5% от общей ширины. Для каждого из сегментов находится вертикальный профиль яркости и осуществляется поиск впадин — межстрочных интервалов. Решения о том, какой уровень впадины принять за целевую горизонталь, принимаются на основе сопоставления параметров впадин в соседских сегментах и на основе оценки вероятности принадлежности пикселей к верхней или нижней строке. На рисунке 4, а показан результат работы статистического алгоритма.

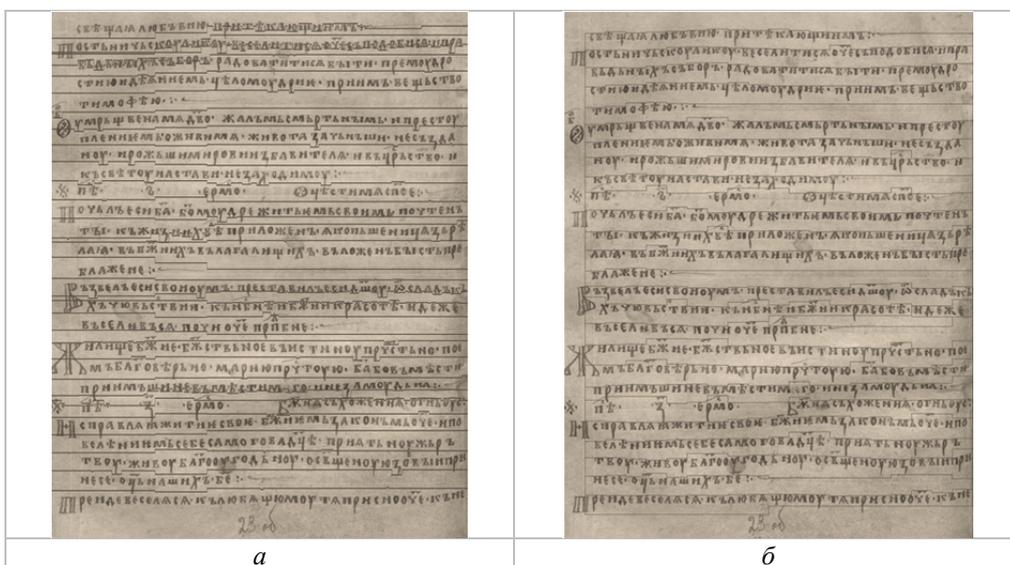


Рис. 4. Результат сегментации строк статистическим алгоритмом (а) и предлагаемым алгоритмом (б)

Видно, что некоторые строки расслаиваются на две, некоторые подстрочные фрагменты символов отрезаются, что говорит о слабой применимости алгоритма.

### Алгоритм сегментации строк и надстрочных символов

Предлагаемый алгоритм сегментации на входе получает полутоновое изображение текстовой зоны, а на выходе возвращает список описаний границ строк в той же зоне. При этом верхняя граница одной строки — нижняя граница предыдущей строки.

Входное изображение бинаризуется с порогом 53% и делится на вертикальные полосы с шагом 5% от ширины исходного изображения. Первые две полосы пропускаются, так как могут содержать буквицы. Начиная с 3-й полосы для каждой из них выполняется предварительная разметка строк. По вертикальному профилю полосы определяются пики — области с резким увеличением интенсивности — следующим образом. Для каждого индекса  $i \in [0, H-1]$  проверяется решающее правило: если значение профиля  $p[i] > 3$ , для которого  $p[i-1] < 3$ , а  $p[i+1] > 3$ , то  $i$ -й уровень отмечается как граница строки. Далее устраняются ложно определенные границы. При повторном проходе по профилю скользящим окном шириной 10 обнаруживаются области с более чем одной предварительной границей в окне. Тогда первая предварительная граница остается, а остальные в этом окне стираются. Имеем список индексов границ для каждой полосы.

Финальная разметка строк выполняется итеративно проходом по всем вертикальным полосам. Для каждой полосы для каждой намеченной на  $i$ -м уровне границы  $i \in [0, H-1]$  исследуется диапазон  $[i-20, i+20]$  в профиле соседней полосы справа. Если в этом диапазоне есть границы, то берется граница с наименьшим индексом и соединяется с рассматриваемой границей текущей полосы. Если в диапазоне нет границ, то принимается, что в соседней полосе граница проходит на уровне  $i$ , как и в текущей полосе. Далее справа налево до второй полосы выполняется аналогичный проход, что позволяет «продлить» строки, в которых либо символы начинаются не с первой полосы, либо имеются пропуски до фактического начала строки.

На рисунке 4, б визуализированы результаты работы алгоритма. Можно отметить ошибочное выделение строки из одного надстрочного знака, в остальном алгоритм справился со своей задачей.

### Заключение

Рассмотрены некоторые алгоритмы сегментации строк применительно к изображениям текстов на церковнославянском языке. Предложен метод сегментации строк, учитывающий надстрочные символы. В дальнейшем планируется усовершенствовать алгоритм для сегментации буквиц.

### Список литературы

1. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. 3-е изд., испр. и доп. М. : Техносфера, 2012.
2. Визильтер Ю.В., Желтов С.Ю., Бондаренко А.В. и др. Обработка и анализ изображений в задачах машинного зрения : курс лекций и практических занятий. М. : Физматкнига, 2010.
3. Павлидис Т. Алгоритмы машинной графики и обработки изображений. М. : Радио и связь, 1986.
4. Toiganbayeva N., Kasem M., Abdimanap G. et al. KOHTD: Kazakh Offline Handwritten Text Dataset // arXiv:2110.04075 [cs. CV] (September 22, 2021).
5. Arivazhagan M., Srinivasan H., Srihari S. A statistical approach to line segmentation in handwritten documents // Proc. SPIE 6500, Document Recognition and Retrieval XIV, 65000T (29 January 2007). <https://doi.org/10.1117/12.704538>.

**О. Ю. Марьясин<sup>1</sup>, А. И. Лукашов<sup>2</sup>**

*Ярославский государственный технический университет, Россия  
e-mail: <sup>1</sup>maryasin2003@list.ru, <sup>2</sup>lukashovai@ystu.ru*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МУЛЬТИАГЕНТНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМАМИ СЕТИ SMART GRID НА БАЗЕ ОБУЧЕНИЯ С ПОДКРЕПЛЕНИЕМ**

### **Введение**

Изобретение распределенных генераторов энергии, таких как фотоэлектрические панели, ветряные турбины, дизельные и газовые генераторы, обусловило появление распределенных интеллектуальных сетей (Smart Grid — SG), создающих локальные энергетические экосистемы, в которых потребители электроэнергии также являются ее производителями [1]. В ближайшем будущем ожидается взрывной рост количества распределенных генераторов, аккумуляторов и потребителей электроэнергии. В результате возникает множество сложных проблем, связанных с принятием решений при управлении режимами работы сетей SG. Некоторые из них могут быть эффективно решены только с привлечением методов оптимального управления и искусственного интеллекта.

Задача оптимального управления режимами работы энергосистемы, которая помимо центральной сети электроснабжения включает локальные источники, накопители и потребители энергии, может быть поставлена как задача оптимального потока мощности (Optimal Power Flow — OPF). OPF — хорошо известная задача оптимизации в энергосистемах. Эта проблема впервые представлена Карпантье в 1962 г. [2]. Задача OPF заключается в том, чтобы найти такой установившийся режим энергосистемы, который минимизирует затраты на производство и потребление электроэнергии при одновременном удовлетворении эксплуатационных ограничений. Задача OPF формулируется как задача нелинейного программирования, в которой некоторые ограничения и, возможно, целевая функция — нелинейные.

В последние годы в научной литературе часто высказывается мнение, что алгоритмы обучения с подкреплением (Reinforcement Learning — RL) имеют гораздо больший потенциал для решения сложных задач управления в сетях SG, чем традиционные методы оптимизации [3]. Этот оптимизм проистекает из того факта, что алгоритмы RL успешно и широко применяются для решения сложных проблем принятия решений в таких областях, как игры, робототехника, автономные мобильные транспортные средства и другие.

В работе рассматривается задача OPF для управления режимами работы сети SG, включающей локальные генераторы, накопители и потребители электроэнергии. Для решения поставленной задачи предлагается применить

подход на основе RL. При этом для управления сетью SG может быть использована мультиагентная система (Multi-Agent Systems — MAS), состоящая из распределенных агентов, обслуживающих отдельные генераторы и накопители электроэнергии.

### 1. Задача OPF

Рассмотрим постановку задачи OPF подробнее. Распределенная электрическая сеть SG может быть представлена как ориентированный граф  $G(N, E)$ , где  $N$  — множество положительных целых чисел, представляющих шины (узлы) в сети, а  $E$  — множество направленных ребер (дуг), соединяющих шины. Обозначим  $e_{ij} \in E$  как дугу с начальной шиной  $i$  и конечной шиной  $j$ . К каждой шине может быть подключено несколько электрических устройств, которые могут генерировать или потреблять электроэнергию из сети. Множество всех устройств, подключенных к сети, обозначим  $D$ , а множество всех устройств, подключенных к шине  $i$ , как  $D_i \subseteq D$ . Предполагается, что каждое устройство подключено к одной шине.

С каждой шиной связан набор технологических переменных — напряжение шины  $U_i^b$ , ток шины  $I_i^b$ , активная мощность  $P_i^b$  и реактивная мощность  $Q_i^b$ . Активная и реактивная мощность шины  $i$  могут быть получены как  $P_i^b = \sum_{d \in D_i} P_d$  и  $Q_i^b = \sum_{d \in D_i} Q_d$ , где  $P_d$  и  $Q_d$  — активная и реактивная мощность устройства  $d \in D_i$ . Полную мощность шины  $i$  можно получить из уравнения  $S_i^b = P_i^b + iQ_i^b$ , а полную мощность устройства  $d$  из уравнения  $S_d = P_d + iQ_d$ . Аналогично переменные  $I_{ij}$ ,  $P_{ij}$ ,  $Q_{ij}$  и  $S_{ij}$  относятся к направленному ребру  $e_{ij}$  и являются характеристиками потока, измеренными на шине  $i$ . Следует отметить, что в результате потерь при передаче электроэнергии эти величины могут иметь разные значения на каждом конце ребра, например  $|P_{ij}| \neq |P_{ji}|$ .

Различные электрические устройства, подключенные к сети, можно разделить на пассивные нагрузки  $l \in D_L$ , генераторы  $g \in D_G$  и распределенные накопители энергии (Distributed Energy Storage — DES)  $D_{DES}$ . Среди генераторов выделим возобновляемые источники энергии (Renewable Energy Resources — RER)  $D_{RER} \in D_G$  и эталонный (балансировочный) генератор  $g_{si}$ , представляющий собой трансформаторную подстанцию центральной энергосистемы или резервный генератор. Назначение эталонного генератора — балансировка потоков мощности с учетом выработки электроэнергии, нагрузки и потерь в сети.

Устройства DES могут как генерировать, так и потреблять энергию из сети. Однако, в отличие от генераторов, передача активной мощности накопителем энергии дополнительно ограничивается его текущим уровнем заряда. Уровень заряда накопителя  $C_{d,t+1}$  в момент времени  $t+1$  определяется как

$$C_{d,t+1} = \begin{cases} C_{d,t} - \Delta t \eta P_{d,t}, & \text{если } P_{d,t} \leq 0, \\ C_{d,t} - \frac{\Delta t}{\eta} P_{d,t}, & \text{если } P_{d,t} > 0, \end{cases}$$

где  $C_{d,t}$  — уровень заряда в момент времени  $t$ ;  $\Delta t$  — шаг по времени;  $\eta \in [0, 1]$  — коэффициент эффективности батареи;  $P_{d,t}$  — активная мощность, генерируемая или потребляемая накопителем в момент времени  $t$ . Уровень заряда  $C_{d,t+1}$  должен удовлетворять ограничениям  $C_{dmin} \leq C_{d,t+1} \leq C_{dmax}$ .

Активная  $P_i^b$  и реактивная  $Q_i^b$  мощность шины  $i$  рассчитываются по формулам [4]

$$P_i^b = \sum_{j=1}^N |U_i| |U_j| (G_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j) + B_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j)), \quad (1)$$

$$Q_i^b = \sum_{j=1}^N |U_i| |U_j| (G_{ij} \sin(\theta_i - \theta_j) - B_{ij} \cos(\theta_i - \theta_j)), \quad (2)$$

где  $U_i$  — напряжение сети в узле  $i$ ;  $G_{ij}$  — активная проводимость;  $B_{ij}$  — емкостная проводимость;  $\theta_i$  — фазовый угол в узле  $i$ .

Выражения (1), (2) записаны для переменного тока (AC Power Flow). На практике при решении задачи OPF часто переходят к уравнениям для «постоянного» тока (DC Power Flow). Это достигается путем введения упрощающих допущений для уравнения (1) и отказа от учета реактивной мощности. Кроме того, поделив выражение (1) на  $|U_i|$ , примем  $|U_i| \cong 1$ . Тогда активную мощность шины  $i$  и мощность  $P_{ij}$  ребра  $e_{ij}$  можно определить из уравнений

$$P_i^b = \sum_{e_{ij} \in E} B_{ij} (\theta_i - \theta_j) + \sum_{e_{ji} \in E} B_{ji} (\theta_i - \theta_j),$$

$$P_{ij} = B_{ij} (\theta_i - \theta_j).$$

Для повышения эффективности функционирования энергосистемы необходимо минимизировать стоимость электроэнергии, получаемой от всех видов генераторов и сумму потерь электроэнергии с учетом штрафного члена, связанного с нарушением эксплуатационных ограничений. В этом случае критерий оптимальности будет иметь вид

$$J_t = \sum_{d \in D_G} c_{g,t} E_{g,t} + \Delta E_{t,t+1} + \lambda \psi,$$

где  $c_{g,t}$  — стоимость электроэнергии, полученной от генератора  $g \in D_G$  на интервале времени  $[t, t+1]$ ;  $E_{g,t}$  — количество электроэнергии, полученной от

генератора  $g \in D_G$  на интервале времени  $[t, t+1]$ ;  $\Delta E_{t,t+1}$  — общие энергопотери на интервале времени  $[t, t+1]$ ;  $\lambda$  — коэффициент штрафа;  $\psi$  — штрафная функция.

Штрафная функция в общем случае определяется из выражения

$$\psi = \sum_{e_{ij} \in E} \max(0, P_{ij}^2 + Q_{ij}^2 - S_{\max ij}^2),$$

где  $S_{\max ij}$  — максимальная полная мощность, которая может передаваться через ребро  $e_{ij}$ . При переходе к «постоянному» току выражение для штрафной функции примет вид

$$\psi = \sum_{e_{ij} \in E} \max(0, |P_{ij}| - \beta S_{\max ij}),$$

где  $\beta$  — параметр, который обеспечивает соблюдение ограничений, несмотря на ошибку линейной аппроксимации  $P_{ij}$ .

В данной работе рассматриваются сети SG, представляющие собой небольшие локальные энергосистемы. В этом случае общими энергопотерями в сети SG можно пренебречь. Тогда задача OPF для случая DC Power Flow может быть сформулирована следующим образом

$$J = \sum_{k=t+1}^{t+n} \gamma \left( \sum_{d \in D_G} c_{g,t} P_{g,k} + \lambda \sum_{e_{ij} \in E} \max(0, |P_{ij,k}| - S_{\max ij}) \right) \rightarrow \min_{P_{d,k}} \quad (3)$$

$$P_{i,k}^b = \sum_{d \in D_i} P_{d,k}, \quad i \in N, k = t+1, \dots, n, \quad (4)$$

$$P_{i,k}^b = \sum_{e_{ij} \in E} B_{ij} (\theta_{i,k} - \theta_{j,k}) + \sum_{e_{ji} \in E} B_{ji} (\theta_{i,k} - \theta_{j,k}), \quad i \in N, k = t+1, \dots, n, \quad (5)$$

$$P_{ij,k} = B_{ij} (\theta_{i,k} - \theta_{j,k}), \quad k = t+1, \dots, n, \quad (6)$$

$$P_{l,k} = P_{l,k}^s, \quad l \in D_l, \quad k = t+1, \dots, n, \quad (7)$$

$$P_{dmin,k} \leq P_{d,k} \leq P_{dmax,k}, \quad d \in D, \quad k = t+1, \dots, n, \quad (8)$$

$$\frac{1}{\Delta t \eta} (C_{d,k} - C_{dmax}) \leq P_{d,k} \leq \frac{\eta}{\Delta t} (C_{d,k} - C_{dmin}), \quad d \in D_{DES}, \quad k = t+1, \dots, n, \quad (9)$$

$$0 \leq \theta_{i,k} \leq 2\pi, \quad i \in N, k = t+1, \dots, n, \quad (10)$$

$$\theta_{0,k} = 0, \quad k = t+1, \dots, n, \quad (11)$$

где индекс  $k$  служит для обозначения момента времени  $k = t+1, \dots, n$ ,  $\gamma \in [0, 1]$  — коэффициент дисконтирования;  $\theta_{0,k}$  — фазовый угол эталонного генератора;  $P_{l,k}^s$  — планируемое или прогнозируемое значение мощности нагрузки.

## 2. Агенты

Рассмотрим ситуацию, когда агент взаимодействует с окружающей средой в течение бесконечной последовательности дискретных временных шагов, смоделированных как марковский процесс принятия решений (Markov Decision Process — MDP). MDP — математическая основа для моделирования ситуаций с принятием решений на базе RL. На каждом временном шаге  $t$  агент выбирает действие  $a_t \in A$  по состоянию среды  $s_t \in S$ . После применения действия  $a_t$  среда переходит из состояния  $s_t$  в новое состояние  $s_{t+1}$ , а агент получает вознаграждение  $r_t = r(s_t, a_t, s_{t+1})$ . Агент обновляет свои знания информацией о вознаграждении, полученном за последнее действие, и цикл повторяется до достижения заданного числа эпизодов или пока среда не отправит признак конца эпизода. Признак конца эпизода устанавливается в случаях отсутствия решения задачи OPF (3)—(11) или недопустимого нарушения эксплуатационных ограничений по перегрузке линий электропередач.

Состояние среды в задаче OPF описывается набором переменных состояния шин  $i, j$  и устройств  $d \in D$  в момент времени  $t$

$$s_t = [P_{i,t}^b, Q_{i,t}^b, P_{d,t}, Q_{d,t}, |U_{i,t}|, |I_{i,t}|, \theta_{i,t}, P_{ij,t}, Q_{ij,t}, |S_{ij,t}|, |I_{ij,t}|, C_{d,t}].$$

Действие агента  $a_t \in A(s_t)$  в задаче OPF определим как вектор

$$a_t = [a(P_{g,t}), a(Q_{g,t}), a(P_{d,t}), a(Q_{d,t})],$$

где  $a(P_{g,t}), a(Q_{g,t})$  — верхний предел активной и реактивной мощности от генератора  $g \in D_G - g_{sl}$  в момент времени  $t$ ;  $a(P_{d,t}), a(Q_{d,t})$  — активная и реактивная мощность накопителя  $d \in D_{DES}$  в момент времени  $t$ . Для случая DC Power Flow  $a(Q_{g,t})$  и  $a(Q_{d,t})$  приравняются нулю. Предполагается, что действие, выбираемое агентом в момент времени  $t$ , немедленно применяется в среде в момент времени  $t$  и что все переменные состояния среды остаются постоянными на интервале времени  $[t, t+1]$ .

Вознаграждение, которое получает агент в момент времени  $t$ , определяется как

$$r_t = clip(r_{min}, J_t, r_{max}),$$

где  $clip()$  — функция, ограничивающая вознаграждение в пределах конечного диапазона  $r_{min} \leq r_t \leq r_{max}$ .

Агенты RL в задаче OPF — совокупность распределенных агентов, обслуживающих отдельные генераторы и накопители электроэнергии. Таким образом, для управления сетью SG используется MAS, обеспечивающая после обучения режим функционирования сети SG, близкий к оптимальному.

### 3. Моделирование сети SG

Решение задачи OPF (3)—(11) практически невозможно без компьютерного моделирования функционирования энергосистемы. Проводить оптимизацию на реальных системах электроснабжения слишком сложно, долговременно и опасно. Моделирование позволяет выполнять оптимизацию функционирования энергосети на виртуальной модели, что сокращает время и позволяет избежать неэффективных режимов работы и перегрузки реальной физической инфраструктуры энергосистемы. Среди программных сред для моделирования энергосистем, которые используются в исследованиях по управлению энергосистемами с помощью методов RL, выделим библиотеку MATPOWER пакета MATLAB, а также библиотеку `pypower` (Python интерфейс для MATPOWER) и `pandapower` языка Python [5].

В качестве инструмента для моделирования сети SG использована система на основе среды `Gym-ANM` [3; 5]. `Gym-ANM` — библиотека для языка Python, предназначенная для тестирования и сравнения различных алгоритмов оптимизации и RL при решении задач управления режимами работы распределенных электрических сетей. `Gym-ANM` разработана по образцу хорошо известного сообществу RL набора библиотек `OpenAI Gym` [6]. Это позволяет без каких-либо существенных доработок использовать с `Gym-ANM` любые алгоритмы RL, совместимые с интерфейсом `OpenAI Gym`, и популярные библиотеки RL, такие как `Stable Baselines`, `Tensorforce`, `KerasRL`, `Coach` и др.

Важная часть библиотеки `Gym-ANM` — пример `ANM6-Easy` моделирования сети SG, включающей шесть шин, три потребителя электроэнергии в виде жилого дома, промышленного здания и станции для зарядки электромобилей, два генератора типа фотоэлектрической панели и ветряной турбины и один накопитель энергии для зарядной станции. В примере `ANM6-Easy` электропитание всех потребителей производится от центральной энергосистемы. Кроме того, электропитание жилого дома дополнительно осуществляется от фотоэлектрических панелей, а электропитание промышленного здания — от ветряных турбин, зарядка электромобилей — от локального накопителя энергии. Зарядка батареи накопителя производится как от центральной энергосистемы, так и от возобновляемых источников энергии.

Разработан модельный пример, по аналогии названный `ANM4-Easy`. В данном примере моделируется сеть SG небольшого промышленного предприятия. Она включает четыре шины, два потребителя электроэнергии в виде административного и производственного здания предприятия, два генератора типа фотоэлектрической панели, ветряная турбина и два накопителя энергии, по одному для каждого устройства DES. Все потребители запитаны от центральной энергосистемы. Административное здание дополнительно питается от фотоэлектрических панелей или накопителя, связанного с фотоэлектрическими панелями. Производственное здание дополнительно снабжается электроэнергией от ветряных турбин или накопителя ветряных турбин. Использование накопителей в связке с возобновляемыми источниками энергии повышает стабильность и предсказуемость производства энергии генерато-

рами RER. Поскольку зарядные станции для электромобилей пока неактуальны для условий России, то элементы, относящиеся к зарядной станции, вместе с соответствующими шинами исключены из модельного примера.

Кроме разработки нового модельного примера сети SG авторы выполнили доработку среды Gyn-ANM, так как постановка задачи OPF (3)—(11) отличается от рассмотренной в [3]. Изменения коснулись вида целевой функции и состава ограничений, открыв возможности совместного решения задачи OPF, а также других задач оптимизации энергопотребления в энергосистемах, например задач оптимального планирования энергопотребления предприятия [7; 8].

Для управления режимами работы сети SG примера ANM4-Easy применены два популярных алгоритма RL. Первый алгоритм — Advantage Actor Critic (A2C), развитие известного метода Policy Gradient. В этом алгоритме актер — это компонент, определяющий дальнейшее действие в соответствии с принципом Policy Gradient, а критик оценивает, насколько то или иное действие выгодно, основываясь на функции преимущества (Advantage). Предложенный исследователями из OpenAI в 2017 г. второй алгоритм, Proximal Policy Optimization (PPO), — улучшенная версия известного алгоритма Trust Region Policy Optimization [9]. Для реализации алгоритмов A2C и PPO использовалась библиотека tensorflow языка Python [10]. На рисунке показан один из моментов моделирования управления сетью SG примера ANM4-Easy алгоритмом PPO.

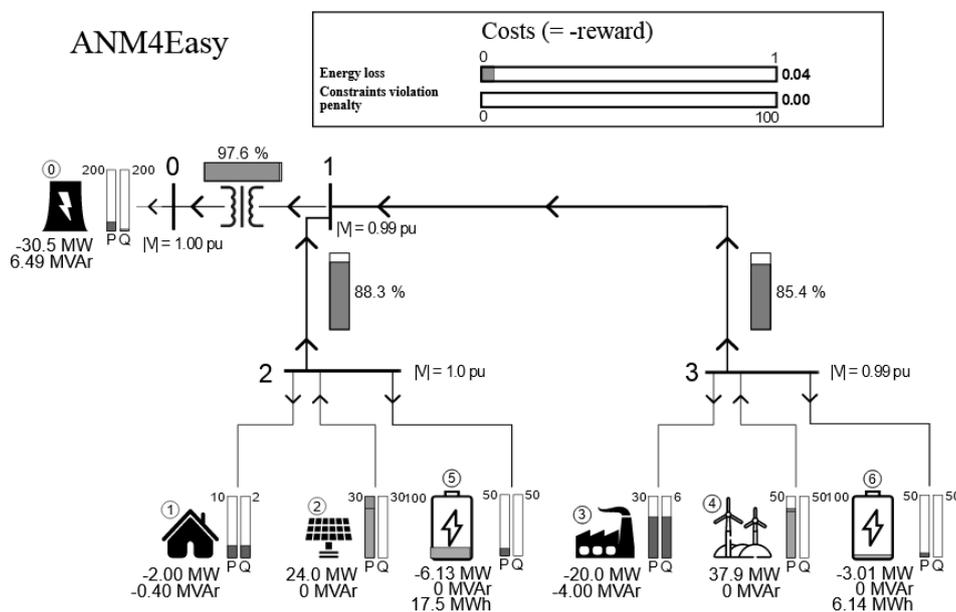


Рис. Моделирование управления режимами сети SG

Алгоритмы A2C и PPO показали примерно одинаковые результаты по величине энергозатрат за определенный промежуток времени при управлении режимами работы сети SG примера ANM4-Easy.

### Заключение

Рассмотрена задача управления режимами работы сети SG, которая помимо центральной сети электроснабжения включает локальные генераторы, накопители и потребители электроэнергии. Данная задача может быть поставлена как задача OPF минимизации затрат на производство и потребление электроэнергии при одновременном удовлетворении эксплуатационных ограничений. Модель сети SG апробирована на примере небольшого промышленного предприятия в среде, совместимой с OpenAI Gym. Для управления режимами работы сети SG применены популярные алгоритмы RL PPO и A2C, которые успешно справились с поставленной задачей.

Модель сети SG будет использована для сравнения различных алгоритмов оптимизации и RL. В качестве развития рассматривается совместное решение задачи OPF и задачи оптимального планирования энергопотребления промышленного предприятия с целью снижения энергозатрат и уменьшения выбросов парниковых газов и углеродного следа.

### Список литературы

1. *Dileep G.* A survey on smart grid technologies and applications // *Renewable Energy*. 2020. Vol. 146. P. 2589—2625.
2. *Carpentier J.* Contribution à l'étude du dispatching économique // *Bulletin de la Société Française des Électriciens*, 1962. Vol. 3, №32. P. 431—447.
3. *Henry R., Ernst D.* Gym-ANM: Reinforcement learning environments for active network management tasks in electricity distribution systems // *Energy and AI*. 2021. Vol. 5. P. 1—23.
4. *Wood A.J., Wollenberg B.F.* Power generation, operation, and control. N. Y. : Wiley, 1984.
5. *Henry R., Ernst D.* Gym-ANM: Open-source software to leverage reinforcement learning for power system management in research and education // *Software Impacts*. 2021. Vol. 9. P. 1—5.
6. *Gym*. URL: <https://gym.openai.com/> (дата обращения: 11.01.2021).
7. *Maryasin O. Yu., Lukashov A. I.* Optimizing the Daily Energy Consumption of an Enterprise // *International Russian Automation Conf.: Advances in Automation III*. Cham, 2021. P. 370—382.
8. *Maryasin O. Yu., Lukashov A. I.* Electricity Costs Minimization for an Industrial Building by Reducing Energy Consumption During Peak Load Hours // *International Ural Conference on Electrical Power Engineering. IEEE*, 2021. P. 329—334.
9. *Судхарсан Р.* Глубокое обучение с подкреплением на Python. OpenAI Gym и TensorFlow для профи. СПб. : Питер, 2020.
10. *Tensorforce*: a TensorFlow library for applied reinforcement learning. URL: <https://github.com/tensorforce/tensorforce> (дата обращения: 11.01.2021).

**Э. И. Мухитов<sup>1</sup>, В. Э. Мухитов<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Управление Балтийского флота, Калининград, Россия

<sup>2</sup> Войсковая часть 30866, Черняховск, Россия

e-mail: mukh70@yandex.ru

## **ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТЬ МУЛЬТИАГЕНТНЫХ СИСТЕМ ВОЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ**

Анализ вооруженных конфликтов последних лет показывает, что внедрение сетевых методов, моделей и форм в военном деле становится неизбежным. Перед отечественным научным сообществом стоят вопросы, связанные с необходимостью быстро принимать решения в условиях априорной неопределенности, высокой динамики событий, непредсказуемости развития ситуации, когда в процессе принятия решения нужно учитывать множество взаимосвязанных факторов. При возникновении вооруженного конфликта, как правило, требуется применение информационно-интеллектуальных систем, способных контролировать наличие и поражающие способности оружия и боеприпасов, их техническое состояние, непрерывную передачу информации через систему связи на различные пункты управления, обеспечение интеграции разнородной оптической, радиолокационной, акустической, тепловой и т.п. информации и на этой основе идентификации (распознавания) целей, определения степени их опасности и уязвимости, выработки решения по их уничтожению с учетом возможности своих средств. Переброска вооруженных подразделений и военной техники к месту конфликта, также имеющему множество политических, географических, метеорологических и прочих особенностей, требует согласованных управленческих действий, непрерывного автоматического позиционирования, анализа окружающей обстановки и действий противоборствующей стороны, отслеживания точек навигации и целеуказания, взаимодействия различных видов обеспечения. Вышеперечисленное — только малая часть тех вопросов, которые необходимо решать лицам, принимающим решения, и лицам, формирующим решения. Естественно, без внедрения систем искусственного интеллекта (СИИ) и технологий многоагентных систем (МАС) решить поставленные задачи невозможно. Современная сетевая структура ведения боевых действий (СЦВ) представляет собой согласованные действия по задачам, направлениям, рубежам и времени действия участвующих в военном конфликте различных видов, родов Вооруженных сил, которые взаимодействуют в едином информационном пространстве. Она в свою очередь включает создание сетевой архитектуры — совокупность баз и банков данных, технологий их ведения и использования, информационно-телекоммуникационных систем и сетей, функционирующих на основе единых принципов и по общим правилам [1—3].

В соответствии с [4], концепция сетевидной системы рассматривает представление любого вооруженного формирования в виде компьютерной сети, объединяющей элементы сбора информации (сенсоры), средства физического воздействия на объекты противника (акторы) и интеллектуальные (информационно-управляющие) элементы, реализующие функции анализа ситуации, принятия и реализации решений по управлению сенсорами и акторами. При этом также указывается, что практическая реализация концепции СЦВ невозможна без эффективного решения вопросов по созданию ряда ключевых компонент, одна из которых — «распределенная программная среда». Эта среда должна «концентрировать в себе интеллект всей проектируемой мегасистемы...» [4]. Достижение такого качества в распределенной системе обеспечивается, главным образом, организацией эффективной схемы взаимодействия всех интегрированных в нее элементов. В настоящий момент именно организация взаимодействия — проблема, требующая научного решения, для чего введено понятие интероперабельности — способности двух и более систем или элементов обмениваться информацией и использовать эту информацию.

Указанная проблема полностью ассоциируется с основами построения МАС. В данном случае агенты могут рассматриваться представителями указанных на рисунке 1 сенсоров, акторов, информационно-управляющих элементов. В агентах описываются соответствующие сущностям сценарии поведения и правила принятия решений. При этом основное свойство МАС проявляется в том, что поведение агентов предусматривает их взаимодействие при решении тех или иных задач.

Интероперабельная система — система, в которой входящие в нее подсистемы работают по независимым алгоритмам, не имеют единой точки управления. Все управление определяется единым набором стандартов — профилем интероперабельности. Следует различать «внутреннюю» интероперабельность, которая должна существовать, например, внутри одного рода войск, и «внешнюю» интероперабельность, которая должна существовать между разнородными компонентами. Интероперабельность — не абсолютная, а относительная величина. Чем выше уровень интероперабельности, тем в условиях СЦВ выше превосходство над противником.

Также с развитием инфраструктуры, ростом скорости передачи информации в сетях возрастает роль распределенной обработки данных. Это способствует повышению эффективности использования вычислительных, информационных, интеллектуальных ресурсов систем. Сущность распределенной обработки данных состоит в том, что пользователь получает возможность работать с сетевыми службами и прикладными процессами, расположенными в нескольких взаимосвязанных системах. Как было сказано выше, обеспечение интероперабельности распределенных систем связано с формированием интероперабельной среды, включающей информационные ресурсы, приложения, сервисы, программное обеспечение промежуточного слоя (так называемое Middleware), сетевую инфраструктуру.

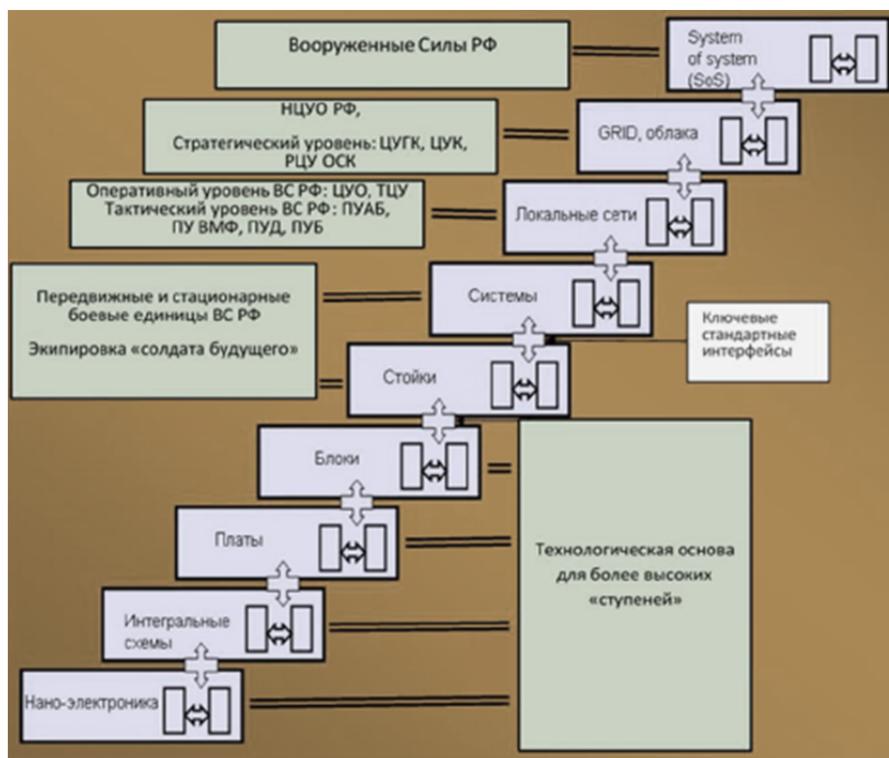


Рис. 1. Построение информационно-управляющих элементов в ВС РФ:  
 НЦУО РФ — Национальный центр управления обороной РФ; ЦУГК — центры управления главных командований видов ВС РФ; ЦУК — центры управления родов войск ВС РФ; РЦУ ОСК — региональные центры управления объединенных стратегических командований; ЦУО — центры управления объединений; ТЦУ — территориальные центры управления; ПУ АБ — пункты управления авиационных баз; ПУ ВМФ — пункты управления ВМФ; ПУБ — пункты управления бригад; ПУД — пункты управления дивизий

Интероперабельность МАС подразделяется на техническую, синтаксическую и семантическую [5; 6].

1) Техническая интероперабельность означает возможность агентов обмениваться заявками в системе таким образом, что принимающий заявку агент может ее обработать и вернуть конечный результат, который может интерпретировать агент, пославший заявку. То есть агенты интероперабельны, если методы одного агента запрашивают сервисы другого. Интероперабельность всей системы обеспечивает возможность создания подсистем из неоднородных, распределенных компонентов на основе однородно специфицированных интерфейсов. Компоненты МАС взаимодействуют между собой при решении прикладной задачи посредством обмена заявками.

2) Синтаксическая интероперабельность означает, что программы должны иметь возможность читать данные и получать представления, с которыми

они могут работать. Уровень синтаксической интероперабельности в достаточной мере высок, когда можно получить синтаксический анализатор и интерфейсы прикладных программ, необходимые для манипулирования данными.

3) Для обеспечения семантической интероперабельности МАС используется формальная модель онтологии:

$$M = \langle C, K, \Phi, A \rangle,$$

где  $C$  — множество понятий предметной области;  $K$  — множество отношений между понятиями;  $\Phi$  — механизм интерпретации понятий и отношений онтологии;  $A$  — используемые аксиомы.

Она позволяет описать отношения между объектами (понятиями) и осуществить интерпретацию для каждой возникающей задачи. Каждая модель закладывается в базу знаний (БЗ) — в нашем случае это база данных, хранящая онтологии различных сценариев решений схожих по смыслу задач из данной предметной области. Однако отличие БЗ от БД в том, что она учитывает различные корреляции и связи между собой, в том числе и между различными сценариями и альтернативами. Прикладная онтология (учения, тренировки, отработка локальных задач) — основа для организации семантической интероперабельности компонентов комплекса моделирования. Семантическая модель, основанная на формализованном представлении предметной области, позволяет автоматизировать формирование моделей принятия решений на каждом горизонтальном пункте управления. Реализация прикладной онтологии и интегрированных решений дает возможность осуществить создание открытой информационной системы, способной приобретать новые знания и изменять свою структуру и функции, развиваясь и адаптируясь к изменениям во внешней среде с учетом внутренних ресурсов системы.

Однако, говоря об интероперабельности МАС, нельзя не отметить, что для ее обеспечения немаловажную роль играет контекст — дополнительные обстоятельства, сведения, факты, которые помогают правильно интерпретировать основную информацию, содержащуюся в сообщениях взаимодействующих агентов [7]. На рисунке 2 показаны и раскрыты содержание типов контекстов: временного, геопространственного, ситуативного, предметного и мультиагентного. Каждый из них играет свою роль, создает точки привязки по времени и месту, синхронизирует действия агентов в МАС при решении задачи или достижении цели.

Исследования показывают, что при ведении СЦВ мультиагентный контекст позволяет самоорганизовываться агентам, которые могут создавать быстроменяющиеся динамические группы и коалиции для выполнения той или иной поставленной задачи, координировать свои действия в интересах достижения общей цели, делиться ресурсами, а также гибко и ситуативно менять иерархию подчиненности.

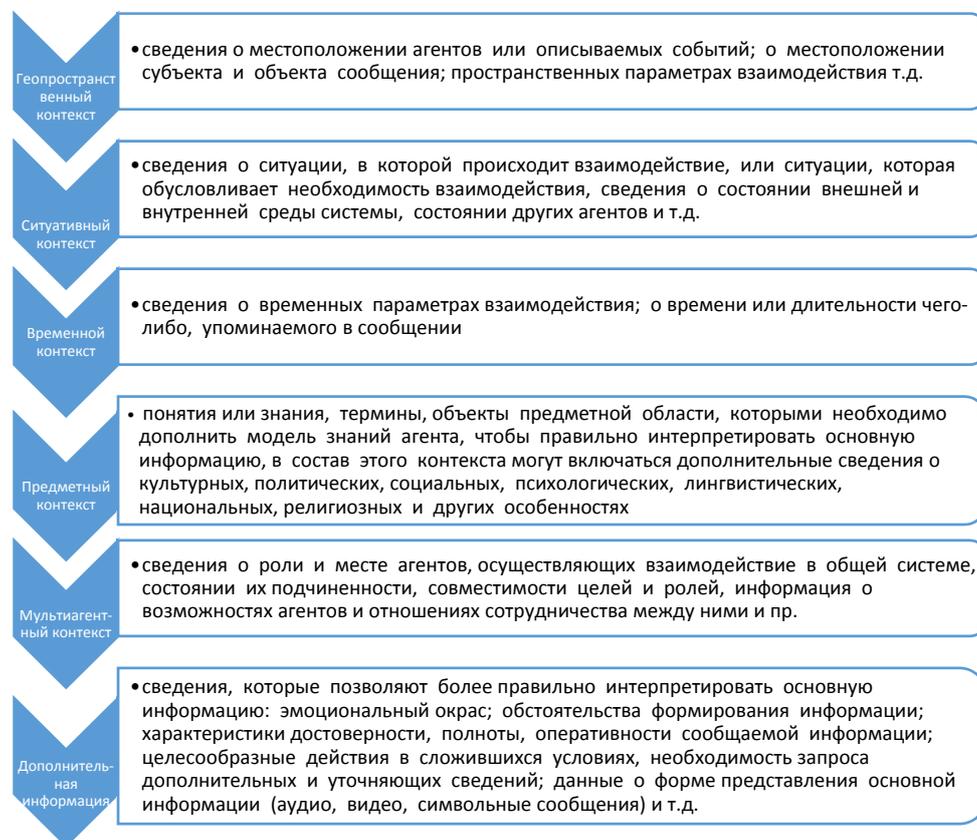


Рис. 2. Типы и содержание контекстов

Однако одним из проблемных вопросов считается отсутствие стандартов по созданию контекстных теорий и установлению влияния контекста на формирование моделей знаний, интерпретацию целей и понятий предметной области. В настоящее время общепринятая практика — формализация контекста в виде метаданных сообщения — служебных или дополнительных данных, описывающих характеристики основной информации, передаваемой в сообщении.

Метаданные широко распространены как служебные данные или указатели при организации процедур формирования, поиска, передачи, хранения, обработки и представления данных из информационных ресурсов. Проблема единообразного формирования метаданных для различных типов документов решена внедрением языка разметки Extensible Markup Language (XML), что позволило создать информационные ресурсы, способные обмениваться элементами данных друг с другом.

Подводя итоги, необходимо отметить, что разновекторность различных исследований в сфере интероперабельности подразумевает некую основу, стандартизацию данного понятия не только для СЦВ, но и для других сетевых информационно-интеллектуальных систем. Модели знаний, которые существуют сейчас (фреймовые, семантические, продукционные и т. п.), не в полной мере отражают адекватность передачи данных, так как они не передают подробную детализацию, не описывают психологическую или эмоциональную окраску, что влияет на правильную семантическую интерпретацию событий и сообщений.

Инструментарий системного анализа интероперабельности с синтезом объектного, дискретно-событийного и системно-динамического подходов разработан. Его целесообразно применять для построения соответствующих математических и имитационно-статистических моделей локального характера, которые, будучи интегрированы, создадут глобальные МАС, использующие метаданные. Думается, без интероперабельности в будущих СЦВ создать преимущество над противоборствующей стороной будет невозможно.

#### Список литературы

1. *Олейников А. Я. и др.* Проблема интероперабельности в информационных системах военного назначения : отчет о НИР / ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН. М., 2017.
2. *Петров А. Б., Стариковская Н. А.* Методика сравнительной оценки интероперабельности информационных систем // Информационные технологии и вычислительные системы. Спец. вып. : Открытые системы. Интероперабельность. М. : ИМВС РАН, 2009. № 5. С. 82—90.
3. *Батоврин В. К., Королев А. С.* Способ количественной оценки интероперабельности // Информационные технологии и вычислительные системы. 2009. № 5. С. 91—95.
4. *Andreev M., Rzevski G., Ivashchenko A. et al.* Adaptive Planning for Supply Chain Networks // Holonic and Multi-Agent Systems for Manufacturing, Third International Conference on Industrial Applications of Holonic and Multi-Agent Systems, HoloMAS 2007, Regensburg, Germany, September 3—5, 2007, Proceedings. doi: 10.1007/978-3-540-74481-8\_21.
5. *Брюхов Д. О., Задорожный В. И., Калиниченко Л. А. и др.* Интероперабельные информационные системы: архитектуры и технологии. URL: <http://synthesis.ipi.ac.ru/synthesis/publications/interoptech/html> (дата обращения: 01.04.2022).
6. *Куприянов А. А.* Аспекты интероперабельности автоматизированных систем // Автоматизация процессов управления. 2011. № 3. С. 82—97.
7. *Макаренко С. И., Соловьева О. С.* Семантическая интероперабельность взаимодействия элементов в сетевых системах // Журнал радиоэлектроники. 2021. № 6. doi: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2021.6.3>.

**М. А. Никитина**

Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, Москва, Россия  
e-mail: nikitinama@yandex.ru

## ПРИМЕНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ К МЕТОДАМ КОНТРОЛЯ

### Введение

Необходимость автоматизации процессов визуализации не вызывает сомнений. Но вопрос в том, каким образом максимально эффективно внедрить искусственные нейронные сети (ИНС) в рабочий процесс гистологов. Авторы не хотят повторять ошибок Digital Pathology Association, случившихся несколько лет назад при применении автоматической постановки диагноза [1; 8; 9], поскольку статистический анализ применения этого метода в маммографии продемонстрировал значительное количество ошибок первого рода (в частности, ошибочное отклонение от нулевой гипотезы).

В медицинских изысканиях, согласно исследованию корейских ученых [6], количество ошибок первого рода при компьютерной диагностике данных маммографии составляло около 70%. Это означает, что при диагностике здоровых молочных желез несуществующие опухоли выявлены в более чем половине случаев. Исследование итальянских ученых [12], показало, что в диагностике злокачественных опухолей груди ошибки имели место более чем в половине случаев (всего в исследовании приняло участие 250 больных раком и 250 здоровых женщин). В группе больных раком груди 138 пациентов (55,2%) имели истинно пропущенный рак, 61 пациент имел минимальный признак (24,4%) и на 53 пациента был получен ложноотрицательный результат (20,4%). Источник ошибок среди получивших ложноотрицательный результат был в 42% случаев из-за восприятия, в 15% — из-за интерпретации, в 10% — из-за нетипичных характеристик поражения, в 9% — ошибок при поиске, в 7% — из-за присущих маммографии ограничений, в 4% — из-за плохой техники и в 13% — из-за неадекватного клинического ведения. Иными словами, ошибки связаны с человеческим фактором и субъективизмом восприятия.

Разработанный специалистами Университета Неймегена (Нидерланды) алгоритм для эффективной диагностики рака груди на основе работы сверточной нейросети [2] позволяет снизить долю ложных результатов.

Из вышесказанного следует, что актуальна корректность выбора архитектуры ИНС и организации ее обучения. Основная задача состоит в том, чтобы облегчить работу специалистов-гистологов и помочь им в постановке заключения (обнаружено/не обнаружено — соответствие/несоответствие — фальсификат/не фальсификат), а не наоборот. Таким образом, при анализе и клас-

сификации изображений нейронные сети показывали посредственные результаты, как было отмечено выше. Это наблюдалось до 2012 г., когда А. Крижевски выиграл конкурс по машинному зрению, благодаря ИНС AlexNet с архитектурой сверточной нейронной сети (CNN), впервые предложенной Я. Лекуном и Й. Бенджо в 1988—1989 гг.

Многие относят CNN к природоподобным технологиям, ассоциируя их с компьютерным зрением. CNN достигли определенного успеха в распознавании изображений в силу того факта, что они устроены наподобие зрительной коры головного мозга, то есть умеют концентрироваться на небольшой области и выделять в ней важные особенности. Работа CNN обычно интерпретируется как переход от конкретных особенностей изображения к более абстрактным деталям и далее к еще более абстрактным деталям вплоть до выделения понятий высокого уровня. При этом сеть самонастраивается и вырабатывает необходимую иерархию абстрактных признаков (последовательности карт признаков), фильтруя маловажные детали и выделяя существенное. CNN в настоящее время нашли широкое применение при решении задач в области медицины. В качестве примеров приводим наиболее значимые.

Крупные базы данных способствовали появлению алгоритмов глубокого обучения, которые в таких задачах, как выявление диабетической ретинопатии [5], рака кожи [3], сердечных аритмий [10], кровоизлияния в мозг [5], пневмонии [11] и переломов бедра [4], обеспечивают эффективность на уровне эксперта.

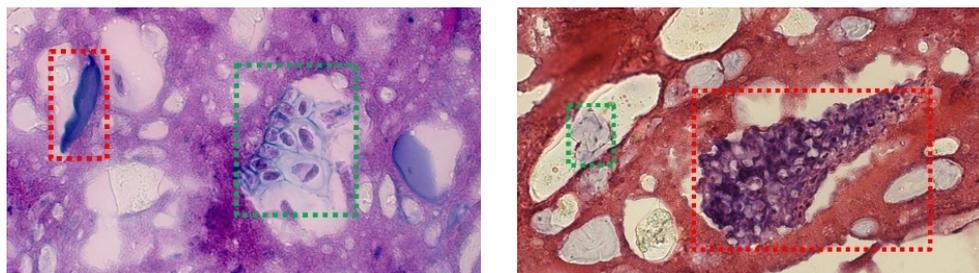
В связи с этим представляла интерес возможность интегрирования инструмента анализа на основе CNN для решения задач оценки гистологических срезов пищевого сырья и продукции. Цель настоящего исследования — определение основных микроструктурных характеристик (параметры классификации) для идентификации растительных компонентов в составе мясного сырья и готовых продуктов с последующим выделением численных значений параметров классификации для распознавания объекта с использованием системы искусственного интеллекта на базе ИНС.

### 1. База данных гистологических срезов

Для начала нужно собрать базу данных гистологических срезов. Данные должны содержать одинаковый набор классов объектов для их сегментации. После сбора данных нужно нанести разметку на изображения (рис. 1). Под разметкой подразумевается запись координат полигонов каждого объекта классов в отдельном файле формата \*.txt или \*.xml.

Для нахождения основных микроструктурных характеристик (параметры классификации/ситуационный классификатор) идентификации (на примере растительных компонентов в составе мясного сырья и готовых продуктов) в процессе выполнения работы разработана структура единой информационной базы данных (БД) гистологических показателей.

На первом этапе выбраны идентификационные признаки, которые обязательно необходимо включить в структуру БД, — форма частиц, размер, тинкториальные свойства частиц (способность окрашиваться гистологическими красителями), а для белковых компонентов также фрагменты оболочки боба сои [7]. В данной предметной области Сущность — растительный компонент, атрибут — данные, описывающие свойства/признаки Сущности.



Разметка красным цветом — каррагинан;  
разметка зеленым цветом —  
растительная камедь

Разметка красным цветом — кость;  
разметка зеленым цветом — крахмал

Рис. 1. Разметка незаявленных компонентов на гистологических срезах

В таблице 1 приведена структура БД, а каждому атрибуту присвоено буквенное обозначение (табл. 2).

Таблица 1

### Структура реляционной базы данных

Сущность	Значения атрибутов
Название компонентов	Форма частиц; размер; тинкториальные свойства (при окраске гематоксилином и эозином, раствором Люголя и др.); характерная микроструктура (фото)

Таблица 2

### Описание ключевых понятий

Ключевое понятие	Обозначение
Форма частиц	A1
Размер	A2
Тинкториальные свойства (при окрасе гематоксилином и эозином)	A3
Тинкториальные свойства (при окрасе раствором Люголя)	A4
Идентификация наличия фальсификата	A5

Признаки, указанные в таблице 2 и соответствующие ключевым понятиям, могут принимать определенные синтаксические значения, которые рассматриваются как константы. Если признак принимает это значение, то считается, что соответствующая переменная равна этому значению.

На основании производственных правил процесс будет осуществляться следующим образом. На вход подается изображение гистологического среза  $X$ , которое далее подвергается обработке.

Обработка изображения гистологического среза  $X$  в общем случае будет включать следующие этапы: 1) предварительная обработка изображений срезов (удаление шумов, оптимизация палитры и т. п.); 2) цветовая сегментация на основе минимизации палитры; 3) аппроксимация границ выделенных на изображении областей; 4) определение размера областей; 5) определение формы частиц; 6) определение цвета частиц; 7) идентификация наличия фальсификатов; 8) вывод результатов определения наличия фальсификата.

Последовательное прохождение вышеуказанных этапов позволило получить обоснованное решение о наличии или отсутствии определенных видов фальсификатов мясной продукции.

Для реализации этапов обработки изображений гистологических срезов образцов мясной продукции предлагается следующий алгоритм (рис. 2).

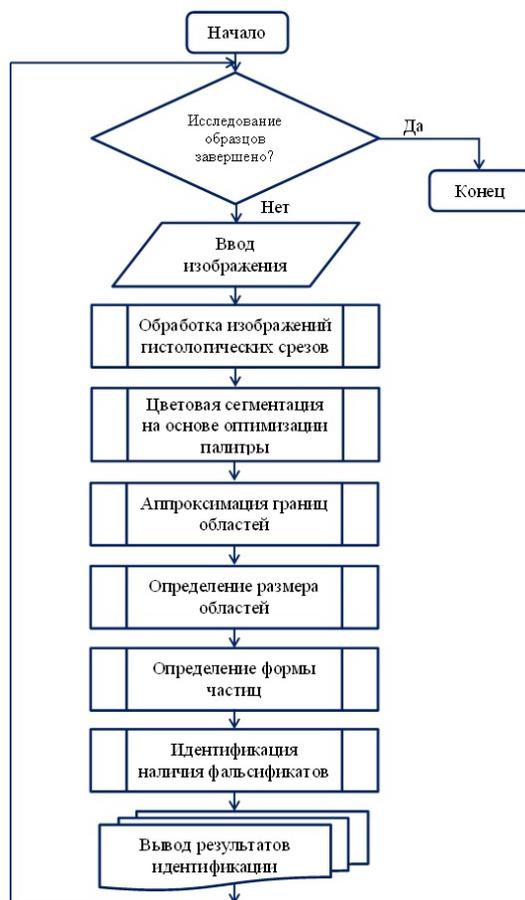


Рис. 2. Блок-схема алгоритма обработки изображений гистологического среза для автоматизации определения наличия несоответствий

## 2. Функция активации

На данном этапе исследования использовали библиотеку *TensorFlow* (открытая программная библиотека для машинного обучения в целях построения и тренировки нейронной сети для автоматического нахождения и классификации образов), чтобы изучить влияние нескольких функций активации на результаты классификации. В результате исследования функций активации получили следующие показатели точности (табл. 3).

Таблица 3

### Характеристики классификатора по разным функциям активации

Функция активации	Точность тестирования
ReLu	0,9843
TanH	0,7591
eLu	0,9687
Sigmoid	0,7851
SoftPlus	0,9765
SoftSign	0,7773

Как видно, из таблицы 3, наилучший результат получен при использовании функции активации ReLu (0,9843). Следующий из лучших результат показала функция активации SoftPlus (0,9765) и eLu (0,9687).

Таким образом, для обучения CNN в данном исследовании наиболее точная классификация достигается при использовании функции активации ReLu.

## 3. Архитектура нейронной сети

На этом этапе исследования предлагается разновидность архитектуры сверточной нейросети (CNN) с двумя слоями свертки (Convolutional, C-Layer) и пулинга (подвыборки) (Subsampling, S-Layer), чередующихся друг за другом. Архитектура CNN получает на входной слой нормализованное изображение со стандартизированным размером, если это требуется. Внутренние слои представляют собой подряд идущие слои свертки со слоями нормализации и пулинга. Под слоем свертки понимается такой слой, который преобразует часть входного изображения, матрицу три на три, в пиксель один на один матричными преобразованиями. На выходном слое данного типа архитектуры получается набор фитчей изображения, как показано на рисунке 3.

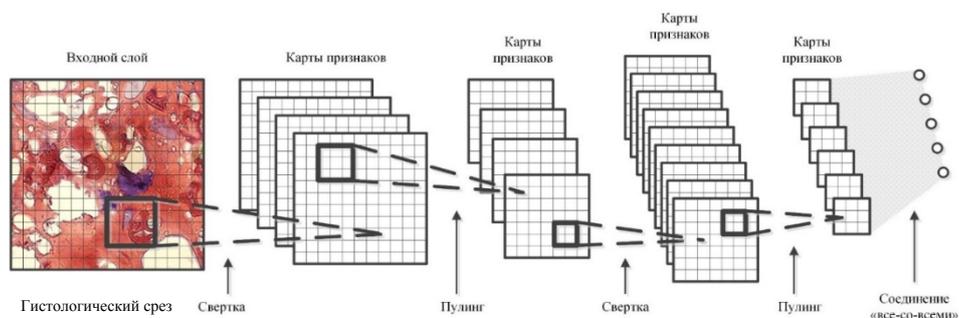


Рис. 3. Архитектура CNN для задач классификации объектов (незаявленных компонентов) на изображении (гистологическом срезе)

Как видно из данных рисунка 3, CNN состоит из следующих типов слоев (слева направо): 1) сверточный (convolutional) для свертки входной матрицы изображения применением некоторого ядра (фильтра) свертки; количество ядер свертки определяет количество карт признаков — первое равно второму; 2) подвыборочный (subsampling), или слой пулинга (pooling), слой объединения — принимает результат предшествующего слоя в виде матрицы и сокращает пространственное представление изображения, увеличивая инвариантность применяемых фильтров к масштабу входного изображения; делается это с целью выделения низкоуровневых признаков и понижения размерности данных; в качестве функции сжатия чаще всего используется среднее арифметическое элементов по окну или максимальное значение по окну; 3) полносвязный (full connection); на вход данного слоя подается одномерный вектор от стоящего перед ним сверточного/подвыборочного слоя, причем вектор получен из матрицы путем записи ее элементов одной строкой.

Основные особенности архитектуры CNN для задач классификации объектов на изображении: а) входной (input) слой CNN — сверточный, а выходной (output) — полносвязный; б) сверточные и подвыборочные слои чередуются между собой, а после их чередования следуют полносвязные слои (не менее одного). Таким образом, последний слой CNN — полносвязный перцептрон.

Для обучения CNN использовали алгоритм обратного распространения ошибки, который относится к методам обучения с учителем.

В алгоритме обучения полносвязных слоев CNN ошибка формируется в полносвязном перцептроне и определяется как разность между выходной реакцией сети (значениями нейронов последнего слоя нейронов)  $y$  и эталоном  $t$ :

$$y_j = y_j - t_j.$$

Далее значения весов и порогов изменяются по формулам:

$$\omega_{ij}(t+1) = \omega_{ij}(t) - \alpha \gamma_j F'(S_j) y_i,$$

$$T_j(t+1) = T_j(t) + \alpha \gamma_j F'(S_j),$$

где  $\alpha$  — скорость обучения сети;  $t$  и  $t+1$  — моменты времени до и после изменения весов и порогов соответственно; индексы  $i$  и  $j$  обозначают нейроны первого и второго слоя нейронов соответственно.

Ошибка для скрытого слоя с индексом  $i$  вычисляется через ошибки следующего за ним слоя с индексом  $j$  следующим образом:

$$\gamma_i = \sum_j \gamma_j F'(S_j) \omega_{ji}.$$

Полносвязные слои обучаются по процедуре обучения Розенблатта, согласно которой значение скорости обучения постоянно в процессе всего времени обучения и принимает значения в промежутке  $(0; 1]$ .

Перед попаданием на сверточный слой или слой пулинга одномерный сигнал преобразовывается в двумерный по той же схеме.

Алгоритм градиентного метода обратного распространения ошибки представлен ниже.

---

*Алгоритм SAG (Stochastic Average Gradient)*

---

*Исходные данные:* выборка  $X^l$ , темп обучения  $h$ , темп забывания  $\lambda$

*Результат:* вектор весов  $w$

1. Инициализировать веса  $\omega_j, j = \overline{1, n}$ .

2. Инициализировать градиенты  $G_i = \nabla F_i(\omega), i = \overline{1, l}$ .

3. Инициализировать оценку функционалу  $\bar{Q} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l F_i(\omega)$ .

4. *Повторять*

выбрать объект  $x_i$  из  $X^l$  случайным образом;

вычислить потерю;  $\delta_i = F_i(\omega)$ ;

вычислить градиент  $G_i = \nabla F_i(\omega)$ ;

сделать градиентный шаг  $\omega = \omega - h \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l G_i$ ;

оценить функционал  $\bar{Q} = \lambda \delta_i + (1 - \lambda) \bar{Q}$ ;

*пока* значение  $\bar{Q}$  и/или веса  $\omega$  не сойдутся.

---

*Схема обучения сверточной нейронной сети.* Вначале необходимо инициализировать веса всех слоев нейросети, задать максимально допустимую

ошибку, подготовить обучающее множество. Затем производится прямое распространение изображения из первой обучающей пары через все слои нейросети, полученный выход нейросети сравнивается с требуемым выходом, и вычисляется ошибка. Если ошибка меньше максимально допустимого значения, то обучение прекращается, иначе происходит обратное распространение ошибки от последнего слоя к первому и вычисление в каждом слое поправки к весам. После этого модифицируются веса нейросети в соответствии с правилом градиентного спуска, и все итерации повторяются для следующей обучающей пары.

### Заключение

Представлено решение задачи оценки гистологических срезов пищевого сырья и продукции в реальном времени, в условиях неопределенности и риска принятия решения с использованием нейросетевых технологий. Показано формирование ситуационного классификатора (разметка цифровых снимков гистологических срезов с подробным описанием) и базы знаний системы. В программной среде Jupyter Notebook и Colaboratory проведено изучение и сравнение влияния нескольких функций активации (ReLU, tanH, eLu, sigmoid, softPlus, softSign) на наборе DataSet. Результаты классификации показали, что при использовании функции активации ReLu сверточная нейронная сеть продемонстрировала адекватную классификацию заданного идентификационного признака. Дальнейшее исследование связано с применением генетических алгоритмов в обучении CNN.

*Статья опубликована в рамках выполнения темы НИР №0585-2019-0007 государственного задания ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН.*

### Список литературы

1. *Computer-aided Diagnosis: The Tipping Point for Digital Pathology*. URL: <https://digitalpathologyassociation.org/blog/computer-aided-diagnosis-the-tipping-point-for-digital-pathology> (дата обращения: 02.04.2022).
2. *Dalmış M. U., Vreemann S., Kooi T. et al.* Fully automated detection of breast cancer in screening MRI using convolutional neural networks // *Journal of Medical Imaging*. 2018. №5 (1). 014502.
3. *Esteva A., Kuprel B., Novoa R. A. et al.* Dermatologist-level classification of skin cancer with deep neural networks // *Nature*. 2017. Vol. 542 (7639). P. 115—118.
4. *Gale W., Oakden-Rayner L., Carneiro G. et al.* Detecting hip fractures with radiologist-level performance using deep neural networks // 2017. arXiv: e-prints, November 2017.
5. *Gulshan V., Peng L., Coram M. et al.* Development and validation of a deep learning algorithm for detection of diabetic retinopathy in retinal fundus photographs // *Jama*. 2016. Vol. 316, №22. P. 2402—2410.
6. *Kim S. J., Moon W. K., Seong M. H. et al.* Computer-aided detection in digital mammography: false-positive marks and their reproducibility in negative mammograms // *Acta Radiol*. 2009. Vol. 50, №9. P. 999—1004.

7. Лисицын А.Б., Пчелкина В.А., Никитина М.А. и др. Микроструктура мяса и мясных продуктов // Свидетельство о регистрации базы данных. 2020. Номер свидетельства RU 2020620238 от 13.01.2020.

8. Никитина М.А. Интеллектуальный анализ микроструктуры мясной системы на основе агентных и нейросетевых технологий // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. V Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием / под ред. А.В. Колесникова. ГИСИС-2020. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2020. С. 318—326.

9. Nikitina M.A. Identifying States of Complex Technological and Biotechnological Systems under Uncertainty Conditions // Codit'2020, Prague, Czech Republic, June 29 — July 2, 2020. Prague, 2020. P. 825—830.

10. Rajpurkar P., Hannun A.Y, Haghpanahi M. et al. Cardiologist-level arrhythmia detection with convolutional neural networks // 2017. arXiv preprint arXiv:1707.01836.

11. Rajpurkar P., Irvin J., Bagul A. et al. MURA: Large Dataset for Abnormality Detection in Musculoskeletal Radiographs // 2018. arXiv:1712.06957v4 22 May 2018.

12. Palazzetti V., Guidi F., Ottaviani L. et al. Analysis of mammographic diagnostic errors in breast clinic // La radiologia medica. 2016. Vol. 121, № 11. P. 828—833.

**М. В. Тарачков<sup>1</sup>, О. В. Толстель<sup>2</sup>, А. Л. Калабин<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> ООО «Интеллектуальная робототехника», Калининград, Россия  
<sup>2</sup> Балтийский федеральный университет им. И. Канта, Калининград, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> mishklgpmi@mail.ru, <sup>2</sup> tolstel.oleg@mail.ru, <sup>3</sup> akalabin@yandex.ru

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫМ РОБОТОМ ДР-1 ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОДГОТОВКИ К УПАКОВКЕ ОХЛАЖДЕННЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ**

### **Введение**

Задача выравнивания упаковок с продукцией, которые перемещаются по конвейерной линии, актуальна для пищевого производства. В целях ее решения используется промышленный робот ДР-1 (производство ООО «Интеллектуальная робототехника», г. Калининград) [1], для которого авторами статьи разработана система управления на базе программной платформы Robot Operating System (ROS). Для ее реализации решаются задачи прямой и обратной кинематики, а также задача детектирования объекта, движущегося по конвейерной линии, в частности коробок с наггетсами. Разработаны человеко-машинный интерфейс и интерфейс для приема-передачи сигналов от стороннего оборудования, расположенного в производственном цеху. Представлены результаты выбора оптимальных программных средств и адаптации известных алгоритмов для используемой в работе ДР-1 совокупности аппаратного обеспечения.

### **1. Постановка задачи для разработки системы управления**

Участок производственной линии по упаковке наггетсов состоит из конвейерной ленты и расположенного над ней промышленного робота ДР-1. Промышленный робот закреплен на раме. К нему прикреплен рабочий орган — вибрационная платформа. Конвейерная линия имеет максимальную скорость движения 0,55 м/с и регулируемую ширину, что позволяет обеспечить перемещение коробок друг за другом по направлению синей стрелки (рис. 1). Характеристики коробок приведены в таблице.

#### **Характеристики коробок**

Параметр	Значение
Длина, м	0,18
Ширина, м	0,13
Высота, м	0,04
Количество наггетсов, шт.	14
Вес, кг	0,3

---

© Тарачков М. В., Толстель О. В., Калабин А. Л., 2022

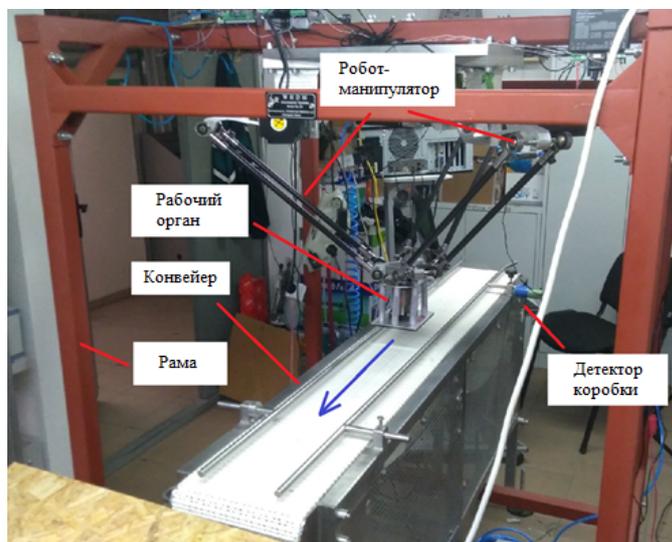


Рис. 1. Общий вид установки по равнению коробок

В качестве детектора использовалась лазерная указка и фотодатчик, закрепленные в начале конвейерной линии от центра робота примерно на расстоянии 0,7 м.

Если коробки нет, фотодатчик устанавливает на выходе дискретный сигнал со значением 0 вольт. Если коробка прерывает луч 3,3 В, то датчик подключается к дискретному входу бортового микроконтроллера робота ДР-1. Для контроля скорости конвейера используется датчик Холла, который срабатывает на каждый оборот электродвигателя конвейерной ленты.

Таким образом, система управления роботом ДР-1 детектирует коробку, проходящую по конвейерной линии; рассчитывает ее положение с течением времени, основываясь на данных датчика скорости; в подходящий момент перемещает рабочий орган, придавливая коробку; сопровождает ее, затем возвращается в исходное положение.

## 2. Система планирования движений

Положение рабочего органа определяется углами поворота рычагов и математически связано с ними через задачи прямой и обратной кинематики, решение которых — основа системы планирования движений [2, с. 28]. Подробно система планирования движений робота ДР-1 описана в [3].

Геометрические свойства робота-манипулятора определяют его элементы: 1) равносторонний треугольник верхнего основания — плита, к которой крепятся электродвигатели робота-манипулятора с геометрическим центром в точке отсчета его системы координат; 2) равносторонний треугольник нижнего основания — место закрепления рабочего органа с геометрическим центром

тром в точке, положение которой необходимо рассчитать или задать (зависит от задачи); 3) рычаг — деталь робота-манипулятора, крепящаяся на вал двигателя; 4) штанга — деталь робота-манипулятора, которая одним концом закреплена на рычаге, а другим — на нижнем основании при помощи шаровых опор, что увеличивает ее подвижность.

Рассмотрим схему робота-манипулятора, а также введем вспомогательные величины для решения задачи прямой и обратной кинематики (рис. 2).

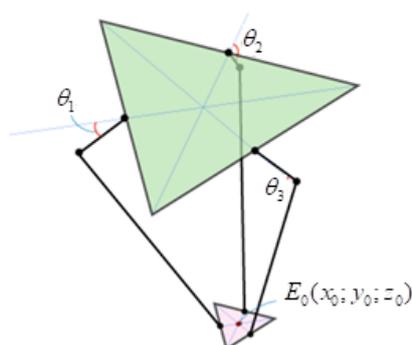


Рис. 2. Схема дельта-робота для задачи прямой и обратной кинематики

Дельта-робот — это два параллельных равносторонних треугольника, скрепленных тремя рычагами. Рычаги, в свою очередь, порождают три угла относительно верхнего основания  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ , которые управляются шарнирами. Их значения — изменяемые величины, влияющие на положение нижнего основания, центр которого — это центр равностороннего треугольника с координатами  $x_0, y_0, z_0$ . Таким образом, если положение нижнего основания с координатами  $x_0, y_0, z_0$  зависит от значений углов при верхнем основании  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ , то  $f(\theta_1, \theta_2, \theta_3) \rightarrow (x_0, y_0, z_0)$  — задача прямой кинематики прототипа, где по заданным углам  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$  при помощи шарниров изменяется положение центра нижнего основания с координатами  $x_0, y_0, z_0$ ;  $f(x_0, y_0, z_0) \rightarrow (\theta_1, \theta_2, \theta_3)$  — задача обратной кинематики прототипа, где по заданному положению объекта в пространстве с координатами  $x_0, y_0, z_0$  вычисляются углы  $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ , которые необходимо зафиксировать, чтобы переместить манипулятор к месту расположения заданного объекта.

### 3. Алгоритм выравнивания коробок

Представленную на рисунке 1 установку для упрощения рассмотрим схематично сбоку (рис. 3, а) и сверху (рис. 3, б). Введем систему координат, центр которой находится в точке  $M_0$ , ось  $Z$  направлена вниз, ось  $X$  составляет угол  $\alpha$  центральной линией конвейера. Ось  $Y$  дополняет правую трой-

ку. Точка  $M_0$  — это геометрический центр робота. Угол  $a$  появляется из-за того, что робот-манипулятор закреплен на раме таким образом, чтобы при движении он не мог ее коснуться. Поэтому центральная ось конвейера не сонаправлена ни с одной из осей системы координат робота. Угол  $a$  постоянен.

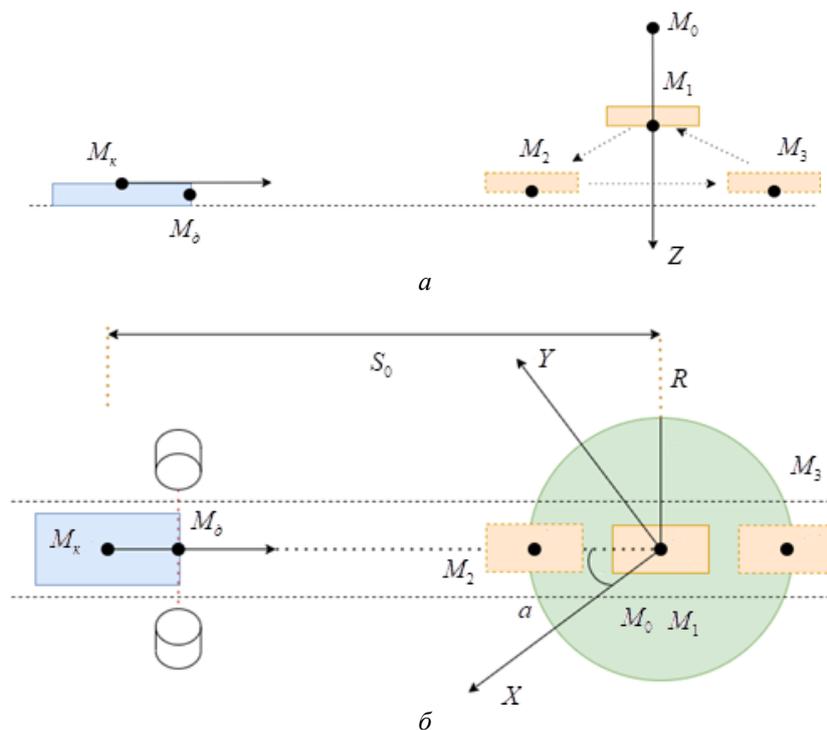


Рис. 3. Схема перемещения рабочего органа робота-манипулятора при выравнивании коробки: вид сбоку (*а*); вид сверху (*б*)

В ходе экспериментов по отладке системы планирования движений робота-манипулятора ДР-1 выяснено, что наибольшую скорость работы можно получить, если задавать траекторию движения при помощи минимального количества точек. Связано это с тем, что робот-манипулятор должен остановиться в заданной точке. Поэтому при выполнении операции выравнивания коробок была использована траектория в форме треугольника (рис. 3, *а*).

На рисунке 3, *а*: синий прямоугольник — коробка, точка  $M_x$  — центр ее верхней грани. Коробка появляется в зоне видимости робота-манипулятора в момент прохождения через детектор (точка  $M_0$ ).  $M_0$  — начало системы координат робота-манипулятора. Точка  $M_1$  — координата центра нижней пластины рабочего органа в положении ожидания. Точка  $M_2$  — координата первого касания нижней пластины робота-манипулятора коробки. В этот момент

робот-манипулятор и пневматический вибратор, размещенный на рабочем органе, воздействуют на коробку и продукцию в ней, что продолжается до точки  $M_3$  (рабочий орган сопровождает коробку), в которой рабочий орган прекращает воздействие и начинает движение в положение ожидания (точка  $M_1$ ). Координаты точек  $M_1, M_2, M_3$  по оси  $Z$  были подобраны опытным путем. От них зависит качество равнения коробок и в то же время сохранность упаковки и полуфабрикатов. В ходе испытаний было замечено, что наиболее эффективным получается выравнивание при установке точек  $M_2$  и  $M_3$  на высоте (координата по оси  $Z$ ) верхней грани коробки. При этом такая высота минимизирует воздействие рабочего органа на коробку. Высота точки  $M_1$  выбирается на несколько сантиметров меньше (ось  $Z$  направлена вниз), чем  $M_2$  и  $M_3$ . Этого достаточно, чтобы при перемещении рабочего органа не зацепить коробку и продукцию в ней.

В момент прохождения коробки через детектор (точка  $M_0$ , момент времени  $t_0$ ) становятся известными координаты центра коробки  $M_k$  (1) и проекция расстояния  $M_k M_0$  на плоскость  $XU$

$$\begin{cases} M_{k_x} = M_{0_x} + l * \cos(a) / 2, \\ M_{k_y} = M_{0_y} + l * \sin(a) / 2, \end{cases} \quad (1)$$

где  $l$  — длина коробки;  $x$  и  $y$  — проекции на соответствующие оси.

Коробка движется к проекции точки  $M_0$  с постоянной скоростью  $v$ , равной скорости конвейера ( $v$  будет иметь отрицательное значение в системе координат робота). Таким образом, можно записать уравнение движения центра коробки в проекциях на оси  $X$  и  $Y$ , принимая, что  $t$  — это текущее время, а  $S_0$  — расстояние, на которое перемещается коробка с момента своего обнаружения до момента размещения под серединой робота:

$$\begin{cases} s_x(t) = s_0 * \cos(a) + v * \cos(a) * (t - t_0), \\ s_y(t) = s_0 * \sin(a) + v * \sin(a) * (t - t_0). \end{cases} \quad (2)$$

Определим на плоскости  $XU$  эффективную рабочую область робота-манипулятора как окружность радиусом  $R$  и центром в точке  $M_0$ :

$$\sqrt{s_x(t)^2 + s_y(t)^2} \leq R. \quad (3)$$

Робот не будет осуществлять равнение, пока коробка не переместится внутрь окружности. Радиус подбирался опытным путем: значение  $R$  уменьшалось от 0,2 м до 0,03 м. Критерии: качество выравнивания (упаковка с нагетсами не выступает за верхний край коробки) и факт того, что робот успеваеt выравнивать все идущие по конвейеру коробки. Большое значение

$R$  избыточно и не позволяет выровнять все коробки. Маленькое значение  $R$ , вырождающееся в надавливание сверху на коробку без ее сопровождения, менее эффективно с точки зрения равнения.

Для отслеживания нескольких коробок рассчитывалось время, за которое одна коробка полностью проезжает по конвейеру мимо детектора коробок:  $\delta = l / v$  (4), где  $l$  — это длина коробки,  $v$  — скорость движения конвейера.

Параметр  $\delta$  позволяет исключить ложные срабатывания детектора при движении одной коробки и в то же время сигнализировать о начале новой коробки, если таковые идут последовательно друг за другом без разделения.

Присваивая каждой коробке порядковый номер  $i$  ( $i = 1, \dots, \infty$ ) и запоминая для каждой  $i$ -й коробки  $t_0$  — время прохода каждой коробки через детектор, можно рассчитать положение коробки в момент времени  $t$ .

#### 4. Реализация программного обеспечения

Общая схема взаимодействия всех компонентов приведена на рисунке 4.

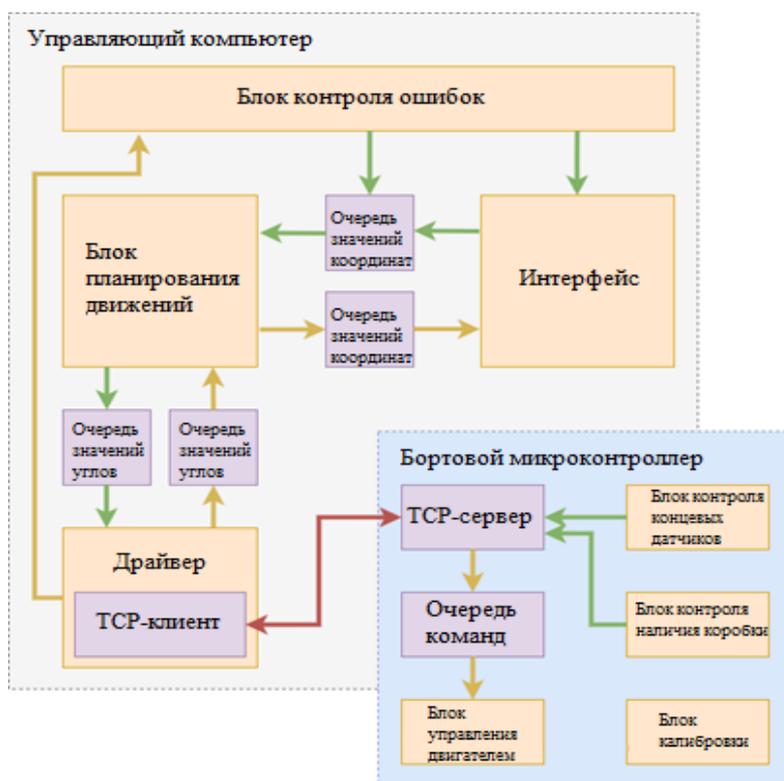


Рис. 4. Схема взаимодействия компонентов программного обеспечения

Программное обеспечение (ПО) системы автоматизации включает две группы — ПО бортового микроконтроллера (БМ) и ПО управляющего компьютера.

Основные функции ПО БМ — обработка команд от управляющего компьютера и передача ему информации о состоянии системы (блок «ТСП сервер»), а также обработка сигналов с концевых датчиков и от детектора коробки; управление драйверами электродвигателей. БМ калибрует робота ДР-1 при запуске системы для его установки в нулевое положение перед началом работы.

Основные функции ПО управляющего компьютера: передача команд бортовому микроконтроллеру и прием от него информации о состоянии системы (блок «ТСП-клиент»); преобразование из углов положения валов электродвигателей в координаты рабочего органа и обратное преобразование; обработка сигнала о наличии коробки; отображение информации о состоянии системы автоматизации в интерфейсе.

Поскольку в небольшой промежуток времени на робот-манипулятор может быть отправлено несколько команд, предусмотрена очередь. Взаимодействие управляющего компьютера и бортового микроконтроллера осуществляется по протоколу ТСП, который гарантирует корректность данных. Программное обеспечение реализовано с использованием фреймворка ROS [4; 5].

#### 4. Интерфейс

Интерфейс пользователя, разработанный для системы и представленный на рисунке 5, позволяет управлять системой в автоматическом и ручном режимах.

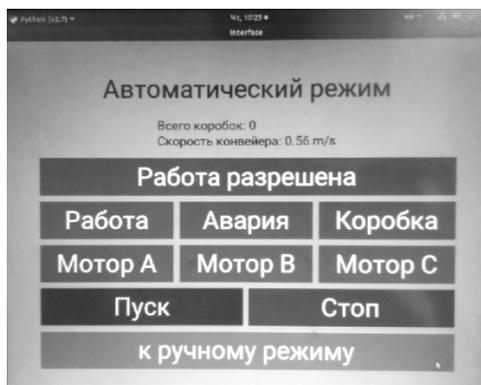


Рис. 5. Интерфейс пользователя

При автоматическом режиме от внешнего оборудования должен быть получен сигнал «Работа разрешена». Режим активируется нажатием кнопки «Пуск» и останавливается нажатием кнопки «Стоп». Здесь отслеживаются ошибки в работе каждого из моторов и фиксируется количество детектированных и обработанных коробок, а также скорость конвейера.

Ручной режим предназначен для проверки функционирования робота, позволяет перемещать рабочий орган в произвольную точку рабочей области с произвольным шагом.

Предусмотрено меню настройки системы, в котором можно задать степень нажатия рабочего органа на коробку и расстояние до детектора коробок, а интерфейс содержит элементы для отправки сигналов «Готов», «Работа», «Авария» внешнему оборудованию, посылающему системе сигнал «Работа разрешена». Данные сигналы реализованы с помощью реле.

### 6. Отладка и испытания

Отладка системы проводилась путем последовательной проверки функционирования датчика скорости конвейера, детектора коробок, робота ДР-1, а затем всего в совокупности. При помощи интерфейса пользователя были установлены необходимые параметры степени нажатия на коробку и расстояния до детектора. Затем по конвейерной ленте была запущена коробка. Особое внимание было уделено последовательно идущим друг за другом коробкам, поскольку в таком случае детектор коробок фиксировал только первую коробку, а последующие коробки определялись системой.

Проведены успешные лабораторные испытания системы в течение 67 часов для тестирования механики робота, корректности работы датчиков и ПО. Выполнено выравнивание около 250 тыс. коробок.

### Заключение

Результаты актуальны для пищевого производства. Разработано программное и аппаратное обеспечение Системы управления промышленным роботом ДР-1, соответствующее промышленным требованиям. Проведена настройка системы. Выполнены успешные непрерывные лабораторные испытания системы в течение 67 часов, что позволило сделать вывод о готовности системы к опытно-промышленной эксплуатации на предприятии.

### Список литературы

1. Тарачков М. В., Каленик А. В. Разработка робота-манипулятора ДР-1 // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. V Всерос. Пospelовской конф. с междунар. участием / под ред. А. В. Колесникова. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2020. С. 482—489.
2. Тывес Л. И. Механизмы робототехники. Концепция развязок в кинематике, динамике и планировании движений. М., 2018.
3. Тарачков М. В., Лебедев Ф. А. Разработка системы планирования движений для робота-манипулятора ДР-1 // Математические методы в технологиях и технике. 2021. № 12. С. 70—75.
4. Joseph L. Mastering ROS for Robotics Programming. Birmingham, 2018.
5. Mahtani A., Sanchez L., Fernandez E., Martinez A. Effective Robotics Programming with ROS. Birmingham, 2016.

**Секция 4**  
**НЕЧЕТКИЕ МОДЕЛИ, ОНТОЛОГИИ,**  
**МЯГКИЕ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ**

---

Руководители секции — проф. И. Б. Фоминых  
проф. С. М. Ковалев

**И. А. Андреев<sup>1</sup>, В. С. Мошкин<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup> Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия  
e-mail: <sup>1</sup>ares-ilya@ya.ru, <sup>2</sup>postforvadim@ya.ru

**ПОСТРОЕНИЕ УНИФИЦИРОВАННОЙ БАЗЫ ЗНАНИЙ  
НА ОСНОВЕ ДАННЫХ ПРОФИЛЕЙ СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЕЙ**

**Введение**

Анализ социальных данных в настоящее время играет значительную роль во многих сферах и определяет необходимость соответствующего инструментария. В основе разработанных решений, использующих социальные сети как инструмент сбора большого количества важной информации, лежат инструменты и технологии для работы с большими данными.

В первую очередь специалисты из исследовательских центров и компаний по всему миру используют данные социальных сетей для моделирования социальных, экономических, политических и других процессов от персонального до государственного уровня с целью разработки механизмов воздействия на эти процессы, поиска необходимых знаний, а также создания аналитических и бизнес-приложений и сервисов.

Реализовано несколько способов получения репрезентативных выборок пользователей социальных сетей. В настоящее время наиболее эффективные методы сбора информации из социальных сетей — метод обхода в ширину [1]; метод «лесного пожара» [2] и метод по Метрополису — Гастингсу [3].

Также существует набор инструментов, обеспечивающих сбор данных с профилей конкретного пользователя, от имени которого запускается приложение. Подобные системы предназначены в первую очередь для анализа вовлеченности, популярности бренда (через рейтинг соответствующего сообщества или профиля пользователя) [6].

---

© Андреев И.А., Мошкин В.С., 2022

Наиболее популярные инструменты анализа социальных медиа — YouScan, первая система для профессионального мониторинга русскоязычных социальных медиа, которая отслеживает упоминания брендов, продуктов, конкурентов в блогах, форумах, социальных сетях; ForsMedia — система для извлечения из социальных сетей структурированной и неструктурированной информации о существующих и потенциальных клиентах; BrandAnalytics — программная система, отслеживающая упоминания бренда в социальных сетях, блогах, форумах, сайтах отзывов, мессенджерах, а также онлайн-СМИ [4]; Feedot и Hootsuite — сервисы, обеспечивающие работу пользователя со своими профилями в различных социальных сетях.

Данные из социальных сетей обладают особенностями, которые необходимо учитывать при проектировании и разработке моделей и программных сервисов: слабая структурированность; большие объемы; структурные различия в форме хранения данных в разных социальных сетях; ограничения доступа со стороны программных механизмов обеспечения безопасности социальной сети, а также со стороны самих пользователей; сложность обработки и анализа данных социальных сетей на естественном языке (ЕЯ) вследствие разговорного стиля представления текстовых данных со стороны пользователей.

Агрегаторы социальных сетей, а также аналогичные программные сервисы хранят информацию, полученную из различных социальных сетей, преимущественно в реляционной базе данных. Реляционная архитектура базы данных — оптимальная в тех случаях, когда характер данных не предполагает наличия разнообразных и многократных связей между объектами [10]. Именно поэтому хранение данных, например, сети Facebook с 1 млрд пользователей и 10 млрд отношений между ними в реляционной базе данных неэффективно при решении задач оптимизации пространства поиска данных.

Графовая же модель базы знаний эффективна при необходимости применения сложных и гибких запросов. В связи с этим задача разработки моделей, алгоритмов и программных инструментов хранения знаний структурно сложной информации из социальных сетей — актуальна.

### **1. Модель унификации данных, извлеченных из социальных сетей**

Одна из главных проблем сбора данных из разных социальных сетей — структурное различие в форме хранения данных. Поэтому определяющая задача — разработка алгоритмов унификации извлеченных данных, адаптированных под особенности представления структурированных и неструктурированных знаний в каждом медиа-ресурсе [12].

Унификация данных из профилей социальных сетей, согласно разработанному подходу, осуществляется в несколько этапов: 1) определение набора социальных сетей, из которых будет извлекаться информация; 2) проектирование и разработка процедур по сбору информации из каждой социальной сети (в соответствии с наличием API, прав доступа и политики доступа к данным);

3) поиск профилей (с профилей одного человека в различных социальных сетях); 4) автоматизированный/автоматический сбор данных из профилей социальных сетей; 5) приведение извлеченных данных к единой модели; 6) представление унифицированных данных в виде предметной онтологии.

Формально модель онтологии профилей социальных сетей выглядит следующим образом:

$$O^{SN} = \{N^{SN}, R^{SN}, F^{SN}\},$$

где  $N^{SN}$  — множество узлов (объектов и классов) онтологии,  $R^{SN}$  — множество отношений онтологии,  $R^{SN} \in N^{SN} \times N^{SN}$ ,  $F^{SN}$  — множество функций интерпретации (аксиом) онтологии; при этом  $N^{SN} = N^B \cup N^{COM} \cup N^{DOM}$ , где  $N^B = \{n_1^B, n_2^B, \dots, n_m^B\}$  — узловые объекты — пользователи социальной сети,  $N^{COM} = \{n_1^{COM}, n_2^{COM}, \dots, n_l^{COM}\}$  — внутренние объекты — сущности социальных сетей,  $N^{DOM} = \{n_1^{DOM}, n_2^{DOM}, \dots, n_k^{DOM}\}$  — объекты материального мира: в/ч, школа, вуз, город, государство, музыкальная группа, книга и пр.).

Трансляция элементов различных социальных сетей в элементы множества  $N^{COM}$  представлена в таблице 1.

Таблица 1

#### Трансляция элементов социальных сетей в объекты онтологической модели

$N^{COM}$	ВКонтакте	Twitter	Instagram	Facebook	Одноклассники
Social Network	URL	URL	URL	URL	URL
Group	Сообщество	—	—	Сообщество	Сообщество
Post	Запись	Твит	Фотография	Запись	Запись
Comment	Комментарий	Комментарий	Комментарий	Комментарий	Комментарий
Attachment	Вложения	Вложения	Тэги, ссылки	Вложения	Вложения

Типы отношений:  $R^{SN} = \bigcup R^{OP} \cup \bigcup R^{DTP} \cup \bigcup R^{CONT}$ , где  $R^{OP} = \{r_1^{OP}, r_2^{OP}, \dots, r_k^{OP}\}$  — Object Properties (hasFriend, hasFollower etc.), то есть отношения между объектами онтологии;  $R^{DTP} = \{r_1^{DTP}, r_2^{DTP}, \dots, r_k^{DTP}\}$  — Data Type Properties, то есть отношения между объектами онтологии и значениями встроенного типа (Boolean, String, Number); примеры отношений предлагаемой модели представлены в таблице 2;  $R^{CONT}$  — Annotation Properties, свойства аннотации для определения контекста.

Таблица 2

Некоторые отношения онтологической модели представления данных социальных сетей

№	Поле профиля	Domain	Отношение	Range
Datatype Properties				
1	Имя	User	hasName	String
2	Фамилия	User	hasLastname	String
3	Дата	User	hasDateOfBirth	Date
	...			
Object Properties				
4	Школа	User	wentToSchool	School
5	Город	User	livesIn	City
6	Аудиозапись	User	hasAudio	Audio
	...			

В рамках предложенной модели было определено два типа контекста:  $R^{CSN}$  — отношение аннотации, в которой отражена социальная сеть, из которой извлечены данные;  $R^T$  — отношение аннотации, в которой отражен временной промежуток, на протяжении которого данное отношение было актуально, при этом  $(\forall r_i \in R^{OP}, R^{DTP}), \exists r_i^{CONT} \in R^{CONT}, r_i^{CONT} = r_i^T, r_i^{CSN}$ .

Схематично учет временного контекста, а также контекста источника данных в рамках предложенной модели приведен на рисунке 1.

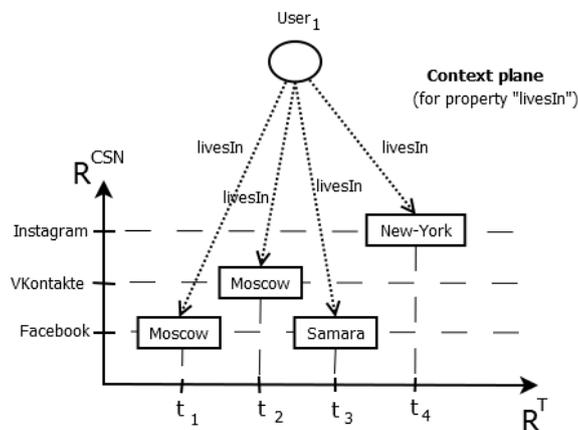


Рис. 1. Временной контекст и контекст источника данных

Благодаря использованию временного контекста соблюдается историчность данных, а благодаря использованию контекстной информации в виде аннотации к отношениям получается избежать избыточности данных при совпадении информации из профилей одного человека в разных социальных сетях (рис. 2).

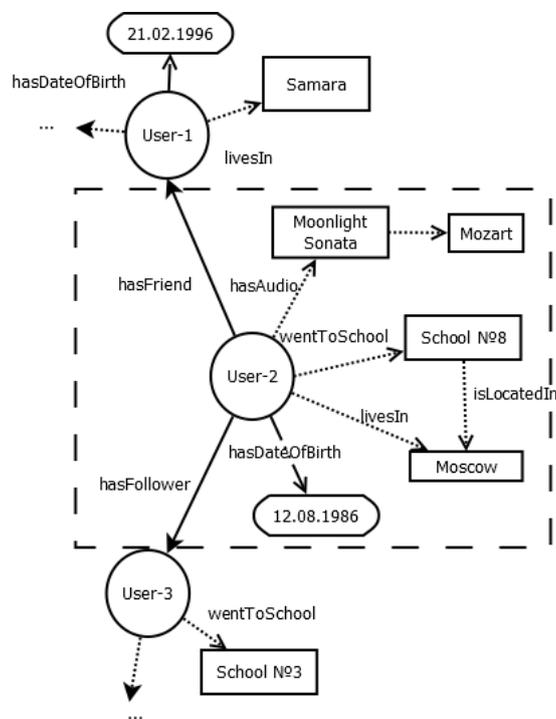


Рис. 2. Иллюстративный пример фрагмента онтологии данных социальных сетей

Выделенные объекты и классы онтологии позволяют хранить данные, загруженные из большинства существующих социальных сетей. Унификация онтологического представления данных способствует эффективности их обработки, анализа и поиска.

Отдельно в процессе извлечения и унификации данных социальных сетей обрабатываются такие текстовые элементы, как посты и комментарии. Для эффективного поиска и анализа этих текстовых ресурсов необходима их семантическая структуризация посредством извлечения семантических деревьев из крупных фрагментов текстов.

## 2. Алгоритм извлечения семантического дерева из текстовых ресурсов социальных сетей

Извлечение семантического графа из текстовых данных социальных сетей упрощает процесс поиска в больших корпусах данных [11]. Отсюда для построения семантического графа предложения конкретного текстового фрагмента необходимо извлечь синтаксический граф из каждого предложения текстового фрагмента; слить синтаксические деревья; транслировать синтаксический граф в онтологию [8].

В настоящее время существует несколько средств синтаксического анализа текстов на ЕЯ. В рамках данного проекта в качестве средства для извлечения синтаксического дерева из текстов на ЕЯ был модифицирован инструментальный проект АОТ [5].

Семантический граф формально можно представить ориентированным графом. Результаты синтаксического анализа — выделение синтаксических групп и фрагментов, которые извлекаются из неструктурированных текстовых ресурсов с помощью синтаксических правил, и построение синтаксического графа. Особенность данного подхода — представление множества синтаксических правил в форме NLP-онтологии, причем синтаксическая группа определяется следующими параметрами: тип синтаксической группы (например, ОДНОР\_ПРИЛ — группа однородных прилагательных); главная синтаксическая подгруппа (например, для типа группы «СУЩ-ЧИСЛ» главная группа — существительное); граммымы синтаксической группы — это морфологические характеристики  $M^{NLP}$  NLP-онтологии  $O^{NLP}$  [7].

Одно правило  $N_i^{NLP}$  NLP-онтологии  $O^{NLP}$  формирует один тип групп. Каждое  $i$ -е правило  $N_i^{NLP}$  NLP-онтологии  $O^{NLP}$  получает на входе множество морфологических признаков.

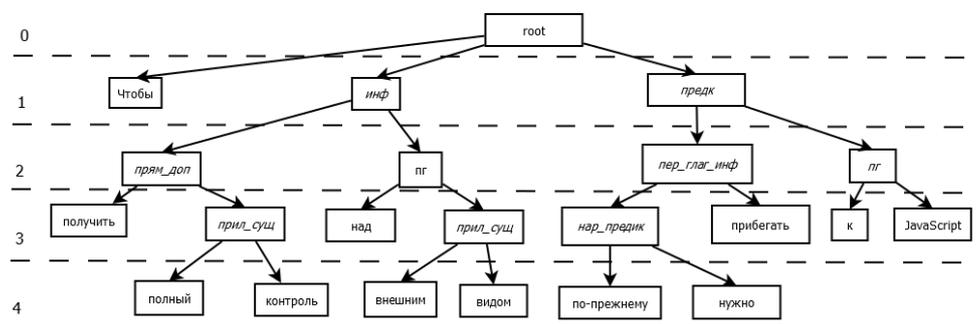


Рис. 3. Иллюстративный пример синтаксического графа

### 3. Эксперименты

В рамках данного исследования проведены эксперименты, подтверждающие эффективность предложенных моделей и алгоритмов в задачах построения единой базы знаний, извлеченных из данных пользователей социальных сетей. Было сформулировано 50 вопросов в свободной форме на ЕЯ, осуществлен поиск ответов в извлеченных данных с использованием двух алгоритмов: 1) алгоритма, разработанного на основе механизма синтагматических паттернов; 2) алгоритма поиска по ключевым словам.

Оба алгоритма в качестве ответов выдают несколько предложений. Каждое из них оценивается экспертно — верно или неверно.

Как следует из результатов экспериментов, эффективность применения стандартного алгоритма с поиском по ключевым словам и алгоритма на основании синтагматических паттернов почти идентична при поиске коротких ответов ( $F_{synt} = 0,8$ ,  $F_{keywords} = 0,87$ ). Это объясняется недостатком контекстной информации, содержащейся в коротком предложении, в связи с чем в качестве синтагматических паттернов из текстовых фрагментов извлекаются однословные термины.

При поиске «длинных» ответов разработанный алгоритм позволил найти больше верных ответов ( $F_{synt} = 0,89$ ,  $F_{keywords} = 0,75$ ) в связи с выделением из предложений более сложных семантических узлов, конкретнее определяющих смысл текстового фрагмента.

### Заключение

Разработаны подходы к унификации базы знаний, формируемой извлечением структурированной и неструктурированной информации из профилей пользователей социальных сетей.

Разработанный подход к поиску информации с использованием синтагматических паттернов при формировании дерева базы постов пользователей социальных сетей показал эффективность в случае поиска длинных ответов на поставленный вопрос.

В дальнейшем планируется внесение нечеткости в структуру базы знаний (с использованием нотации FuzzyOWL [9]) при решении задачи нечеткой интерпретации результатов поиска в базе.

### Список литературы

1. *Najork M., Wiener J.L.* Breadth-first crawling yields high-quality pages // Proceedings of the 10th international conference on World Wide Web. ACM, 2001. P. 114—118.
2. *Leskovec J., Faloutsos C.* Sampling from large graphs // Proceedings of the 12th ACM SIGKDD international conference on Knowledge discovery and data mining. ACM, 2006. P. 631—636.
3. *Gjoka M. et al.* Practical recommendations on crawling online social networks // Selected Areas in Communications. 2011. Т. 29, №9. P. 1872—1892.
4. *BrandAnalytics*. URL: <https://br-analytics.ru> (дата обращения: 15.02.2022).
5. *Леонтьева Н.Н.* О статусе знаний в системах автоматического понимания текста // Компьютерная лингвистика и вычислительные онтологии // Труды XVIII объединенной конференции «Интернет и современное общество» (IMS-2015). 2015. С. 104—115.
6. *Артемов М.А., Владимиров А.Н., Селезнев К.Е.* Обзор систем анализа естественного текста на русском языке // Вестник Воронежского государственного университета. Сер.: Системный анализ и информационные технологии. 2013. №2. С. 189—194.
7. *Боярский К.К., Каневский Е.А.* Семантико-синтаксический парсер SemSin // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. 2015. №5. С. 869—876.

8. Павлыгин Э.Д., Подлобошников А.Г., Савинов Р.А. и др. Разработка программного комплекса для интеллектуального анализа социальных медиа // Автоматизация процессов управления. 2019. №2 (56). С. 23—36. doi: 10.35752/1991-2927-2019-2-56-23-36.

9. Bobillo F., Straccia U. Fuzzy ontology representation using OWL 2 // International Journal of Approximate Reasoning. 2011. Vol. 52. P. 1073—1094.

10. Ting K.M. Precision and Recall // Encyclopedia of Machine Learning / ed. by C. Sammut, G.I. Webb. Boston, 2011. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-30164-8>.

11. Найханова Л.В. Технология создания методов автоматического построения онтологий с применением генетического и автоматного программирования. Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 2008.

12. Yarushkina N., Moshkin V., Filippov A. Development of a knowledge base based on context analysis of external information resources // DS-ITNT 2018: Proceedings of the International conference Information Technology and Nanotechnology. Session Data Science. Samara, 2018. P. 328—337.

**В. В. Борисов**

Филиал НИУ «МЭИ» в г. Смоленске, Россия  
e-mail: vbor67@mail.ru

## НЕЧЕТКИЕ РЕЛЯЦИОННЫЕ КОГНИТИВНЫЕ ТЕМПОРАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ ДЛЯ АНАЛИЗА И МНОГОМЕРНОГО ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОСТОЯНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ И ПРОБЛЕМНЫХ СИТУАЦИЙ

### Введение

Для различных систем и проблемных ситуаций нечеткие когнитивные модели и основанные на них методы предоставляют развитые возможности анализа взаимовлияния системных и внешних факторов, анализа устойчивости, динамического моделирования, прогнозной оценки, сценарного анализа [1—4]. Важная особенность рассматриваемых систем и проблемных ситуаций — взаимозависимость и взаимовлияние системных и внешних факторов с различными временными лагами друг относительно друга в условиях неопределенности и неполноты данных.

В работах для оценивания состояния сложных систем предложено использовать нечеткие реляционные когнитивные модели [2], полностью реализующие нечеткий подход к моделированию слабо структурированных проблемных процессов и ситуаций. Однако применение этих моделей для многомерного прогнозирования состояния систем ограничено их возможностями по учету взаимовлияния концептов с различными временными задержками.

Отмеченную выше специфику учитывают нечеткие продукционные когнитивные темпоральные модели, в которых для прогнозной оценки отдельных параметров формируются соответствующие компонентные нечеткие модели, требующие «персонализированной» структурно-параметрической настройки и обучения, в том числе в процессе моделирования [3]. Однако это далеко не всегда осуществимо вследствие сложности и затратности получения всех требуемых данных.

В статье рассматриваются нечеткие реляционные когнитивные темпоральные модели, сочетающие возможности нечетких реляционных когнитивных моделей и нечетких продукционных когнитивных темпоральных моделей, позволяющие нивелировать указанные выше их ограничения при анализе и многомерном прогнозировании сложных систем и проблемных ситуаций.

### 1. Нечеткие реляционные когнитивные темпоральные модели

Предлагаемые нечеткие реляционные когнитивные темпоральные модели (НРКТМ) представляются следующим образом:

$$FRCTM = \langle C, R \rangle, \quad C = \{c_i \mid i = 1..I\}, \quad R = \{R_i \mid i = 1..I\},$$

$$c_i : \tilde{c}_i(t+1) = \tilde{f}_i\left(\tilde{c}_i(t), \left\{ \tilde{c}_j(t-l), \tilde{r}_{ij}(t-l) \mid l=0..L_j^i, j=1..J^i \right\}\right), \quad i=1..N,$$

$$R_i = \left\{ \tilde{r}_{ij}(t-l) \mid l=0..L_j^i, j=1..J^i \right\},$$

где  $C$  — набор концептов НРКТМ;  $I$  — число концептов;  $R$  — нечеткие отношения взаимовлияния концептов;  $R_i$  — подмножество нечетких отношений влияния концептов, непосредственно воздействующих на концепт  $c_i$ ;  $J^i$  — число концептов, непосредственно воздействующих на концепт  $c_i$ ;  $L_j^i$  — максимальное учитываемое значение временного лага (задержки) при влиянии концепта  $c_j$  на концепт  $c_i$ ;  $\tilde{r}_{ij}(t-l)$  — нечеткое отношение влияния концепта  $c_j$  на концепт  $c_i$  в момент  $(t-l)$ ;  $\tilde{c}_i(t+1)$ ,  $\tilde{c}_i(t)$ ,  $\tilde{c}_j(t-l)$  — нечеткие переменные, определяющие значения концептов  $c_i$  и  $c_j$  в соответствующие моменты времени, с функциями принадлежности  $\mu_{\tilde{c}_i(t+1)}(x_i)$ ,  $\mu_{\tilde{c}_i(t)}(x_i)$  и  $\mu_{\tilde{c}_j(t-l)}(x_j)$ , заданные на базовых множествах ( $x_i \in X_i$  и  $x_j \in X_j$ ).

Влияние между концептами НРКТМ может реализовываться на основе нечетких функций, продукционных или композиционных правил [4; 5].

Применение нечетких композиционных правил при передаче влияния между концептами НРКТМ целесообразно, если в процессе моделирования требуется фиксировать значения концептов, обеспечивать гибкую настройку нечетких отношений влияния между ними, а выполнение задач анализа и многомерного прогнозирования состояния свести к вычислению нечетких зависимостей в векторно-матричном виде.

## 2. Особенности моделирования на основе НРКТМ

При моделировании динамики с использованием НРКТМ целесообразно учитывать как нечеткие значения концептов, так и их приращения [6]. Поэтому для анализа и многомерного прогнозирования состояния сложных систем и проблемных ситуаций с использованием НРКТМ в качестве базовой предлагается следующая модель системной динамики для НРКТМ:

$$\tilde{c}_i(t+1) = \left( \bigoplus_{k=0}^{L_i^i} (\tilde{c}_i(t-k) \circ \tilde{r}_{ii}(t-k)) \right) \oplus \left( \bigoplus_{j=1}^{J^i} \left( \bigoplus_{l=1}^{L_j^i} (\Delta \tilde{c}_j(t-l) \circ \tilde{r}_{ij}(t-l)) \right) \right),$$

где  $\Delta \tilde{c}_j(t-l)$  — нечеткое приращение значения концепта в момент времени;

$\circ$  — нечеткая композиция;  $\oplus$  — операция нечеткого агрегирования.

Нечеткие итерационные вычисления, реализуемые в данном выражении, определяют следующие требования к используемым нечетким операциям: независимость результата операции агрегирования от порядка нечетких входных переменных (свойства коммутативности и ассоциативности); обеспече-

ние аддитивного характера накопления результатов для операций агрегирования и нечеткой композиции. С учетом этих требований предлагается в качестве нечеткого приращения использовать операцию нечеткого вычитания, нечеткую композицию реализовывать на основе векторно-матричных операций нечеткого умножения и сложения, а нечеткое агрегирование — на основе нечеткого сложения.

На рисунке 1 показан пример НРКТМ.

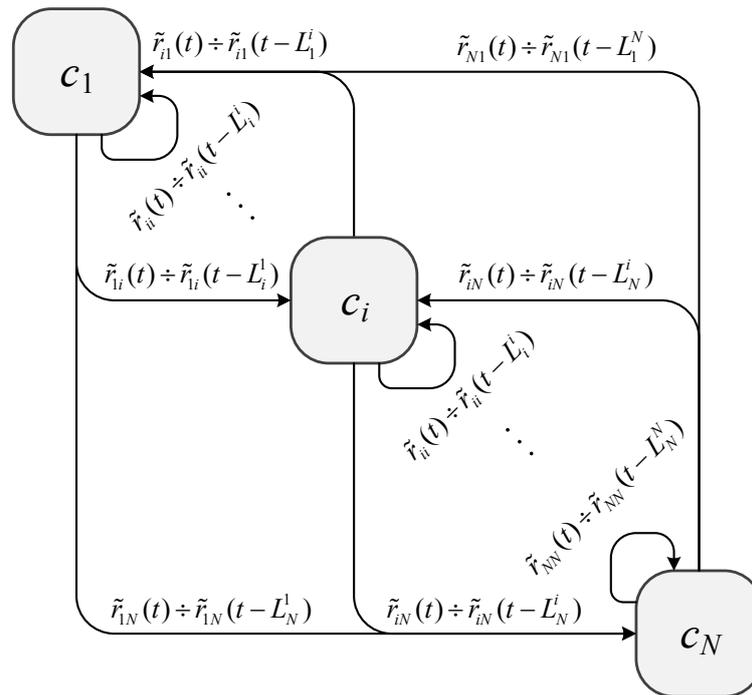


Рис. 1. Пример структуры НРКТМ

Вместе с тем использование для этих задач типовых нечетких операций приводит к проблемам увеличения неопределенности результатов и выхода нечетких значений концептов за базовые диапазоны.

Для решения этих проблем предлагается использовать подход, рассмотренный в работе [7], который основан на введении ограничений на нечеткие операции за счет совместного распределения возможностей взаимодействующих нечетких чисел по их модальным значениям.

### 3. Пример моделирования с использованием НРКТМ

В качестве примера рассмотрим использование НРКТМ для анализа и многомерного прогнозирования состояния неоднородных электромеханических систем (НЭМС).

При построении НРКТМ существенными представляются факторы, влияющие на интенсивность и однородность эксплуатационного старения НЭМС, а также взаимозависимость этих факторов. Вследствие неопределенности эксплуатационных нагрузок, факторов внешней среды и нестабильности питающих напряжений характеристики технического состояния НЭМС имеют неопределенный характер.

Диагностическое обследование базируется на фиксации реакций НЭМС на воздействия импульсных функций по различным осям векторного пространства НЭМС [8]. При этом носителями диагностической информации служат нормированные матрицы Грина, элементы которых в некоторый момент эксплуатации  $t$  представим в виде концептов НРКТМ:  $I_{Am}, I_{Bm}, I_{Cm}, \tilde{c}_3(t)$  — реакции НЭМС на воздействия по трем симметричным осям рабочей области векторного пространства НЭМС;  $i_{Am}, i_{Bm}, i_{Cm}, \tilde{c}_6(t)$  — реакции НЭМС на те же сигналы по оси ортогональной рабочей области НЭМС.

На значения  $I_{Am}, I_{Bm}, I_{Cm}, \tilde{c}_3(t)$  существенное влияние оказывают физическое старение фаз обмоток статора и ротора, повреждение или разрушение соединений между катушками, обрывы фаз, короткие замыкания витков и катушек обмотки как между собой, так и на корпус. На значения  $i_{Am}, i_{Bm}, i_{Cm}, \tilde{c}_6(t)$  существенное влияние оказывает техническое состояние магнитной системы НЭМС, в частности неравномерное старение сердечников, эксцентриситет или эллипсоидность зазора, несовпадение аксиальных осей статора и ротора.

Отклонения элементов этих диагностических матриц Грина носят нечеткий характер из-за неопределенности нагрузки, воздействующих факторов внешней среды и нестабильных питающих напряжений.

По результатам диагностического обследования в процессе эксплуатации НЭМС получены статистические данные, использованные для задания подмножеств нечетких отношений взаимовлияния концептов НРКТМ. Для обработки этих данных применено нечеткое расширение метода множественной линейной регрессии [9]:

$$\tilde{c}_i(t) = \sum_{j=1}^{J^i} \sum_{l=1}^{L_j^i} (\tilde{a}_{ij}(t-l) \tilde{c}_j(t-l) + \tilde{b}_{ij}(t-l)), \quad i=1..I,$$

где  $\tilde{a}_{ij}(t-l)$  — нечеткие регрессионные коэффициенты;  $\tilde{b}_{ij}(t-l)$  — нечеткие свободные члены (как правило, равны 0).

Значения  $\tilde{a}_{ij}(t-l)$  нормированы  $\tilde{a}_{ij}'(t-l)$  в диапазоне  $[0, 1]$ . На их основе определены подмножества  $R_i = \left\{ \tilde{r}_{ij}(t-l) = \tilde{a}_{ij}'(t-l) \mid l=0..L_j^i, j=1..J^i \right\}$  нечет-

ких отношений взаимовлияния концептов НРКТМ. Из их числа исключены отношения, модальные значения которых меньше заданного порога (например, менее 0,2).

На рисунках 2 и 3 проиллюстрированы дефазифицированные результаты моделирования системной динамики НЭМС, полученные с использованием разработанной НРКТМ, позволяющие обосновывать достоверность результатов моделирования. Неравномерное изменение взаимных электрических проводимостей ортогональных фаз и собственных электрических проводимостей фаз свидетельствует о нарастании неоднородности НЭМС вследствие ее эксплуатационного старения.

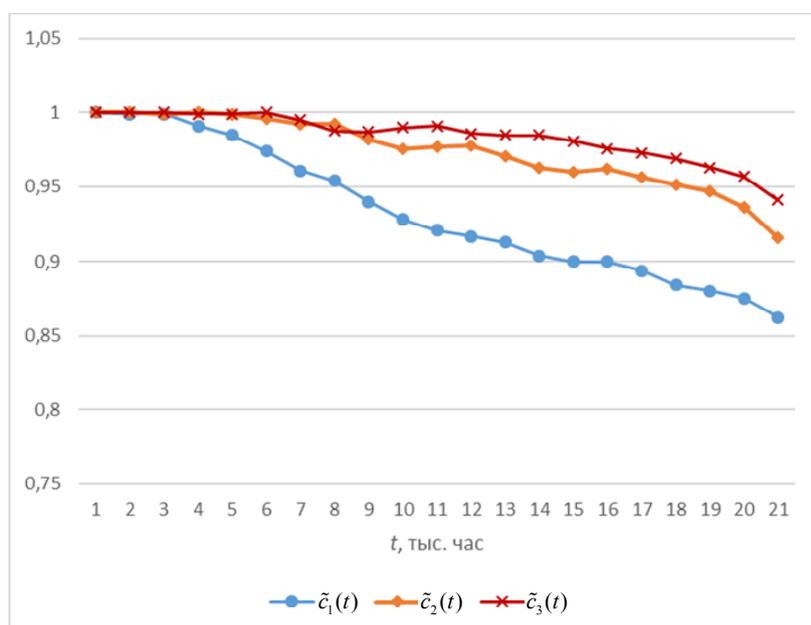


Рис. 2. Изменение собственных электрических проводимостей фаз при эксплуатации НЭМС

Полученные результаты — основа для решения комплекса задач, выполняемых в рамках эксплуатационной диагностики НЭМС, — фиксации и оценки текущего технического состояния; оценки возможности сохранения работоспособности и величины остаточного ресурса; моделирования различных сценариев эксплуатационного поведения НЭМС при вариациях режимов эксплуатации, электрических, механических и тепловых нагрузок, а также условий окружающей среды.

Полученные результаты — также основа для решения задач анализа, прогнозной оценки, моделирования различных сценариев изменения состояния и развития сложных систем и проблемных ситуаций.

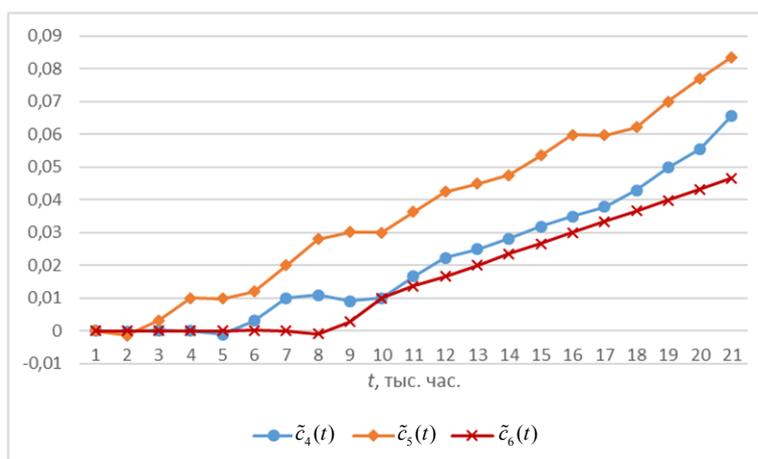


Рис. 3. Изменение взаимных электрических проводимостей ортогональных фаз при эксплуатации НЭМС

### Заключение

Рассмотрены нечеткие реляционные когнитивные темпоральные модели, ориентированные на анализ и многомерное прогнозирование состояния сложных систем и проблемных ситуаций, учитывающие взаимовлияние параметров с различными временными лагами относительно друг друга и необходимость оперативной структурно-параметрической настройки моделей. Реализован метод вычисления нечетких зависимостей для решения проблемы увеличения неопределенности результатов и выхода нечетких значений концептов за диапазоны базовых множеств в ходе моделирования динамики вследствие массовых итерационных нечетких вычислений. Приведен пример моделирования неоднородных электромеханических систем на основе нечетких реляционных когнитивных темпоральных моделей.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (государственное задание №FSWF-2020-0019).*

### Список литературы

1. Averkin A. N., Yarushev S. A. Hybrid approach for time series forecasting based on ANFIS and fuzzy cognitive maps // Proceedings of the 20<sup>th</sup> IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM). N. Y., 2017. P. 379—381. doi: 10.1109/SCM.2017.7970591.
2. Федюлов А. С. Нечеткие реляционные когнитивные карты // Известия РАН. Теория и системы управления. 2005. № 1. С. 120—133.

3. *Borisov V., Luferov V.* Neuro-fuzzy cognitive temporal models for predicting multi-dimensional time series with fuzzy trends // *Computación y Sistemas*. 2020. Vol. 24, №3. P. 1165—1177. doi: 10.13053/CyS-24-3-3477.

4. *Борисов А.Н., Алексеев А.В., Меркурьева Г.В. и др.* Обработка нечеткой информации в системах принятия решений. М. : Радио и связь, 1989.

5. *Pedrycz W.* Fuzzy control and fuzzy systems. N.Y. : John Wiley and Sons, 1993.

6. *Borisov V.V., Fedulov A.S.* Generalized rule-based fuzzy cognitive maps: structure and dynamics model // *International Conference on Neural Information Processing (ICONIP 2004)*. Lecture Notes in Computer Science. 2004. Vol. 3316. P. 918—922. doi: 10.1007/978-3-540-30499-9\_141.

7. *Федулов А.С.* Вид взаимодействия нечетких чисел, ограничивающий возрастание неопределенности при выполнении операций нечеткой арифметики // *Вестник Московского энергетического института*. 2006. №1. С. 101—109.

8. *Курилин С.П., Соколов А.М., Прохимнов Н.Н.* Компьютерная программа для эксплуатационной диагностики электромеханических систем на основе топологического подхода // *Прикладная информатика*. 2021. Т. 16, №4 (94). С. 62—73. doi: 10.37791/2687-0649-2021-16-4-62-73.

9. *Abdalla A., Buckley J.J.* Monte Carlo methods in fuzzy linear regression // *Soft Computing*. 2007. Vol. 11. P. 991—996. doi: 10.1007/s00500-006-0148-5.

Г. П. Виноградов<sup>1, 2</sup>, И. А. Конюхов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Тверской государственный технический университет, Тверь, Россия

<sup>2</sup> НИИ Центрпрограммсистем, Тверь, Россия

e-mail: <sup>1</sup> wgp272ng@mail.ru, <sup>2</sup> konuhov@cps.tver.ru

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ FUZZY SMART MOT WSN

### Введение

Типичная структура WSN (БСС) включает многофункциональные моты (узлы) с малым уровнем энергопотребления, способные к коммуникации друг с другом, и сетевую архитектуру для передачи данных в удаленные компьютерные сети [1]. Сенсорная сеть поддерживает основные интерфейсы и протоколы, применяемые в настоящее время в глобальных и локальных сетях. Это позволяет интегрировать ее в глобальную сеть.

Область применения БСС — это, как правило, неопределенные и плохо формализуемые среды. Зачастую необходимо, чтобы мот сети обладал свойством интеллектуального поведения, был способен на изучение обстановки и принятие решений как самостоятельно (с учетом получаемых от других мотов сети данных), так и в составе группы. Достичь желаемой эффективности подобных комплексов возможно, главным образом, путем совершенствования интеллектуальной составляющей их системы управления в целом и отдельных узлов в частности. Ситуация усугубляется требованиями скрытности, миниатюризации и малого энергопотребления.

### 1. Система управления узлом, использующая паттерны

Жесткие требования в ряде предметных областей ко времени реагирования, объему памяти, быстродействию микрочипа и уровню энергопотребления предполагают использование сравнительно простых алгоритмов. В [2—4] показано, что эти требования можно реализовать, если выявить классы типовых ситуаций и успешные способы действия в реальных условиях для формирования моделей поведения (паттернов).

В [5; 6] дана следующая обобщенная логическая схема описания паттерна:

«Имя паттерна:  
так как [мотивы  $M$ ]  
поскольку [цели  $G$ ]  
если [предусловия  $U'$ ]  
то способ действия  $r_q(t)$   
из-за чего [постусловие  $U''$ ]  
...  
есть альтернатива [ $r_p(t)$ ]» (1)

В этой модели все составляющие, кроме логических связей, могут представлять собой языковые конструкции на естественном или естественно-профессиональном языке.

Формальная модель паттерна поведения в типовой ситуации (ТС) приведена в [6; 7]. Там же показано, что модель предметной области и модель принятия решений человеком в условиях дефицита времени можно формализовать с помощью нечетких продукционных сетей.

Мотивы в модели (1) — это причины, определяемые потребностями и/или обязательствами. Они побуждают агента к активности, в рамках которой потребовался паттерн. Описание мотивов и целей в модели (1) представляет контекст повторного применения паттерна с позиции необходимости и возможности его применения (потребности → мотивы → цели). Контекст определяется «ожидаемыми» постусловиями. Постусловия связаны с целями, затребовавшими паттерн, агент отражает их в форме возможного состояния, к которому приведет применение паттерна. Цели определяют желаемое состояние и могут определять необходимость и полезность стремления к их достижению. Способ действия представляет собой код как естественно-языковое описание схемы действия, реализация которой приводит к выполнению паттерна. Такое описание имеет вид методик, реализованных на языке программирования. Набор моделей, или паттернов поведения, образует опыт или базу знаний его носителя.

Модель индивидуального поведения автономного узла предполагает формирование базы паттернов на основе экспериментального опыта, что позволяет реализовать эволюцию «кооперативного интеллекта» благодаря использованию искусственного когнитивного процесса, аналогичного тому, что имеет место у естественных существ. Отметим, что эта возможность отсутствует в системах на основе знаний, так как в них не реализованы в явной форме механизмы адаптации без знаний.

Общая архитектура интеллектуальной системы управления БСС имеет иерархическую структуру. Верхний уровень, реализуемый оператором, соответствует таким свойствам, как выживание, безопасность, выполнение обязательств согласно миссии, накопление и корректировка базы знаний в виде эффективных паттернов поведения. Объект управления для нее — БСС, рассматриваемая как некоторая функциональная система. Она осуществляет: 1) расчет текущих показателей удельной ценности по результатам и эффективности в момент  $t$  [6]; 2) расчет и реализацию способа действия (поведения) в момент  $t$  согласно заданному паттерну поведения; 3) мониторинг результатов реализации паттерна поведения.

Оператор обрабатывает паттерны поведения в ТС при выполнении миссии и осуществляет анализ выполнения миссии. Узел вычисляет последовательности состояний  $y(t)$ , реализует задачи миссии и рассчитывает оценки удельной ценности и эффективности [6; 7] обработки фактических ситуаций.

Такой подход к моделированию поведения узлов в сети на основе паттернов аналогичен подходу в прагматической эпистемологии, согласно которому знания рассматриваются как множество теорий или моделей (каждая из них — это описание поведения при решении определенного класса задач). Теории, описывающие класс явлений, могут «перекрываться», и возникает проблема выбора способа решения задач в конкретной предметной области. Критерием выбора становится ожидаемая удельная ценность возможного результата [7; 9]. Процесс получения знания в предлагаемой схеме аналогичен процессу биологической эволюции. Следовательно, критерий истинности знания искусственной сущности — «*приспособленность*» знания для решения задач предметной области.

## 2. Модель данных

Реализация этого подхода связана: 1) с правильным соотношением вектора координат ситуации  $(x_i, i = \overline{1, n})$  с тем или иным паттерном как по их количеству, так и по форме предъявления каждой координаты; 2) полнотой описания вектором ситуации (количество учитываемых параметров  $n$ ). Связь конкретного класса и конкретного паттерна устанавливается при работе с лидером — действительным носителем знания. Соответствующая методика изложена в [7; 9]. Поскольку человек описывает ситуацию средствами естественного языка, координаты ситуационного вектора — это лингвистические переменные. Они используются для преобразования количественных шкал, используемых в сенсорах, в лингвистические шкалы, применяемые человеком для описания значений наблюдаемого параметра-понятия терминами.

## 3. База знаний на основе паттернов

Пусть состояние ситуации описывается ситуационным вектором  $x_i, i = \overline{1, n}$ , каждая координата которого — лингвистическая переменная  $x_i$  с множеством термов  $A_i = \{a_i^k, k = \overline{1, K^i}\}$ . Пусть определен набор классов реализаций ситуационного вектора, при котором есть паттерн поведения с успешным разрешением любой ситуации класса (кластера). При этом значения удельной ценности по результату превышают некоторый пороговый уровень. То же самое относится и к удельной ценности по эффективности при реализации паттерна.

Пусть накоплено множество  $d_j, j = \overline{1, p}$  паттернов, каждый из которых связан с множеством кластеров ситуаций, для разрешения которых он был выбран. В соответствии с подходом [7; 9] можно составить матрицу соответствия между кластерами ситуаций и располагаемым множеством паттернов поведения.

Если сгруппировать строки матрицы по паттернам, где каждая строка представляет собой конкретный ситуационный кластер, при котором успешно реализован соответствующий паттерн, то результатом можно получить кластер типовой ситуации. Для него паттерн поведения по структуре будет один и тот же, отличие состоит в значениях параметров.

Как правило, микрочипы узлов имеют операционную систему, подобную Tiny Os. Анализ возможных вариантов построения базы знаний в виде паттернов и их моделирование в среде Tiny Os показали, что наиболее приемлем подход [3; 8], поэтому дальнейшее изложение материала соответствует [3; 8].

Пронумеруем строки блока паттерна  $d_j$  двумя индексами: первый индекс — номер паттерна (он же номер блока); второй индекс — это номер ситуации, входящий в  $j$ -й кластер.

Такая матрица определяет систему логических высказываний вида *Если... То, Иначе...* Например, строка матрицы  $j.1$  — это высказывание

$$\text{Если } x_1 = a_1^{j1} \text{ и } x_2 = a_2^{j2} \text{ и } \dots \text{ и } x_n = a_n^{jn} \text{ То } d_j \quad (2)$$

*Иначе* выражение для следующей строки.

Упорядоченную таким образом систему логических высказываний будем называть нечеткой матрицей знаний, или базой паттернов.

#### 4. Алгоритм вычисления функции принадлежности паттерна

Каждое логическое высказывание типа (2) — это нечеткое отношение соответствующих нечетких множеств. Например, для строки  $j$  это будет

$$a_1^{j1} \times a_2^{j2} \times \dots \times a_n^{jn}.$$

Функция принадлежности нечеткого множества, образованного этим нечетким отношением, будет

$$\mu_{a_1}^{j1}(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_{a_i}^{ji}(x_i) \wedge \dots \wedge \mu_{a_n}^{jn}(x_n).$$

Здесь вычисление этого выражения осуществляется с помощью операции *min*.

Блок логических высказываний, относящийся к паттерну  $d_j$ , представляет собой объединение соответствующих нечетких множеств, образованных строками выделенного блока. Тогда функция принадлежности этого объединения будет определяться

$$\mu_{d_j}(x_i, i = \overline{1, n}) = \mu_i^{jk_j}(x_i),$$

где « $\vee$ » означает операцию *max*, « $\wedge$ » — операцию *min*.

Формально представленный алгоритм определения функции принадлежности паттерна  $d_j$  можно записать в виде:

а) фиксируем произвольную точку  $x_i^*, i = \overline{1, n} \in U_i$ .

б) для каждого блока матрицы знаний, соответствующего  $d_j$ , определим  $\mu_{d_j}(x_i, i = \overline{1, n})$  в этой точке.

Заметим, что для фиксированной точки  $x_i^*, i = \overline{1, n} \in U_i$  блок матрицы является числовым, так как вместо каждого термина  $a_i^{j_s}$  из этого блока поставлено значение его функции принадлежности  $(a_i^{j_s})^*$ , вычисленное в точке  $x_i^*$ . Операция  $\min_i (a_i^{j_s})^*$  производится над числами, стоящими в строках «i»  $\overline{1, n}$  и в столбец «min» заносится минимальное число в соответствующей строке. Операция  $\max_{j_s} \min_i (a_i^{j_s})^*$  определяет в полученном массиве строчных минимумов  $j_s \in \overline{1, K_j}$  наибольшее значение. Проводя такие вычисления для каждой точки универсального множества, получим требуемые значения функции принадлежности.

### 5. Алгоритм выбора паттерна в текущей ситуации

Бортовая интеллектуальная система с помощью своих измерительных средств формирует вектор  $x_i^*, i = \overline{1, n}$  с количественными характеристиками координат. В этой точке, полученной на момент  $t$ , требуется определить значение функции принадлежности паттерна  $d_j(x_i, i = \overline{1, n}), j \in \overline{1, p}$ .

В этом случае функция принадлежности рассчитывается для каждого блока. Наиболее предпочтительный паттерн для разрешения проблемной ситуации — паттерн  $d_j^*$ , вычисленный по правилу

$$d^*(x_i^*, i = \overline{1, n}) = \max_{j \in \overline{1, p}} d_j(x_i, i = \overline{1, n}).$$

Формально представленный алгоритм определения функции принадлежности паттерна  $d_j$  можно записать в виде:

а) фиксируем произвольную точку

$$x_i^*, i = \overline{1, n} \in U_i.$$

б) для каждого блока матрицы знаний, соответствующего  $d_j$ , определим  $\mu_{d_j}(x_i, i = \overline{1, n})$  в этой точке согласно таблице 1 [2; 3].

## Классы ситуаций и паттерны поведения

№	Координаты ситуационного вектора					min	max	$d_j$
	$x_1$	...	$x_i$	...	$x_n$			
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$j_1 \dots$	$(a_1^{j_1})^*$	...	$(a_i^{j_1})^*$	...	$(a_n^{j_1})^*$	$\min_i(a_i^{j_1})^*$	$\max_{j_s} \min_i(a_i^{j_{s_s}})^*$	$\mu_{d_j}$
$j_s \dots$	$(a_1^{j_s})^*$	...	$(a_i^{j_s})^*$	...	$(a_n^{j_s})^*$	$\min_i(a_i^{j_s})^*$		
...	...	...	...	...	...	...		
$j_{K_j} \dots$	$(a_1^{j_{K_j}})^*$	...	$(a_i^{j_{K_j}})^*$	...	$(a_n^{j_{K_j}})^*$	$\min_i(a_i^{j_{K_j}})^*$		
...	...	...	...	...	...	...	...	...

Каждое логическое высказывание — это нечеткое отношение соответствующих нечетких множеств. Например, для строки  $j$

$$a_1^{j_1} \times a_2^{j_2} \times \dots \times a_n^{j_n}.$$

Функция принадлежности нечеткого множества, образованного этим нечетким отношением, —  $\mu_{a_1}^{j_1}(x_1) \wedge \dots \wedge \mu_{a_i}^{j_i}(x_i) \wedge \dots \wedge \mu_{a_n}^{j_n}(x_n)$ . Здесь вычисление этого выражения осуществляется с помощью операции *min*.

Блок логических высказываний, относящийся к паттерну  $d_j$ , — объединение соответствующих нечетких множеств, образованных строками выделенного блока. Тогда функция принадлежности  $\mu_{d_j}(x_i, i = \overline{1, n}) = \mu_i^{j_{K_j}}(x_i)$ , где « $\vee$ » — операция *max*.

Заметим, что для фиксированной точки  $x_i^*, i = \overline{1, n} \in \times_{i=1}^n U_i$  блок матрицы, представленный в таблице 2, — числовой, так как вместо каждого термина  $a_i^{j_s}$  из этого блока поставлено значение его функции принадлежности  $(a_i^{j_s})^*$ , вычисленное в точке  $x_i^*$ . Операция  $\min_i(a_i^{j_s})^*$  производится над числами, стоящими в строках « $i$ »  $\overline{1, n}$  и в столбец «min» заносится минимальное число в соответствующей строке. Операция  $\max_{j_s} \min_i(a_i^{j_s})^*$  определяет в полученном массиве строчных минимумов  $j_s \in \overline{1, K_j}$  наибольшее значение. Проводя такие вычисления для каждой точки универсального множества, получим требуемые значения функции принадлежности.

Таблица 2

## Термы функций принадлежности входных данных

№	Координата ситуационного вектора	Термы
1	Дальность до цели	Очень малая; Малая; Средняя; Большая; Очень Большая
2	Видимость	Нулевая; Малая; Средняя; Большая; Отличная
3	Глубина	Минимальная; Малая; Средняя; Большая; Максимальная
4	Скорость	Минимальная; Малая; Средняя; Большая; Максимальная
5	Запас хода	Почти нет; Малый; Средний; Достаточный; Максимальный
6	Состояние АНПА	Авария; Пока движется; Без критичных повреждений; Хорошее; Очень хорошее
7	Видимость противником	Очень Низкая; Низкая; Средняя; Высокая; Очень хорошая
8	Метеорологические условия	Очень плохие; Плохие; Нормальные; Хорошие; Отличные
9	Возможность атаки	Почти нет; Слабая; Средняя; Высокая; Очень высокая

Описанный подход реализован в форме программного продукта для TinyOS. Он написан на языке программирования nesC — диалекте C как набор взаимодействующих задач и процессов. Его дополнительные инструменты представлены в форме Java-приложений и интерфейсов для shell-скриптов. TinyOS — это управляемая событиями ОС. Она содержит встроенные интерфейсы, модули и специфические настройки, которые позволяют создавать программу как набор модулей, реализующих заданные функциональности. Модули TinyOS обеспечивают интерфейс к стандартным аппаратным средствам ввода, вывода и датчикам. Код TinyOS статически связан с кодом программы и компилируется в исполняемый файл при помощи традиционного инструментария GNU toolchain. Сопутствующие утилиты предоставляют полноценную платформу для разработки под TinyOS.

## 6. Пример использования программной реализации алгоритма вывода по паттерну

Решается проблема тактики поведения узла — автономного необитаемого аппарата (АНПА) на основании следующих данных. Входная информация:

а) *ситуационный вектор*  $x_i, i = \overline{1,10}$ . Дальность до цели; Видимость; Глубина; Скорость; Запас хода; Состояние АНПА; Видимость противником; Метеорологические условия; Возможность атаки;

б) *термы*. Для каждой координаты ситуационного вектора определены термы (табл. 2);

в) *функции принадлежности*. В качестве функций принадлежности выбраны треугольные и трапециевидные функции принадлежности координат ситуационного вектора;

г) *паттерны*: Залечь на дно; Вернуться на базу; Продолжать, но быть готовым вернуться; Продолжать, соблюдая осторожность; Продолжать выполнять задание в штатном режиме и т. п.

#### Заключение

На основе подходов нечетких рассуждений представлен алгоритм оперативного вывода по выбору паттерна поведения в ситуации, соответствующей типовой ситуации. Он ориентирован как на автономное его использование, так и на встраивание его в бортовую интеллектуальную систему. Рассмотрены принципы работы БСС, определены модели индивидуального поведения автономного узла БСС. Предложены алгоритмы паттернов автономного интеллектуального устройства в составе БСС для решения следующих задач: 1) динамического определения структуры сети в зависимости от текущего ее состояния; 2) оперативного определения текущих координат узлов; 3) определения местоположения узлов кластера с учетом топологии сети; 4) установки узла в режим обнаружения сигнатур; 5) определения при появлении сигнатур их типа путем сверки с базой паттернов, определения направления движения и местоположения; 6) принятия решения о необходимости отслеживания или игнорирования сигнатуры; 7) связи с другими узлами для выработки согласованных действий.

#### Список литературы

1. Акулдиз И. Ф. Беспроводные сенсорные сети: обзор. URL: <http://www.science-direct.com/science/article/pii/S1389128601003024> (дата обращения: 09.01.2021).
2. Федунов Б. Е., Прохоров М. Д. Вывод по прецеденту в базах знаний бортовых интеллектуальных систем // Искусственный интеллект и принятие решений. 2010. № 3. С. 63—72.
3. Федунов Б. Е. Механизмы вывода в базе знаний бортовых оперативно-советующих экспертных систем // Известия РАН. Теория и системы управления. 2002. № 4. С. 42—52.
4. Виноградов Г. П., Прохоров А. А., Шепелев Г. А. Паттерны в системах управления автономными системами // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2020. № 1 (17). С. 40—54. doi: 10.38028/ESI.2020.17.1.003.
5. Соснин П. И. Моделирование рассуждений : конспект лекций. Ульяновск : УлГТУ, 2000.
6. Виноградов Г. П. Паттерны в автономных системах при выполнении миссий // VIII Международная научно-практическая конференция «Нечеткие системы, мягкие вычисления и интеллектуальные технологии» НСМВИТ-2020 (29 июня — 1 июля 2020 г., г. Смоленск, Россия) : тр. конф. : в 2 т. Смоленск : Универсум, 2020. Т 2. С. 69—82.
7. Vinogradov G. P. Pattern control system // Software Journal: Theory and Applications. 2020. № 2. P. 10—19.
8. Федунов Б. Е. Бортовые интеллектуальные системы тактического уровня для антропоцентрических объектов (примеры для пилотируемых летательных аппаратов). М. : Де Либри, 2018.
9. Виноградов Г. П., Емцев А. С., Федотов И. С. Беспроводные сенсорные сети в защищаемых зонах // Известия Южного федерального университета. Сер.: Технические науки. 2021. № 1. С. 19—30.

**А. Е. Городецкий<sup>1</sup>, И. Л. Тарасова<sup>2</sup>**

*<sup>1, 2</sup> Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> g27764@yandex.ru, <sup>2</sup> g17265@yandex.ru*

## **ЛОГИКО-ЛИНГВИСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ РИСКОВ ПРИ ВЫБОРЕ ОПТИМАЛЬНОГО МАРШРУТА ДВИЖЕНИЯ**

### **Введение**

Формирование оптимальных законов управления движением беспилотных транспортных средств (БТС) на основе анализа сенсорных данных об окружении выбора является неотъемлемой частью процесса формирования систем их интеллектуального управления. Плохопредсказуемая изменчивость среды функционирования БТС и несовершенство средств измерений уменьшают возможность получения исчерпывающей информации о состоянии окружающей среды. Это приводит к ситуации, когда принятие решения о маршруте движения с минимальным временем движения и степенью риска аварии производится в условиях неполной определенности. Один из эффективных путей решения данной проблемы — использование логико-вероятностных и логико-лингвистических моделей и алгоритмов.

Разработка новых методов оптимизации маршрута движения БТС с учетом оценки риска аварии возможна на основе логико-лингвистической классификации участков движения путем создания строк параметров и характеристик участков движения БТС и сопоставления их с логико-вероятностными и логико-лингвистическими параметрами и характеристиками эталонных участков маршрутов движения с учетом их значимости при принятии решения.

### **2. Методы оценок рисков**

При управлении БТС необходимо учитывать возможность их столкновений с препятствиями и друг с другом во время движения. Для этого БТС должны обладать способностями обеспечения живучести, подобными инстинктам человека, но не чересчур сильными. Иначе БТС будут слишком медлительными, что отрицательно скажется на эффективности их действий. Поэтому при управлении БТС надо использовать алгоритмы оптимального баланса между скоростью на маршруте движения и безопасностью. Для реализации таких алгоритмов необходимо разработать методы оценок рисков аварий при движении по анализируемому маршруту. Кроме того, при решении задачи управления группой БТС надо учитывать дополнительные сложности, связанные с необходимостью обеспечения координации между роботами, каждый из которых должен удовлетворять своим кинематическим уравнениям, а также существующим фазовым ограничениям, включая динамические ограничения, обеспечивающие отсутствие столкновений между роботами.

Оценки рисков носят прогнозный характер, так как их неопределенность связана с влиянием множества факторов, которые не поддаются точным математическим описаниям. Из-за неопределенности прогнозируемых рисков возникают ситуации, снижающие вероятность успешного безаварийного движения БТС по маршруту. Обычно выделяют качественные и количественные методы оценки риска [1—3].

При качественном подходе определяются виды рисков аварий на рассматриваемом маршруте, а также области возникновения и источники возможных рисков [4]. Он может служить основой для получения количественных оценок рисков.

При количественном подходе определяется численное значение отдельных рисков как на отрезках маршрута, так и на маршруте в целом [5; 6]. При этом используются методы теории вероятности, статистики, исследования операций, обычно дополняющие друг друга.

Среди качественных методов оценки риска отметим следующие: анализ возможных аварийных ситуаций; метод аналогий и метод экспертных оценок. Субъективная природа таких оценок демпфируется хорошо разработанной организацией всех этапов экспертизы и применением количественных методов в организации экспертизы и оценке суждений экспертов путем обработки результатов их мнений.

Среди количественных методов выделяются следующие: статистический анализ; анализ чувствительности; анализ проверки устойчивости и анализ сценариев и имитационное моделирование.

Для получения приемлемого результата экспертных оценок применяется сложная процедура организации экспертных оценок [7] начиная с выбора количества и квалификации экспертов. Результаты многоэтапной процедуры обрабатываются методами статистики и качественного анализа. Для полного анализа рисков применяются варианты на основе регрессионного и корреляционного анализа, а для детализации и анализа структурно-сложных маршрутов — методы логико-вероятностного подхода [8]. В сценарном анализе используется метод дерева решений — это сетевые графики, каждая ветвь которых — вероятностные варианты развития или состояния проекта [9].

Указанные методы учитывают различные характеристики сложности и ответственности управления на маршруте движения БТС. При прогнозировании рисков с учетом ограниченности статистических данных целесообразно создание базы эталонных участков маршрута движения, содержащих качественные атрибуты участков и их экспертные количественные оценки в виде значений функций принадлежности указанных атрибутов и значений коэффициентов их значимости, как это предлагается в логико-лингвистической классификации. Тогда при сценарном подходе, использующем методы теории нечетких множеств для вычисления значений функций принадлежности, возможна ранжировка совокупности сценариев реализации маршрута путем сопоставления его с эталонными маршрутами из базы данных [10]. При этом для оценки эффективности и устойчивости сценариев используется имитаци-

онное компьютерное моделирование, генерирующее сотни возможных комбинаций атрибутов участков маршрута и значений их функций принадлежности с учетом их вероятностного распределения [11; 12]. По результатам моделирования можно получить вероятностное распределение возможных результатов движения по различным маршрутам, дать интегральную оценку эффективности управления и степени интеллекта БТС [13].

### 3. Обобщенное описание задачи оптимизации маршрутов движения с учетом рисков аварии

При решении задачи поиска лучших сочетаний законов управления движением БТС требуется найти такое управление  $U_i(t_k)$ , которое обеспечивало бы минимизацию функционала:

$$J_i = k_T T_i + k_R R_i, \quad (1)$$

где  $T_i = t_{if} - t_{i0}$  — время перевода  $a_i$  БТС, размещенного в момент времени  $t_0$  в точке  $s_i$  окружающего ограниченного пространства  $L^3 \subset E^3$ , ( $E^3$  — трехмерное Эвклидово пространство), в целевую точку  $f_i$  этого пространства к моменту времени  $t_f$ ,  $k_T$  — коэффициент значимости скорости достижения цели, устанавливаемые экспертом или группой экспертов;  $R_i$  — оценка риска аварии  $a_i$  БТС при движении по маршруту за время  $T_i$ ,  $k_R$  — коэффициент оценки риска аварии, устанавливаемые экспертом или группой экспертов.

С учетом имеющихся логико-вероятностных и логико-лингвистических и других ограничений для вычисления  $J(R_v) = k_T T_i$  на маршруте  $R_v$  движения БТС вычисляется значение функционала [14]:

$$J(R_v) = k_T \left( \sum_{(i,j)} a(L_{ij} / V_{ij}) + \sum_{(i,j)} b(\Psi_{ij} / W_{ij}) + \sum_{(i,j)} (c\tau_{ij}) \right) \quad (2)$$

где  $a, b, c$  — коэффициенты предпочтения;  $v_{ij}$  — линейная и  $w_{ij}$  — угловая скорости движения, связанные с окружающей средой, например влажностью  $h_i$  и температурой  $\delta_j$ .

Как показано в [14], значения  $(i, j)$  — это элемент упорядоченного множества, характеризующий рассматриваемый маршрут движения от начальной точки к конечной.

После вычисления значений функционала (2) для всех возможных маршрутов движения БТС из точки  $s_i$  в точку  $f_i$  они могут быть ранжированы по времени прибытия в точку  $f_i$ . Однако наиболее быстрый маршрут может оказаться и наиболее аварийно опасным. Поэтому следующим шагом в поиске оптимального маршрута движения должно быть ранжирование маршрутов  $M_v$  по вероятности аварии  $P_i(M_v)$ .

По вычисленным значениям маршруты ранжируются с учетом того, что в (2)  $(i, j)$  — это элемент упорядоченного множества, характеризующий маршрут движения от начальной точки к конечной. Например, для маршрута движения  $M_1$  из узла 1 к узлу 2, затем из узла 2 к узлу 4 и, наконец, из узла 4 к узлу 8 в (2) суммирование идет по  $(i, j) \in \{(1, 2)\}$ , где  $(i, j) \in \{(1, 2); (2, 4); (4, 8)\}$  (рис.).

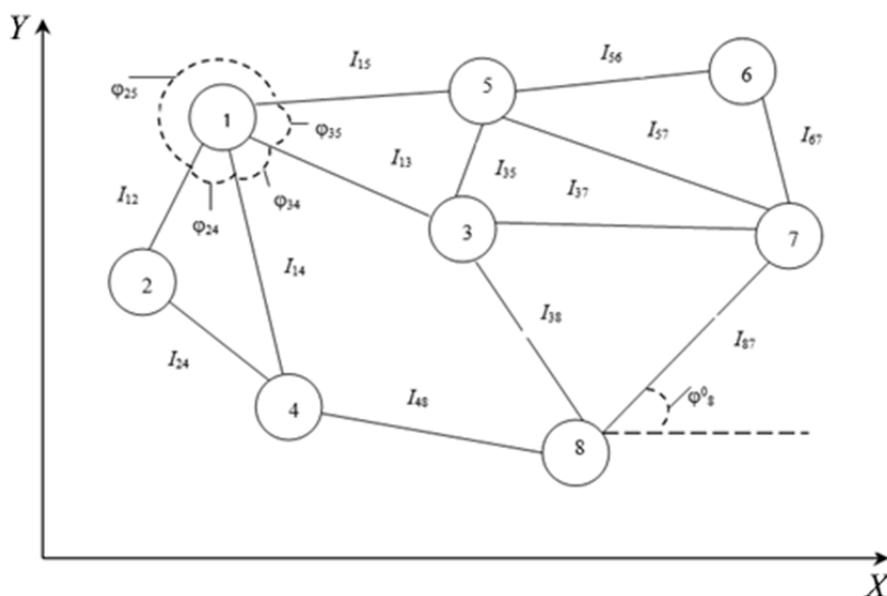


Рис. Фрагмент карты местности

#### 4. Определение рисков аварии на маршруте движения

Определение оценок рисков аварии на маршруте движения БТС в связи с большой неопределенностью параметров движения осуществляется методом анализа сценариев и имитационного компьютерного моделирования с использованием количественных оценок параметров маршрутов — значений функций принадлежности указанных атрибутов и значений коэффициентов их значимости, а также логико-лингвистических алгоритмов классификации изображений [11] с высокой скоростью и эффективностью.

При этом каждый анализируемый маршрут  $M_v$  разбивается на  $ij$ -е участки движения между перекрестками (рис. 1) и на перекрестках. Для каждого  $ij$ -го участка формируется строка параметров (атрибутов), содержащая все возможные атрибуты из базы эталонных атрибутов. Затем в соответствии со строками атрибутов участков создаются строки функций принадлежности значений

атрибутов участков, взятые из логико-лингвистических ограничений, характеризующих участки и/или с помощью фаззификации значений параметров участков маршрутов.

Кроме того, формируется база эталонов участков всевозможных маршрутов в виде эталонных строк. Например, ниже приведены эталонные строки для перекрестков по направлению проезда перекрестка.

$$\begin{aligned}
 \Pi_1 &= /1000000000/ - \text{вид} \dashv \text{ с проездом направо. Степень риска } D_{\Pi_1} = 2, \\
 \Pi_2 &= /0100000000/ - \text{вид} \dashv \text{ с проездом налево. Степень риска } D_{\Pi_2} = 5, \\
 \Pi_3 &= /0010000000/ - \text{вид} \top \text{ с проездом прямо. Степень риска } D_{\Pi_3} = 3, \\
 \Pi_4 &= /0001000000/ - \text{вид} \top \text{ с проездом направо. Степень риска } D_{\Pi_4} = 1,3, \\
 \Pi_5 &= /0000100000/ - \text{вид} \perp \text{ с проездом прямо. Степень риска } D_{\Pi_5} = 4, \\
 \Pi_6 &= /0000010000/ - \text{вид} \perp \text{ с проездом налево. Степень риска } D_{\Pi_6} = 7, \\
 \Pi_7 &= /0000001000/ - \text{вид} \vdash \text{ с проездом прямо. Степень риска } D_{\Pi_7} = 8, \\
 \Pi_8 &= /0000000100/ \text{вид} \vdash \text{ с проездом направо. Степень риска } D_{\Pi_8} = 6, \\
 \Pi_9 &= /00000000100/ \text{вид} \vdash \text{ с проездом налево. Степень риска } D_{\Pi_9} = 9, \\
 \Pi_{10} &= /00000000010/ \text{вид} \lfloor \text{ с проездом налево. Степень риска } D_{\Pi_{10}} = 1,1; \\
 \Pi_{11} &= /00000000001/ \text{вид} \lfloor \text{ с проездом направо. Степень риска } D_{\Pi_{11}} = 1.
 \end{aligned}$$

Ниже приведены эталонные строки для перекрестков для углов поворота.

$$\begin{aligned}
 B_1 &= /100000000/ - -180^\circ \text{ Степень риска } D_{B_1} = 3,5 \text{ (налево)}, \\
 B_2 &= /010000000/ - -135^\circ \text{ Степень риска } D_{B_2} = 4 \text{ (налево)}, \\
 B_3 &= /001000000/ - -90^\circ \text{ Степень риска } D_{B_3} = 4,5 \text{ (налево)}, \\
 B_4 &= /000100000/ - -45^\circ \text{ Степень риска } D_{B_4} = 5 \text{ (налево)}, \\
 B_5 &= /0000100/ - -0^\circ \text{ Степень риска } D_{B_5} = 1 \text{ (прямо)}, \\
 B_6 &= /000001000/ - +45^\circ \text{ Степень риска } D_{B_6} = 3 \text{ (направо)}, \\
 B_7 &= /000000100/ - +90^\circ \text{ Степень риска } D_{B_7} = 2,5 \text{ (направо)}, \\
 B_8 &= /000000010/ - +135^\circ \text{ Степень риска } D_{B_8} = 2 \text{ (направо)}, \\
 B_9 &= /000000001/ - +180^\circ \text{ Степень риска } D_{B_9} = 1,5 \text{ (направо)}.
 \end{aligned}$$

Ниже приведены эталонные строки для перекрестков для угловых скоростей.

$$\begin{aligned}
 W_1 &= /1000/ - 2 \text{ гр./с Степень риска } D_{W_1} = 1, \\
 W_2 &= /0100/ - 4 \text{ гр./с Степень риска } D_{W_2} = 2, \\
 W_3 &= /0010/ - 6 \text{ гр./с Степень риска } D_{W_3} = 3, \\
 W_4 &= /0001/ - 8 \text{ гр./с Степень риска } D_{W_4} = 4.
 \end{aligned}$$

Ниже приведены эталонные строки для перекрестков по числу полос движения.

$$\begin{aligned} S_1 &= /1000/ - 1 \text{ Степень риска } D_{S1} = 1, \\ S_2 &= /0100/ - 2 \text{ Степень риска } D_{S2} = 2, \\ S_3 &= /0010/ - 3 \text{ Степень риска } D_{S3} = 3, \\ S_4 &= /0001/ - 4 \text{ Степень риска } D_{S4} = 4. \end{aligned}$$

Например, ниже приведена база данных эталонных строк для участков движения между перекрестками для скоростей движения.

$$\begin{aligned} V_1 &= /1000/ - 5 \text{ м/с Степень риска } D_{V1} = 1, \\ V_2 &= /0100/ - 10 \text{ м/с Степень риска } D_{V2} = 2, \\ V_3 &= /0010/ - 15 \text{ м/с Степень риска } D_{V3} = 3, \\ V_4 &= /0001/ - 20 \text{ м/с Степень риска } D_{V4} = 4. \end{aligned}$$

Ниже приведена база данных эталонных строк для участков движения между перекрестками по числу полос движения.

$$\begin{aligned} S_1 &= /1000/ - 1 \text{ Степень риска } D_{S1} = 1, \\ S_2 &= /0100/ - 2 \text{ Степень риска } D_{S2} = 2, \\ S_3 &= /0010/ - 3 \text{ Степень риска } D_{S3} = 3, \\ S_4 &= /0001/ - 4 \text{ Степень риска } D_{S4} = 4. \end{aligned}$$

Ниже приведена база данных эталонных строк для участков движения между перекрестками для различного времени суток.

$$\begin{aligned} T_1 &= /10000/ - \text{от 0 до 6 часов Степень риска } D_{T1} = 1, \\ T_2 &= /01000/ - \text{от 6 до 10 часов Степень риска } D_{T2} = 3, \\ T_3 &= /00100/ - \text{от 10 до 15 часов Степень риска } D_{T3} = 5, \\ T_4 &= /00010/ - \text{от 15 до 20 часов Степень риска } D_{T4} = 4, \\ T_5 &= /00001/ - \text{от 20 до 24 часов Степень риска } D_{T5} = 2. \end{aligned}$$

Ниже приведена база данных эталонных строк для участков движения между перекрестками для участков с различной длиной.

$$\begin{aligned} L_1 &= /10000/ - \text{очень короткая 200 м Степень риска } D_{L1} = 1, \\ L_2 &= /01000/ - \text{короткая 400 м Степень риска } D_{L2} = 2, \\ L_3 &= /00100/ - \text{средняя 600 м Степень риска } D_{L3} = 3, \\ L_4 &= /00010/ - \text{большая 800 м Степень риска } D_{L4} = 4, \\ L_5 &= /00001/ - \text{большая 1000 м Степень риска } D_{L5} = 5. \end{aligned}$$

Рассмотрим многоэтапную процедуру оптимизации маршрутов движения с учетом рисков аварии.

*Этап 1.* Алгоритм определения степени риска аварии на перекрестках анализируемого маршрута:

1.1. Выбирается первый перекресток на маршруте движения.

1.1.1. Определяются степени риска аварии на типе анализируемого перекрестка.

Формируются строки значений функций принадлежности для типа анализируемого перекрестка; для рассматриваемого примера строки  $\langle \mu_{П1} \mu_{П2} \mu_{П3} \mu_{П4} \mu_{П5} \mu_{П6} \mu_{П7} \mu_{П8} \mu_{П9} \rangle$ , где  $\mu_{П1} \mu_{П2} \mu_{П3} \mu_{П4} \mu_{П5} \mu_{П6} \mu_{П7} \mu_{П8} \mu_{П9}$  — значения функции принадлежности анализируемого объекта к перекрестку типа  $П_1, П_2, П_3, П_4, П_5, П_6, П_7, П_8$  или  $П_9$  соответственно; тип анализируемого перекрестка определяется точно и только тогда, когда одно из всех значений функций принадлежности будет равно единице, а остальные — нулю.

\* Вычисляются поочередно суммы квадратов разности между элементами строки анализируемого перекрестка и элементами строк эталонов типов перекрестков  $П_1, \dots, П_9$ .

\*\* Определяется минимальная из вычисленных сумм.

\*\*\* Присвоение и запоминание для анализируемого перекрестка степени риска  $D_{ПА}$ , соответствующей тому эталонному типу перекрестка, для которого получена минимальная сумма.

1.1.2. Определяются степени риска аварии на углу поворота анализируемого перекрестка.

Формирование строки значений функции принадлежности для углов анализируемого перекрестка; для рассматриваемого примера строки  $\langle \mu_{В1} \mu_{В2} \mu_{В3} \mu_{В4} \mu_{В5} \rangle$ , где  $\mu_{В1} \mu_{В2} \mu_{В3} \mu_{В4} \mu_{В5}$  — значения функции принадлежности значений угла на анализируемом перекрестке для углов соответственно  $В_1, В_2, В_3, В_4, В_5$ , которые получают путем фаззификации значения угла на анализируемом перекрестке, взятого из систем измерения БПС или полученного от оператора. При этом только два из всех значений функций принадлежности будут не равны нулю, а остальные — равны нулю.

Выполнение операций, аналогичных пунктам \*—\*\*\*, и получение и запоминание степени риска  $D_{ВА}$ .

1.1.3. Определяются степени риска аварии на анализируемом перекрестке при повороте с угловой скоростью движения.

Формирование строки значений функции принадлежности для угловых скоростей движения на анализируемом перекрестке; для рассматриваемого примера строки  $\langle \mu_{W1} \mu_{W2} \mu_{W3} \mu_{W4} \rangle$ , где  $\mu_{W1} \mu_{W2} \mu_{W3} \mu_{W4}$  — значения функции принадлежности значений угловой скорости движения на анализируемом перекрестке для скоростей  $W_1, W_2, W_3, W_4$  соответственно, получаемые фаззификацией значения угловой скорости движения на анализируемом перекрестке,

взятого из систем измерения БПС или полученного от оператора; при этом только два из всех значений функций принадлежности будут не равны нулю, а остальные — равны нулю.

Выполнение операций, аналогичных пунктам \*—\*\*\*, и получение и запоминание степени риска  $D_{WA}$ .

1.1.4. Определяются степени риска аварии на анализируемом перекрестке при текущем числе полос движения.

Формирование строки значений функции принадлежности для числа полос движения на анализируемом перекрестке. Для рассматриваемого примера строки  $/\mu_{S1}\mu_{S2}\mu_{S3}\mu_{S4}/$ , где  $\mu_{S1}\mu_{S2}\mu_{S3}\mu_{S4}$  — значения функции принадлежности значений числа полос движения на анализируемом перекрестке для числа полос  $S_1, S_2, S_3, S_4$  соответственно, которые получают фазификацией значения числа полос движения на анализируемом перекрестке, взятого из систем измерения БПС или полученного от оператора; при этом только два из этих значений не будут равны нулю; число полос анализируемого перекрестка определяется точно и только тогда, когда одно из всех значений функций принадлежности будет равно единице, а остальные нулю.

Выполнение операций, аналогичных пунктам \*—\*\*\*, получение и запоминание степени риска  $D_{SA}$ .

1.1.5. Вычисляются и запоминаются степени риска аварии на перекрестке. Если при проезде перекрестка наступают события  $\Pi_i$  и  $B_j$  и  $W_q$  и  $S_g$ , которым соответствуют степени риска аварии  $D_{\Pi_i}$  и  $D_{B_j}$  и  $D_{W_q}$  и  $D_{S_g}$ , то формула вычисления риска аварии на перекрестке следующая:

$$D_i = (D_{\Pi_i} + D_{B_j} + D_{W_q} + D_{S_g}) / (D_{\Pi_{max}} + D_{B_{max}} + D_{W_{max}} + D_{S_{max}}), \quad (4)$$

где  $D_{\Pi_{max}} = \max\{D_{\Pi1}, D_{\Pi2}, D_{\Pi3}, D_{\Pi4}, D_{\Pi5}, D_{\Pi6}, D_{\Pi7}, D_{\Pi8}, D_{\Pi9}\}$ ,

$$D_{B_{max}} = \max\{D_{B1}, D_{B2}, D_{B3}, D_{B4}, D_{B5}\},$$

$$D_{W_{max}} = \max\{D_{W1}, D_{W2}, D_{W3}, D_{W4}\},$$

$$D_{S_{max}} = \max\{D_{S1}, D_{S2}, D_{S3}, D_{S4}\};$$

в этом случае риск аварии на перекрестке лежит в пределах от нуля до единицы, что удобно при сравнении рисков проездов различных перекрестков.

1.2. Выбираются второй и последующие перекрестки на маршруте движения и производится определение степени и вероятности риска на каждом из перекрестков маршрута аналогично пунктам 1.1.1—1.1.5 алгоритма, пока не будут исчерпаны все перекрестки на анализируемом маршруте.

1.3. Вычисление и запоминание степени риска аварии на всех перекрестках маршрута движения производится по формуле:

$$D_N = (1/N) \sum_{i=1}^N (D_i), \quad (5)$$

где  $N$  — число перекрестков на маршруте движения.

*Этап 2.* Алгоритм определения степени риска на участках между перекрестками анализируемого маршрута: алгоритмы классификации участков маршрута между перекрестками аналогичны алгоритмам классификации перекрестков, а также формулы вычисления степени риска аварии  $D_L$ , где  $L$  — число участков между перекрестками, аналогичны тем, что и ранее для перекрестков.

*Этап 3.* Алгоритм определения степени риска на всем анализируемом маршруте: вычисление степени риска на всех анализируемых  $M_v$  маршрутах по формуле:

$$D_R(M_v) = D_N(M_v) + D_L(M_v). \quad (6)$$

### 5. Выбор оптимального маршрута движения с учетом рисков аварии

Используется следующий алгоритм:

- 1) Определяем все возможные  $M_v$  маршруты движения;
- 2) После анализа логико-вероятностных и логико-лингвистических ограничений, приведенных в [14], для всех маршрутов определяем  $P_{ij}, B_{ij}, S_{ij}, L_{ij}, T_{ij}, V_{ij}, W_{ij}$ ;
- 3) С использованием (3) вычисляем для каждого  $M_v$  маршрута  $\min(k_T J_T(M_v))$  и  $\max(k_T J_T(M_v))$ , предварительно выбрав  $k_T$ ;
- 4) Для каждого маршрута  $M_v$  классифицируем перекрестки и участки между ними с определением  $D_{ij}, D_N$  и  $D_L$ , используя (4) и (5);
- 5) Для каждого маршрута  $M_v$  вычисляем  $D_R(M_v)$ , используя (6);
- 6) Выбрав значения коэффициента  $k_R$ , вычисляем для каждого маршрута  $M_v$  значения функционалов:

$$\min J_v = \min\{\min\{k_T J_T(M_v)\} + \min\{k_R D_R(M_v)\}\}, \quad (7)$$

$$\max J_v = \max\{\max\{k_T J_T(M_v)\} + \max\{k_R D_R(M_v)\}\}; \quad (8)$$

- 7) Выбираем тот маршрут движения, которому соответствует минимум функционала (7), (8) или (11) в зависимости от предпочтения эксперта. Также возможен выбор по минимальному среднему значению

$$J_v = 1/2(\max J_v + \min J_v).$$

### 6. Пример выбора оптимального маршрута движения БТС

Требуется найти оптимальный маршрут движения по городу от перекрестка (узла) 1 к узлу 8 (рис.) при ограничениях: число полос движения на

всех маршрутах  $S_{ij} = 1$ , время суток  $T$  с 6 ч до 10 ч, время задержки на всех перекрестках  $\tau_{ij} = 10$  с,  $k_T = 0,01c^{-1}$ ,  $k_R = 1$ ,  $l_{12} = 500$  м,  $l_{15} = 700$  м,  $l_{14} = 900$  м,  $l_{13} = 700$  м,  $l_{24} = 400$  м,  $l_{48} = 900$  м,  $l_{37} = 900$  м,  $l_{38} = 700$  м,  $l_{35} = 200$  м,  $l_{56} = 700$  м,  $l_{57} = 900$  м,  $l_{67} = 400$  м,  $l_{78} = 900$  м,  $B_{124} = -60^\circ$ ,  $B_{248} = -30^\circ$ ,  $B_{148} = -60^\circ$ ,  $B_{138} = 30^\circ$ ,  $B_{378} = -145^\circ$ ,  $B_{156} = 0^\circ$ ,  $B_{157} = -45^\circ$ ,  $B_{153} = 120^\circ$ ,  $B_{567} = 90^\circ$ ,  $B_{538} = -60^\circ$ ,  $B_{578} = -110^\circ$ ,  $B_{137} = -30^\circ$ ,  $B_{678} = 45^\circ$ .

Кроме того, на всех маршрутах действуют следующие логико-вероятностные и логико-лингвистические ограничения:

$$h_1 \otimes t_1 \rightarrow v_1 \otimes w_1; P(h_1 = 1) = 0,8; \mu(t_1) = 0,9; P(v_1 = 1) = 0,8; m(w_1) = 0,8,$$

где  $h_1$  — логическая переменная «сухо», которой соответствует влажность от нуля до 40%;  $t_1$  — логическая переменная «жарко», которой соответствует температура от 20 до 40°C;  $v_1$  — логическая переменная «быстро», которой соответствует скорость от 40 до 60 км/ч;  $w_1$  — логическая переменная «резко», которой соответствует угловая скорость от 4 до 8 гр/с.

В [10] логико-вероятностные и логико-лингвистические ограничения были переведены в логико-интервальные и в результате получены следующие значения линейных скоростей на участках между перекрестками  $minV = 12,7$  м/с,  $maxV = 15,1$  м/с и угловых скоростей на перекрестках  $minW = 5,6$  гр/с,  $maxW = 6,4$  гр/с. Там же получены для всех выделенных семи маршрутов максимальные и минимальные значения функционалов  $J_T(M_v)$ :

$$\text{для маршрута } M_1(1-2-4-8): J_{min} = 163,23 \text{ с, } J_{max} = 198,66 \text{ с;}$$

$$\text{для маршрута } M_2(1-4-8): J_{min} = 138,57 \text{ с, } J_{max} = 178,59 \text{ с;}$$

$$\text{для маршрута } M_3(1-3-8): J_{min} = 117,41 \text{ с, } J_{max} = 137,77 \text{ с;}$$

$$\text{для маршрута } M_4(1-5-3-8): J_{min} = 168,77 \text{ с, } J_{max} = 223,55 \text{ с;}$$

$$\text{для маршрута } M_5(1-3-7-8): J_{min} = 219,0 \text{ с, } J_{max} = 272,65 \text{ с;}$$

$$\text{для маршрута } M_6(1-5-7-8): J_{min} = 221,68 \text{ с, } J_{max} = 277,68 \text{ с;}$$

$$\text{для маршрута } M_7(1-5-6-7-8): J_{min} = 241,46 \text{ с, } J_{max} = 296,35 \text{ с.}$$

Для всех маршрутов движения БТС определены риски аварий. Для этого по каждому анализируемому маршруту движения составлены списки входящих в них перекрестков. Для каждого из выявленных перекрестков определены примерные значения их параметров, соответствующих атрибутам эталонных строк, и путем фазификации этих значений — значения функций принадлежности к атрибутам соответствующих эталонных строк. Проведена

классификация анализируемых строк для перекрестков с присвоением степеней рисков аварий, соответствующих выявленным эталонам и далее вычислены степени риска аварий на всех перекрестках и суммарная степень риска аварий на перекрестках по всему маршруту. Затем для каждого анализируемого маршрута движения составлен перечень участков движения между перекрестками. Для каждого из выявленных участков между перекрестками определены примерные значения их параметров, соответствующих атрибутам эталонных строк, и путем фазсификации этих значений — значения функций принадлежности к атрибутам соответствующих эталонных строк. Далее проведена классификация анализируемых строк для перекрестков с присвоением степеней рисков аварий, соответствующих выявленным эталонам, и вычислены степени рисков аварий на всех участках между перекрестками и суммарная степень риска аварии на участках между перекрестками по всему маршруту.

Далее вычисляются степени рисков аварии на всех анализируемых маршрутах и выбирается значение коэффициента  $k_R$ . Для ранжировки маршрутов  $R_v$  по каждому маршруту вычисляются по два значения функционалов:

$$\min J_v = \{ \min\{k_T J_T(R_v)\} + \min\{k_R D_R(R_v)\} \},$$

$$\max J_v = \{ \max\{k_T J_T(R_v)\} + \max\{k_R D_R(R_v)\} \} .$$

В результате получены степени риска аварии и на всех маршрутах:

$$D_R(M_1) = 0,98; \quad D_R(M_2) = 1,28; \quad D_R(M_3) = 1,17; \quad D_R(M_4) = 1,22;$$

$$D_R(M_5) = 1,35; \quad D_R(M_6) = 1,43; \quad D_R(M_7) = 1,13$$

Тогда значения функционалов, определяющих оптимальный маршрут, будут следующими:

$$\min J_1 = 0,01 \times 163,23 + 0,98 = 2,61; \quad \max J_1 = 0,01 \times 198,66 + 0,98 = 2,97,$$

$$\min J_2 = 0,01 \times 138,57 + 1,28 = 2,67; \quad \max J_2 = 0,01 \times 178,59 + 1,28 = 3,07,$$

$$* \min J_3 = 0,01 \times 117,41 + 1,17 = 2,34; \quad \max J_3 = 0,01 \times 137,77 + 1,17 = 2,55,$$

$$\min J_4 = 0,01 \times 168,77 + 1,22 = 2,91; \quad \max J_4 = 0,01 \times 223,55 + 1,22 = 3,45,$$

$$\min J_5 = 0,01 \times 219 + 1,35 = 3,54; \quad \max J_5 = 0,01 \times 272,65 + 1,35 = 4,08,$$

$$\min J_6 = 0,01 \times 221,68 + 1,43 = 3,65; \quad \max J_6 = 0,01 \times 277,68 + 1,43 = 4,21,$$

$$\min J_7 = 0,01 \times 241,46 + 1,13 = 3,54; \quad \max J_7 = 0,01 \times 296,35 + 1,13 = 4,09.$$

Таким образом, оптимальным будет маршрут  $M_3$ , выделенный \*.

### Заключение

На базе предложенных логико-вероятностных и логико-лингвистических методов оценки рисков аварий, полученных после обработки сенсорных и статистических данных, сформирована шкала степеней рисков аварии и по-

лучены функционал и метод его минимизации для повышения точности и скорости выбора оптимального маршрута движения БТС.

Результаты исследований могут быть использованы в «центральной нервной системе» интеллектуальных роботов для классификации участков маршрутов движения путем сравнения с эталонами, полученными на основе анализа сенсорных и статистических данных и экспертных оценок степеней рисков аварии. Эти результаты обеспечат повышение качества управления движением в условиях неопределенности окружающей среды.

### Список литературы

1. Москвин В. А. Риски инвестиционных проектов. М. : ИНФРА-М, 2016.
2. Решетняк Е. И. Методы оценки инвестиционных рисков в бизнес-планировании // Бизнесинформ. 2017. № 12. С. 189—194.
3. Попова А. Ю. Оценка риска инвестиционного проекта. // Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2006. № 19. С. 1—26.
4. Кулик Ю. А., Волович В. Н., Привалов Н. Г., Козловский А. Н. Классификация и качественная оценка рисков инновационных проектов // Записки Горного института. 2012. Т. 197. С. 124—125.
5. Ведмедь И. Ю. Анализ количественных методов оценки рисков инвестиционных проектов // Вероятностные математические модели экономических процессов : сб. тр. XII конф. «Российские регионы в фокусе перемен». Екатеринбург, 2017. С. 52—61.
6. Королькова Е. М. Риск-менеджмент: управление проектными рисками. Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2013.
7. Миркин Б. Г. Проблема группового выбора. М. : Наука, 1974.
8. Соложенцев Е. Д. Управление риском и эффективностью в экономике: логико-вероятностный подход. СПб. : Изд-во СПбГУ, 2009.
9. Волков И. М., Грачева М. В. Проектный анализ. М., 1998.
10. Gorodetskiy A. E., Tarasova I. L., Kurbanov V. G. Classification of Images in Decision Making in the Central Nervous System of SEMS // Smart Electromechanical Systems. Behavioral Decision Making (Studies in Systems, Decision and Control, 352) / ed. by A. E. Gorodetskiy, I. L. Tarasova. Springer, 2021. P. 187—196. doi: <http://doi.org/10.1007/978-3-030-68172-2-15>.
11. Городецкий А. Е., Курбанов В. Г., Тарасова И. Л. Патент РФ №2756778 «Способ классификации изображений». 2021.
12. Городецкий А. Е., Тарасова И. Л. Нечеткое математическое моделирование плохо формализуемых процессов и систем. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2010.
13. Городецкий А. Е., Тарасова И. Л., Курбанов В. Г. Оценка интеллекта группы БТС по результатам тестирования // VI Всероссийский научно-практический семинар Беспилотные транспортные средства с элементами искусственного интеллекта БТС ИИ 2021. Москва, 16—19 ноября 2021. С. 37—46.
14. Gorodetskiy A. E., Tarasova I. L., Kurbanov V. G. Reduction of Logical-Probabilistic and Logical-Linguistic Constraints to Interval Constraints in the Synthesis of Optimal SEMS // Smart Electromechanical Systems. Group Interaction (Studies in Systems, Decision and Control, 174) / ed. by A. E. Gorodetskiy, I. L. Tarasova. Springer, 2019. P. 77—90. doi: [10.1007/978-3-319-99759-9\\_7](http://doi.org/10.1007/978-3-319-99759-9_7).

**А. И. Долгий<sup>1</sup>, С. М. Ковалев<sup>2</sup>, А. Е. Колоденкова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> АО «НИИАС», Москва, Россия

<sup>2</sup> Ростовский филиал АО «НИИАС», Ростов-на-Дону, Россия

<sup>3</sup> Самарский государственный технический университет, Самара, Россия

e-mail: <sup>1</sup>adolgy@list.ru, <sup>2</sup>ksm@rfniias.ru, <sup>3</sup>anna82\_42@mail.ru

## **ИНТЕРПРЕТИРУЕМОСТЬ И ДИЗАЙН НЕЧЕТКИХ ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫХ СИСТЕМ**

### **Введение**

В настоящей статье предлагается новый многоцелевой подход к дизайну нечетких систем (НС), ориентированный на повышение их интерпретационных свойств. В рамках этого подхода рассматриваются различные аспекты интерпретируемости НС, среди которых в качестве основных выделяются два аспекта: первый (количественный) отражает сложность описания НС и ее отдельных компонент, второй (семантический) связан со свойствами функции принадлежности (ФП), характером нечетких разбиений, операциями и операторами нечеткой логики.

### **1. Основные определения**

Не претендуя на полноту обзора, приведем некоторые определения и наиболее значимые результаты, связанные с интерпретируемостью НС.

Одно из первых неформальных определений интерпретируемости было дано Р. Михальски в виде так называемого постулата понятности [1]: результатами компьютерной индукции должны быть символические описания сущностей, семантически и структурно схожие с результатами, которые может дать эксперт-человек, наблюдающий эти сущности. Компоненты таких описаний воспринимаются как цельные «фрагменты» информации, количественные и качественные концепты которой непосредственно интерпретируются на естественном языке.

Эта формулировка породила в дальнейшем несколько десятков неформальных определений интерпретируемости, в том числе два наиболее коротких: интерпретируемость — способность нечеткой модели отражать работу системы в понятной для человека манере; прозрачность работы нечеткой модели для пользователя.

В качестве рабочего варианта будем использовать еще одно неформальное определение интерпретируемости, которое было положено в основу разработки подхода: способность НС понятным образом описывать свое поведение и результаты работы различным группам пользователей.

Отметим, что дать строгое формализованное определение интерпретируемости НС — непростая задача, так как она связана с анализом отношения между двумя гетерогенными объектами — хорошо формализуемой моделью проектируемой системы и когнитивной моделью человека-пользователя, трудно формализуемой на любом уровне ее представления.

Поскольку теория отношений между такими сложными гетерогенными объектами не построена, то специалисты пошли по пути введения так называемых индексов интерпретируемости, характеризующих отдельные свойства НС и ее компонент, относящиеся к различным аспектам интерпретируемости. В результате было предложено большое количество (около полусотни) различных индексов интерпретируемости, которые отражают сложность описания нечеткой модели. Однако универсальный общепринятый показатель интерпретируемости до сих пор не найден. Более того, существующие индексы интерпретируемости затрагивают, как правило, количественный аспект этой проблемы, связанный со сложностью описания нечеткой модели и ее составляющих [2—4].

## 2. Семантический подход к интерпретируемости

В основу разрабатываемого подхода положено неформальное определение интерпретируемости, отражающее свойство понятности НС [5].

Как отмечено выше, формализация понятия интерпретируемости связана с необходимостью анализа отношения между двумя сложными гетерогенными объектами (рис.). Слева на рисунке представлена формализуемая модель НС и трудно формализуемая когнитивная модель человека-пользователя, справа — отношение между двумя уровнями знаний НС.



Рис. Отношение между гетерогенными объектами

Несложно заметить определенный морфизм между этими отношениями, условно показанный на рисунке двунаправленной стрелкой между двумя рас-

смаатриваемыми парами объектов. Он дает возможность свести задачу формализации отношения между гетерогенными объектами к формализации и анализу отношения между уровнями модели знаний НС.

Эти отношения должны удовлетворять ряду требований, одно из которых положено в основу семантического критерия интерпретируемости. Это требование выражается «принципом множественности форм представления одной и той же семантической информации нижнего уровня НС лингвистическими средствами верхнего уровня». Данный принцип означает, что одно и то же семантическое событие (факт или сценарий), представленное на нижнем уровне нечеткими множествами, может быть бесконечным множеством вариантов (представлены на верхнем лингвистическом уровне). Эти варианты представления одной и той же семантики зависят от предпочтений пользователя и могут быть получены путем тождественных преобразований ее БЗ на основе правил и законов пропозициональных логик. Естественно, чтобы эти представления не были контринтуитивными, необходимо, чтобы к ним были применимы законы логики.

### 3. Многоцелевой дизайн нечетких систем

Главное достоинство многоцелевых эволюционных методов дизайна НС (*MOEAs*) — их способность работать с наборами потенциальных решений, оптимальных в разных контекстах, получая тем самым возможность исследования мультимодальной среды. Многоцелевые алгоритмы эволюционной оптимизации *MOEAs* базируются на принципах Парето-оптимизации и методах эволюционного моделирования.

В рамках задачи многоцелевой оптимизации потенциальное решение представлено в виде вектора  $x = (x_1, x_2, \dots, x_m)$  в пространстве параметров  $\mathbf{X} = (X_1 \times X_2 \times \dots \times X_m)$ . Оптимизационная задача заключается в минимизации функции  $F : \mathbf{X} \rightarrow \mathbf{Y}$ , которая оценивает качество каждого частного решения  $x$  путем назначения ему целевого вектора  $y = (f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x))$  в многокритериальном целевом пространстве  $\mathbf{Y} = (Y_1 \times Y_2 \times \dots \times Y_n)$ . Считается, что вектор решения  $a \in \mathbf{X}$  доминирует над вектором решения  $b \in \mathbf{X}$  (обозначается  $a < b$ ), если:

$$\begin{aligned} \forall i = 1, 2, \dots, n \quad f_i(a) &\leq f_i(b); \\ \exists j = 1, 2, \dots, n \quad f_j(a) &< f_j(b). \end{aligned}$$

Вектор решения называется Парето-оптимальным, если он не доминируем в указанном выше смысле никаким другим частным решением во всем пространстве параметров  $\mathbf{X}$ . Набор Парето-оптимальных решений в пространстве решений обозначается как набор Парето, а его изображение в целевом пространстве называется Парето-фронтом.

Оптимизация *MOEFs* включает два основных этапа — селекцию нечетких правил и тюнинг ФП. В рамках разрабатываемого подхода кодирование правил и параметров осуществляется в единой хромосоме, обеспечивая тем самым синергию процессов селекции и тюнинга.

Каждая хромосома связана с 3-*D* целевым вектором, элементы которого выражают степень выполнения основных целей проектирования: минимизация ошибки (среднеквадратичное отклонение *MSE*); минимизация сложности (индекс количества правил *NR*); максимизация семантической интерпретируемости (индекс *SI*).

Значение среднеквадратичной ошибки отклонения *MSE* в *MOEA* декодируется из соответствующей хромосомы и определяется следующим образом:

$$MSE_{/2} = (1 / 2) |D| \sum_{l=1}^{|D|} (F(x^l) - y^l)^2,$$

где *D* — тестовое множество данных; *F*(*x*<sup>*l*</sup>) — выход нечеткой системы на *l*-м входном примере; *y*<sup>*l*</sup> — известный желаемый выход из тестового множества.

Индекс сложности *NR<sub>g</sub>* нечеткой системы выражается через среднее геометрическое между общим числом правил БЗ и усредненной длиной отдельного нечеткого правила:

$$NR_g = \frac{\sum_{i=1}^m A(r_i)}{m} / A_{\max},$$

где *A*(*r<sub>i</sub>*) — число переменных в *i*-м правиле; *m* — число правил; *A<sub>max</sub>* — определенная пользователем максимальная длина правила.

Семантическая интерпретируемость НС будет обеспечена в случае использования унимодальных ФП:

$$\forall A \in L, x[x_0^A, x_k^A], \sum_{a \in A} \mu_a(x) = 1,$$

где *L* — множество лингвистических переменных (ЛП) нечеткой системы; *a* — нечеткий терм ЛП *A*; [*x*<sub>0</sub><sup>*A*</sup>, *x*<sub>*k*</sub><sup>*A*</sup>] — дискретная базовая шкала определения ЛП *A*;  $\mu_a(x)$  — ФП нечеткого термина *a*.

Предлагается интерпретируемость лингвистической переменной *A* оценивать через меру отклонения *E<sub>A</sub>* нечеткого разбиения, индуцированного ЛП *A*, от нечеткого разбиения, индуцированного идеально интерпретируемой ЛП с тем же числом нечетких термов. Для ЛП *A* величина *E<sub>A</sub>* вычисляется следующим образом:

$$E_A = \frac{\sum_{x \in [x_0^A, x_k^A]} [1 - \sum_{j=1}^k \mu_{a_j}(x)]}{|[x_0^A, x_k^A]|},$$

где  $|[x_0^A, x_k^A]|$  — количество точек дискретной шкалы;  $a_j$  —  $j$ -й нечеткий терм ЛП  $A$ ;  $\mu_{a_j}(x)$  — ФП нечеткого термина  $a_j$ ;  $k$  — количество нечетких термов ЛП  $A$ .

Очевидно, минимальное значение величины  $E_A=0$  соответствует идеально интерпретируемой ЛП  $A$ , и по мере возрастания  $E_A$  расхождение между реальной и идеально интерпретируемой ЛП увеличивается. Интерпретируемость НС, содержащей  $m$  лингвистических переменных  $A_j$ , выражается через усредненную меру отклонения всех входящих в НС лингвистических переменных:

$$E_A = \frac{\sum_{j=1}^m E_{A_j}}{m}.$$

Индекс семантической интерпретируемости  $SI$  нечеткой системы, содержащей  $m$  ЛП, определяется через усредненную меру отклонения следующим образом:

$$SI = \frac{1}{E_A + 1}.$$

Очевидно, значение индекса  $SI$  находится в пределах от нуля до единицы. Причем наивысшему уровню интерпретируемости соответствует единичное значение индекса, а наиболее низкому уровню интерпретируемости соответствует приближающееся к нулю значение.

### Заключение

Предложена новая концепция интерпретируемости нечетких систем, отражающая семантические аспекты данной категории. В рамках этой концепции интерпретируемость означает способность нечеткой системы не изменять результаты нечеткого вывода при тождественных преобразованиях БЗ, осуществляемых на основе использования правил вывода пропозициональных логик. Предложен новый подход к дизайну интерпретируемых НС на основе многоцелевого эволюционного проектирования. Предлагаемый подход обеспечивает возможность формирования НС, удовлетворяющих компромиссу между точностью, сложностью и интерпретируемостью.

### Список литературы

1. *Michalski R. S.* A theory and methodology of inductive learning // Artificial Intelligence. 1983. Vol. 20, №2. P. 111—161.
2. *Alonso J. M., Castiello C., Mencar C.* Interpretability of fuzzy systems: Current research trends and prospects // Springer handbook of computational intelligence. Berlin ; Heidelberg, 2015. P. 219—237.
3. *Mencar C., Castiello C., Cannone R., Fanelli A. M.* Interpretability assessment of fuzzy knowledge bases: A cointension based approach // International Journal of Approximate Reasoning. 2011. Vol. 52, №4. P. 501—518.
4. *Couso I. et al.* Fuzzy Sets in Data Analysis: From Statistical Foundations to Machine Learning // IEEE Computational Intelligence Magazine. 2019. №1. P. 31—44.
5. *Shabelnikov A. N., Kovalev S. M., Sukhanov A. V.* Interpretability of fuzzy temporal models // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 874. P. 223—234.

Б. А. Кулик<sup>1</sup>, А. Я. Фридман<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт проблем машиноведения РАН, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Институт информатики и математического моделирования ФИЦ КНЦ РАН, Апатиты, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> ba-kulik@yandex.ru, <sup>2</sup> fridman@iimm.ru

## СООТНОШЕНИЕ МЕЖДУ ЗАДАЧАМИ ВЫВОДА СЛЕДСТВИЙ И УДОВЛЕТВОРЕНИЯ ОГРАНИЧЕНИЙ

### Введение

Одна из задач в базах знаний интеллектуальных систем — вывод следствий с заранее заданными свойствами (иногда их называют *интересными следствиями* [1]). В традиционном подходе с использованием правил вывода решение данной задачи связано со значительными трудностями, в то время как применение алгоритмов, основанных на *алгебре кортежей* (АК), позволяет уточнить постановку этой задачи и найти ее решение [2; 3]. Изложенное дает основание отнести методы и алгоритмы АК, предназначенные для решения ряда задач логического анализа, к области вычислительного интеллекта. Разработанный на основе АК подход к вычислению следствий позволяет найти простые критерии различия между задачами вывода следствий и удовлетворения ограничений.

Алгебра кортежей [2; 4] основана на свойствах декартова произведения множеств. Объекты алгебры кортежей — произвольные многоместные отношения, рассматриваемые как области истинности формул математической логики. Они представлены матрицеподобными структурами, у которых ячейки содержат не элементы, а компоненты, то есть подмножества соответствующих атрибутов.

Логическим связкам ( $\neg, \wedge, \vee, \supset$ ) математической логики в АК соответствуют операции (дополнение, обобщенное пересечение ( $\cap_G$ ), обобщенное объединение ( $\cup_G$ )) и отношение — обобщенное включение ( $\subseteq_G$ ). Вычисление кванторных операций выполняется с помощью операций с атрибутами (добавление фиктивного атрибута ( $+Atr$ ), что соответствует правилу обобщения в исчислении предикатов, и элиминация атрибута ( $-Atr$ )). Для двух из четырех типов структур алгебры кортежей элиминация атрибутов соответствует вычислению проекции отношения.

Рассмотрим некоторые особенности логического вывода в АК. Пусть посылки рассуждения записаны в виде АК-объектов  $A_1, A_2, \dots, A_n$ . Тогда логическая формула, представленная АК-объектом  $B$ , будет следствием этих посылок, если и только если соблюдается соотношение:

$$(A_1 \cap_G A_2 \cap_G \dots \cap_G A_n) \subseteq_G B. \quad (1)$$

АК-объект, полученный в результате вычисления выражения в левой части (1), называется в АК минимальным следствием. Минимальное оно потому, что любое его строгое подмножество не является следствием. Как показано ниже, с помощью этого концепта можно получить следствия с заранее заданными свойствами и четко различать задачи вычисления следствий и удовлетворения ограничений.

### 1. Свойства интересных следствий

Многочисленные примеры задач логического вывода [5; 6] показывают, что весьма часто проверяемые следствия содержат сравнительно небольшой по сравнению с исходными данными состав переменных. Так, в примере из [5] требуется доказать, что из посылок  $\neg P \vee \neg Q \vee R$ ;  $P \vee R$  и  $Q \vee R$  можно вывести следствие  $R$ . В знаменитой задаче Steamroller (№ 47 в [6]), иллюстрации сложности логического вывода, при формализации получаются всего три логические переменные для сокращения в используемых предикатах. К этим предикатам относятся «волки», «улитки», «растения», «меньше» и т. д. Следствие этой задачи содержит три предиката, в то время как в посылках применяется 10 разных предикатов. Таким образом, одно из свойств «интересных» следствий — сокращенный по сравнению с исходными данными состав переменных или предикатов.

Второе свойство интересных следствий тесно связано с первым: в некоторых случаях желательно найти не только следствия с сокращенным составом переменных, но и следствия, в которых предусматривается использование заранее заданных переменных. Например, для исходных посылок в приведенном выше примере из [5] можно поставить задачу: проверить существование следствия с двумя переменными, среди которых обязательно присутствует пропозициональная переменная  $Q$ . Отсюда ясно, что второе свойство «интересных» следствий — определенный состав переменных или предикатов в сокращенном следствии.

Еще одно свойство интересных следствий было установлено при исследовании задач с сокращенным составом переменных в следствии. Нередко результатом вычислений становится формула с большим объемом записей (например,  $S$ -система с большим числом  $S$ -кортежей). Спрашивается, можно ли сократить объем записи следствия? Таким образом, третье свойство интересных следствий — сокращенный объем его записи.

### 2. Методы вычисления интересных следствий

Если для вывода следствий с заранее заданными свойствами использовать традиционный способ дедуктивного анализа с помощью правил вывода, то решение задачи сильно затруднено, так как заранее невозможно предсказать, в какой последовательности надо применять правила вывода, чтобы получить интересное следствие. Поэтому возникает необходимость разработки более эффективных методов решения этой задачи.

В АК проблема существенно упрощается. Когда задано множество АК-объектов  $\{A_1, \dots, A_n\}$ , представляющих аксиомы (или посылки), можно найти минимальное следствие  $A = A_1 \cap_G \dots \cap_G A_n$ . Тогда для получения любого следствия достаточно построить АК-объект  $B$  такой, чтобы выполнялось соотношение  $A \subseteq_G B$ .

Один из методов получения нового следствия из минимального следствия — вычисление проекций [2], выполняемое элиминацией атрибутов из  $C$ -кортежей или  $C$ -систем. Если, допустим, задана  $C$ -система  $R[XYZ]$ , то ее проекции обозначаются соответственно  $\text{Pr}_{XY}(R)$ ,  $\text{Pr}_Y(R)$ ,  $\text{Pr}_{XZ}(R)$  и т. д. В частности, проекция  $\text{Pr}_Y(R)$  вычисляется с помощью элиминации двух атрибутов:  $-Z(-X(R[XYZ]))$ . Для любого АК-объекта  $R[W]$  доказано соотношение

$$R[W] \subseteq_G \text{Pr}_V(R), \tag{2}$$

где  $V$  — произвольное подмножество атрибутов из схемы отношения АК-объекта  $R[W]$ . В силу (2) любая проекция минимального следствия — следствие. При этом не всякая проекция представляет интересное следствие, так как проекции могут быть равны универсуму — в этом случае они не содержат полезной информации.

Если АК-объект выражен как  $D$ -кортеж или  $D$ -система, то для вычисления проекции его необходимо предварительно преобразовать в  $C$ -систему.

Рассмотрим пример. Пусть даны посылки

$$1) A \supset C; \quad 2) B \supset C; \quad 3) A \vee B. \tag{3}$$

Требуется вычислить следствия с сокращенным составом атрибутов. Чтобы применить аппарат АК, положим, что  $A$ ,  $B$  и  $C$  — атрибуты, домены которых равны  $\{0, 1\}$ . Тогда конъюнкцию посылок можно выразить в виде  $D$ -системы

$$P[ABC] = \begin{bmatrix} \{0\} & \emptyset & \{1\} \\ \emptyset & \{0\} & \{1\} \\ \{1\} & \{1\} & \emptyset \end{bmatrix}.$$

После преобразования  $P[ABC]$  в  $C$ -систему [2; 4] получим минимальное следствие

$$P[ABC] = \begin{bmatrix} \{1\} & \{0\} & \{1\} \\ * & \{1\} & \{1\} \end{bmatrix}.$$

Сначала рассмотрим проекции с одним атрибутом. Ясно, что проекции  $\text{Pr}_A(P)$  и  $\text{Pr}_B(P)$  полные, то есть объединение компонент этих проекций равно универсуму. Однако проекция  $\text{Pr}_C(P)$  неполна, так как равна  $\{1\}$ . Отсюда ясно, что формула  $C$  — следствие посылок (3).

Для проекций с двумя атрибутами получим следующие результаты: 1) проекция  $\text{Pr}_{AB}(P)$  неполная, но она соответствует формуле  $A \vee B$ , совпадающей с одной из посылок, то есть ничего нового не представляет; 2) проекции  $\text{Pr}_{AC}(P)$  и  $\text{Pr}_{BC}(P)$  неполные, но в них содержатся фиктивные атрибуты (соответственно  $A$  и  $B$ ), поэтому нетрудно доказать, что они эквивалентны формуле  $C$ .

Пусть вычислено минимальное следствие  $A[W]$ , где  $W$  — множество атрибутов. Задача поиска следствий с заданным составом атрибутов  $V$  (при условии  $V \subset W$ ) тоже решается вычислением проекций минимального следствия  $A$ . Но здесь недостаточно вычислить проекцию  $\text{Pr}_V(A)$ , так как может оказаться, что эта проекция полная, то есть равна универсуму. Тем не менее в минимальном следствии все же может существовать неполная проекция, включающая все атрибуты из множества  $V$ .

При вычислении следствий с сокращенным или заданным составом переменных могут получаться  $C$ -системы, содержащие значительное число  $C$ -кортежей. Сами  $C$ -системы во многих случаях трудно преобразовать так, чтобы они включали меньшее число  $C$ -кортежей, однако объем записи следствия для неполных проекций можно существенно уменьшить, если представить его в виде  $D$ -структур. Рассмотрим пример.

Пусть в универсуме  $\{a, b, c\}^3$  проекция минимального следствия представлена  $C$ -системой

$$Q[XYZ] = Q[XYZ] = \begin{bmatrix} \{a, b\} & \{b, c\} & \{a, c\} \\ \{c\} & \{a, c\} & * \\ * & \{b\} & \{b\} \end{bmatrix}.$$

Вычислим ее дополнение:

$$\bar{Q}[XYZ] = \begin{bmatrix} \{c\} & \{a\} & \{b\} \\ \{a, b\} & \{b\} & \emptyset \\ \emptyset & \{a, c\} & \{a, c\} \end{bmatrix}.$$

Преобразуем полученную  $D$ -систему в  $C$ -систему [2; 4]:

$$\bar{Q}[XYZ] = \begin{bmatrix} \{c\} & \{b, c\} & \{a, c\} \\ \{a, b\} & \{a\} & * \\ \{a, b\} & \{c\} & \{b\} \end{bmatrix}.$$

Выберем из этой  $C$ -системы какой-либо  $C$ -кортеж, например  $T[XYZ] = [\{c\} \{b\} \{a, c\}]$ . Поскольку  $T[XYZ] \subseteq \bar{Q}[XYZ]$ , то по закону контрапозиции  $Q[XYZ] \subseteq \bar{T}[XYZ]$ .

Отсюда ясно, что  $D$ -кортеж  $\bar{T}[XYZ] = ]\{a,b\} \{a,c\} \{b\}[$  есть следствие, причем с сокращенным объемом записи. Его можно представить как дизъюнкт одноместных предикатов. Таким образом, одним из возможных методов сокращения объема записи следствия для заданной неполной проекции  $Q[XYZ]$  минимального следствия является следующий порядок действий: 1) вычислить дополнение  $Q$  и преобразовать его в  $C$ -систему; 2) если в полученной  $C$ -системе много  $C$ -кортежей, то удалить некоторые из них; 3) вычислить дополнение структуры, полученной на предыдущем шаге.

### 3. Задача удовлетворения ограничений и ее связь с логическим выводом

Согласно [7; 8], задача удовлетворения ограничений (Constraint Satisfaction Problems — CSP) определена множеством переменных  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , каждая из которых имеет непустую область определения  $D_i$  (домен), и множеством ограничений  $C_1, C_2, \dots, C_m$ . Каждое ограничение  $C_i$  задает в определенной проекции допустимые комбинации значений переменных, в некоторых случаях это может быть выражено как запрет определенных комбинаций. Решение конкретной CSP — все (или хотя бы некоторые) сочетания значений переменных, которые удовлетворяют всем ограничениям.

Многие известные задачи можно свести к CSP. К ним, в частности, относятся задачи решения систем уравнений, оптимизации, раскраски графов, выполнимости логических формул и т. д. Во многих случаях такие ограничения могут быть выражены в виде АК-объектов [9].

Во многих конкретных задачах удовлетворения ограничений используются глобальные ограничения. Классическим примером служит ограничение *Alldiff*, согласно которому все участвующие в нем переменные должны иметь разные значения. Это ограничение часто используется на практике и в связи с этим предлагается как встроенное ограничение в ряде основных коммерческих и исследовательских систем программирования в ограничениях [10; 11].

Многие ограничения можно преобразовать в многоместные отношения, выраженные с помощью АК-объектов, которые по содержанию разделяются на два типа: *запрещающие*, содержащие элементарные кортежи, которые не должны участвовать в присваивании значений переменных в решении, и *разрешающие*, элементарные кортежи которых могут быть использованы для формирования решений. Формирование запрещающих или разрешающих отношений (или АК-объектов) из выраженных на естественном или формальном языке конкретных ограничений является одной из важных промежуточных задач решения CSP в АК. С помощью этого метода можно добиться существенного снижения трудоемкости решения задач.

Ограничение *Alldiff* трудно выразить как отношение, так как число элементов этого отношения равно числу перестановок из  $N$  элементов, то есть  $N!$ , где  $N$  — число переменных. Следовательно, алгоритм решения задачи при таком представлении ограничения *Alldiff* требует экспоненциального числа ячеек памяти и числа операций. Однако во многих случаях сложность

решения можно существенно сократить за счет проверки полученного промежуточного результата, а также с помощью вычеркивания не соответствующих этому ограничению строк или элементов. Например, пусть для промежуточного решения CSP необходимо применить ограничение *Alldiff*, и это промежуточное решение есть  $C$ -система

$$R[STXYZ] = \begin{bmatrix} \{1,2\} & \{1,3,4\} & \{1,2,3\} & \{2\} \\ \{2\} & \{2,4\} & \{2\} & \{1,3,4\} \\ \{3\} & \{1,2,4\} & \{1,2\} & \{3\} \\ \{3,4\} & \{3\} & \{3\} & \{1,2,4\} \end{bmatrix}.$$

Ясно, что второй, третий и четвертый  $C$ -кортежи можно вычеркнуть, так как они содержат повторяющиеся одноэлементные компоненты — это означает, что разным атрибутам соответствует одно и то же значение. В первом  $C$ -кортеже четвертая компонента равна  $\{2\}$ , следовательно, значение два можно вычеркнуть из первой и третьей компонент. В результате получим  $C$ -кортеж  $[\{1\} \{1, 3, 4\} \{1, 3\} \{2\}]$ , в котором первая компонента равна  $\{1\}$ . После вычеркивания значения 1 из второй и третьей компонент получим  $C$ -кортеж  $[\{1\} \{3, 4\} \{3\} \{2\}]$ . Теперь можно вычеркнуть значение 3 из второй компоненты. В итоге результатом решения будет  $C$ -кортеж  $[\{1\} \{4\} \{3\} \{2\}]$ .

Формализация CSP с помощью АК в рамках систем с конечными доменами позволяет по-новому подойти к формулировке и решению этой задачи. Ограничения  $C_1, C_2, \dots, C_m$  в большинстве случаев можно выразить в виде отношений (АК-объектов), в которых множества элементарных кортежей содержат области возможных значений переменных, заданных при постановке задачи. Если имеются (или проще формализуются) запрещающие ограничения, то их с помощью операции дополнения преобразуют в разрешающие ограничения. Поскольку все разрешающие ограничения действуют совместно и по смыслу — конъюнкции возможных диапазонов значений переменных, то поиск решения задачи CSP с точки зрения АК состоит из двух этапов: 1) преобразование ограничений  $C_1, C_2, \dots, C_m$  в АК-объекты; 2) вычисление обобщенного пересечения преобразованных ограничений.

На всех этапах решения задачи применяются разработанные в АК методы сокращения размерностей ограничений и уменьшения трудоемкости вычислений [4].

В АК решение CSP имеет много общего с системами логического вывода (1). Полное решение CSP — АК-объект, который в логическом выводе вычисляется как минимальное следствие. В общем случае, если даны ограничения  $C_1, C_2, \dots, C_m$ , выраженные АК-объектами, решение задачи ( $B$ ) получается при выполнении следующего соотношения:

$$B \subseteq_G (C_1 \cap_G C_2 \cap_G \dots \cap_G C_m). \quad (4)$$

Возникает вопрос: если отвлечься от разницы в соотношениях (1) и (4), то чем отличаются аксиомы от ограничений? В некоторых случаях ответ очевиден. Например, ограничение *Alldiff* явно не относится к аксиомам, так как, в соответствии с (1), выход за его пределы в решении означает неверный ответ. Но если рассматривать часто встречающиеся посылки в естественных рассуждениях вне зависимости от постановки и решения задачи, то для них трудно найти свойства, разделяющие посылки и ограничения. Некоторую ясность можно получить, если обратиться к силлогистике.

В 1957 г. в Оксфорде была издана ставшая широкоизвестной книга Я. Лукасевича [12]. В ней силлогистика представлена как аксиоматическая система, выраженная на языке математической логики, и показано, что некоторые аксиомы силлогистики несовместимы с аксиомами исчисления предикатов. Было установлено что в исчислении предикатов невозможно доказать модусы *Darapti*, *Felapton*, *Fesapo* и *Bramalip*, получаемые по правилам силлогистики. Одно из возможных объяснений такого несоответствия в следующем: традиционная силлогистика не учитывает того, что некоторые субъекты и предикаты суждений могут представлять собой пустые множества.

Еще одно объяснение можно сформулировать, если учесть рассмотренную выше разницу между задачами дедуктивного анализа и удовлетворения ограничений. Рассмотрим модус *Darapti*. Пример этого модуса дает следующее рассуждение:

все выявленные неисправности на объекте устранимы;  
 все выявленные неисправности на объекте относятся к подсистеме  $R$ ;  
 следовательно, некоторые выявленные неисправности в подсистеме  $R$  устранимы.

Стандартная форма этого рассуждения — следующий силлогизм:

Все  $A$  есть  $B$  (*Premise1*).

Все  $A$  есть  $C$  (*Premise2*).

Некоторые  $C$  есть  $B$  (*Conclusion*).

Посылки этого силлогизма можно выразить формулами математической логики. Тогда окажется, что из первых двух суждений третье вывести невозможно, то есть из формул *Premise1* и *Premise2* формула *Conclusion* в исчислении предикатов не выводится. Но в то же время можно доказать, что импликация

$$Conclusion \supset (Premise1 \wedge Premise2)$$

— общезначимая формула. С точки зрения АК это означает, что при преобразовании рассматриваемых формул в отношения (то есть в АК-объекты) мы получим решение задачи удовлетворения ограничений:

$$Conclusion \subseteq_G (Premise1 \cap_G Premise2).$$

При рассмотрении приведенных выше и многих других посылок в естественных рассуждениях заранее трудно определить, к какому типу они относятся — к посылкам или к ограничениям. Четкий ответ можно получить лишь при постановке и решении задачи в зависимости от того, используется ли при решении соотношение (1) или соотношение (4).

### Заключение

Предложены алгоритмы поиска следствий с сокращенным (по сравнению с исходной системой посылок) либо с заранее заданным составом переменных. Во всех случаях используется понятие минимального следствия, представляющего собой обобщенное пересечение АК-объектов, которые моделируют посылки. «Интересные» следствия либо равны минимальному следствию, либо являются неполными проекциями минимального следствия.

Доказано, что основное отличие задачи удовлетворения ограничений (CSP) от задачи логического вывода состоит в соотношении между найденным решением задачи и обобщенным пересечением посылок (ограничений). При дедуктивном анализе первое — надмножество второго, а для CSP первое — подмножество второго.

### Список литературы

1. Шалак В. И. Анализ vs дедукция // Логические исследования. 2018. Т. 24, № 1. С. 26—45.
2. Кулик Б. А. Логика и математика: просто о сложных методах логического анализа. СПб. : Политехника, 2020.
3. Kulik B., Fridman A. Methods for Finding Consequences with Specified Properties // Artificial Intelligence. 19<sup>th</sup> Russian Conference, RCAI 2021 / ed. by S. M. Kovalev, S. O. Kuznetsov, A. I. Panov. Cham, 2021. P. 67—80.
4. Kulik B., Fridman A. N-ary Relations for Logical Analysis of Data and Knowledge / IGI Global. [Hershey], 2017.
5. Chang C.-L., Lee R. C.-T. Symbolic Logic and Mechanical Theorem Proving. N. Y., 1973.
6. Pelletier F. J. Seventy-Five Problems for Testing Automatic Theorem Provers // J. of Automated Reasoning. 1986. Vol. 2. P. 191—216.
7. Ruttkay Z. Constraint Satisfaction — a Survey // CWI Quarterly. 1998. № 11. P. 163—214.
8. Russel S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. Prentice Hall, 2003.
9. Зуенко А. А. Вывод на ограничениях с применением матричного представления конечных предикатов // Искусственный интеллект и принятие решений. 2014. № 3. С. 21—31.
10. Aggoun A., Beldiceanu N. Extending CHIP in order to Solve Complex Scheduling and Placement Problems // Mathl. Comput. Modelling. 1993. № 17. P. 57—73.
11. Beldiceanu N. Global Constraints as Graph Properties on Structured Network of Elementary Constraints of the Same Type // Principles and Practice of Constraint Programming — CP 2000 / ed. by R. Dechter. Verlin ; Heidelberg, 2000. P. 52—66.
12. Lukasiewicz J. Aristotle's Syllogistic from the Standpoint of Modern Formal Logic. Oxford : Univ Press, 1957.

**Е. Р. Мунтян<sup>1</sup>, В. Н. Литвиненко<sup>2</sup>**

<sup>1, 2</sup> Южный федеральный университет, Таганрог, Россия  
e-mail: <sup>1</sup>ermuntyan@sfedu.ru, <sup>2</sup>villit@sfedu.ru

## **ОРГАНИЗАЦИЯ СБОРА И ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ ОНТОЛОГИИ**

### **Введение**

Современные компании в сфере информационных технологий вкладывают значительные ресурсы в разработку решений, управляемых знаниями. Использование подобных решений позволяет автоматизировать получение новых знаний, анализируя один или несколько источников информации. В качестве такого инструмента целесообразно использование парсера. Парсинг — процесс автоматизированного сбора информации с последующей ее обработкой и выводом. Сегодня парсинг применяется повсеместно во многих сферах деятельности человека. Существуют парсеры для сбора информации из различных интернет-источников [1—3]. В докладе речь пойдет о парсинге социальных сетей. Информация, полученная в результате применения парсера, нуждается в анализе с использованием различных подходов, в том числе методов исследования графов. Развитое математическое обеспечение теории графов позволяет успешно использовать графы для моделирования различных процессов. Например, в [4; 5] предложены методы исследования социальных графов, а в [6—8] описано использование графов для формирования онтологий, в том числе графов с разнотипными связями [9]. В [10] под онтологиями понимаются формальные явные описания терминов предметной области и отношений между ними. Кроме того, для представления знаний [11; 12] зачастую применяются графы [13—16].

В докладе обозначена необходимость разработки методов и средств автоматизированного сбора данных из социальных сетей и представления их в виде графовых структур с целью дальнейшего формирования онтологии сложной предметной области.

### **1. Организация сбора данных при помощи парсера**

При разработке программного обеспечения учитываются функции парсера — автоматизация извлечения информации из социальной сети; хранение информации; представление информации в виде графовой структуры.

В соответствии с перечисленными функциями структурно парсер должен содержать следующие модули — модуль сбора информации; база данных (БД); система управления базами данных (СУБД); модуль представления данных.

На рисунке изображена структурная схема парсера. Рассмотрим назначение каждого модуля.

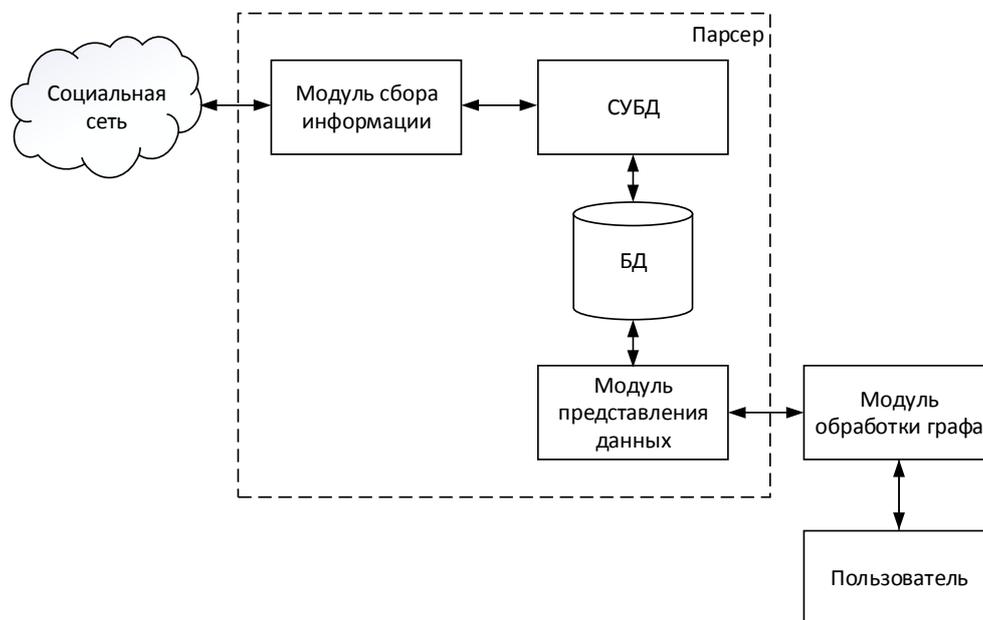


Рис. Структура парсера

Здесь модуль сбора информации предназначен для получения информации о пользователе из социальной сети. Для формирования онтологии может представлять интерес следующая информация о пользователях социальных сетей: профессия, навыки субъектов, их связи, сообщества, группы, отношения и т. д. В соответствии с классификацией возможных видов социальных отношений, предложенной в работе [18], между субъектами могут иметь место однотипные и разнотипные отношения.

В качестве разнотипных отношений между пользователями могут рассматриваться, например, отношения «влиять», «обмениваться информацией в сети», «рефлектировать», «самообразовываться», «обсуждать определенную тему», «уважать», «относиться толерантно», «дружить» и т. д.

При этом статус или тип субъектов может различаться, например, по профессии, по частоте или регулярности обращений в социальные сети, по степени способности оказывать влияние на других пользователей или, наоборот, по мере подверженности влиянию и др.

Таким образом, возникает необходимость в использовании математического аппарата представления и обработки разнотипных данных о пользователях и их отношениях. Для этих целей целесообразно использовать графы с множественными разнотипными связями.

В парсере для организации хранения информации о пользователях и их отношениях, полученной из социальной сети, предназначены СУБД и БД. База данных содержит ряд таблиц, в том числе таблицу пользователей, таблицу групп и др.

Например, таблица пользователя включает поля с уникальным идентификатором пользователя, его персональными данными, местом проживания, а также список групп, в которые входит пользователь, список идентификаторов его контактов в сети и т. д.

Разработка парсера предполагается в виде отдельного приложения с использованием архитектуры «клиент-сервер».

Для решения поставленной задачи целесообразно использовать API-интерфейсы взаимодействия с сайтами. API посылают запросы к серверу и получают от сервера ответы в структурированном виде. Такое решение осуществляет взаимодействие модуля сбора информации парсера напрямую с сайтом, при этом не будет необходимости перебирать страницы и их содержимое. Кроме того, отпадает необходимость в создании и использовании механизмов обхода защиты от автоматизированных сборщиков информации.

Полученная при помощи парсера информация о пользователях социальной сети нуждается в обработке. Модуль представления данных парсера позволяет представить данные в виде графовой структуры с целью дальнейшего формирования нечеткого графа с множественными разнотипными связями. Представление и исследование конкретной графовой модели выполняется в модуле обработки графа. В [17] описаны подходы к реализации графовой модели представления социальной сети, позволяющей автоматизировать процесс коррекции отдельных элементов графа.

#### **Формальное описание нечеткого графа с множественными разнотипными связями для формирования онтологии**

Формальное описание нечеткого графа 2-го рода с множественными разнотипными связями [18]:

$$G' = (Gv', Ge'),$$

где  $Gv' = \{gv_1, gv_2, \dots, gv_n\}$  и  $Ge' = \{ge_1, ge_2, \dots, ge_m\}$  — нечеткие множества вершин и связей графа ( $gv$  — *graph vertex*,  $ge$  — *graph edge*).

В графе  $G'$  весам вершин  $gv_i$  и связей  $ge_j$  ( $\eta_i \in [0; 1]$  и  $\mu_j \in [0; 1]$  соответственно) придается смысл достоверности или степени принадлежности нечеткому множеству [19]. Степени принадлежности могут быть постоянными или вычисляемыми по функциям принадлежности нечетких либо лингвистических переменных.

Нечеткий граф  $G'$  позволяет сочетать несколько видов связи — ориентированные и неориентированные связи; однотипные, разнотипные и множественные связи в виде вектора [20].

Связи графа  $G'$  могут обладать различными свойствами, например симметричности, транзитивности и т. д., а сам граф — связанным или несвязанным. Вершины такого графа как однотипные, так и разнотипные.

В графе  $G'$  вершины соответствуют элементам системы, а связи — их отношениям. Под элементами системы понимаются пользователи социальной сети или определенные отдельные понятия. Для оценки значения показателей весов вершин и/или связей используется вербальное описание (слабый, умеренный и сильный показатель) с соответствующими определениями значений весов посредством числовых интервалов или нечетких множеств.

Следует отметить преимущества реальных моделей на основе нечетких графов с множественными разнотипными связями. Результаты экспериментальных исследований на графах 300—1000 вершин показали снижение времени работы некоторых алгоритмов, в том числе поиска кратчайших путей в 1,5—3,9 раза за счет использования связей в виде вектора [20], что подтверждает эффективность и предпочтительность использования предложенных графов для решения ряда практических задач.

Таким образом, полученный граф используется для формирования онтологии сложной предметной области, где вершины и связи графа соответствуют понятиям и отношениям онтологии. Применение различных алгоритмов на графах [21—23] или выявление групп, частей графов, например клик, транзитивных участков [9] и т. д., или методов автоматизированного формирования весов вершин и связей графа [17] способствует анализу системы — следовательно, получению достоверных знаний в онтологии за меньшее время.

### Заключение

Предложен подход к формированию онтологии сложной предметной области, для реализации которого обоснована необходимость автоматизированного сбора данных из социальных сетей при помощи парсера с последующим представлением таких данных нечетким графом с множественными разнотипными связями.

Отмечены преимущества моделей на основе графов с множественными разнотипными связями, снижающие временные затраты на работу ряда алгоритмов за счет использования в моделях связей в виде вектора. Предложенный подход представляет онтологию сложной предметной области и одновременно уменьшает время получения знаний в онтологии.

### Список литературы

1. Низомутдинов Б. А., Тропников А. С. Автоматизированный сбор данных для наукометрического анализа // Научный сервис в сети Интернет : тр. XXI Всерос. науч. конф. М. : Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша, 2019. С. 523—531. doi: 10.20948/abrau-2019-76.
2. Van Eck N. J., Waltman L. Citation-Based Clustering of Publications using Cit-NetExplorer and VOSviewer // Scientometrics. 2017. Vol. 111, №2. P. 1053—1070. doi: 10.1007/s11192-017-2300-7.

3. *Baesens B., Broucke S. vanden.* Practical Web Scraping for Data Science. Apress, 2018.
4. *Артюхин В. В.* Базовый анализ социальных графов организаций в социальных сервисах на примере МЧС России // Образовательные технологии и общество. 2013. Т. 16, №2. С. 562—580.
5. *Ключарёв П. Г., Басараб М. А.* Спектральные методы анализа социальных сетей // Наука и Образование. 2017. №5. С. 168—177. doi: 10.7463/0517.0001159.
6. *Кудрявцев Д. В., Беглер А. М., Гаврилова Т. А. и др.* Метод коллективной визуальной разработки онтологического графа знаний // Искусственный интеллект и принятие решений. 2019. № 1. С. 27—38. doi: 10.14357/20718594190103.
7. *Орлов Ю. Н., Парфенова Ю. А.* Анализ структуры онтологического графа толкового словаря. М. : Препринты ИПМ им. М. В. Келдыша, 2017. doi: 10.20948/prepr-2017-31.
8. *Villazon-Terrazas B. et al.* Construction of Enterprise Knowledge Graphs (I) // Exploiting Linked Data and Knowledge Graphs in Large Organisations. Springer, 2017. P. 87—116.
9. *Еремеев А. П., Мунтян Е. Р.* Разработка онтологии на основе графов с множественными и разнотипными связями // Искусственный интеллект и принятие решений. 2021. №3. С. 3—18. doi: 10.14357/20718594210301.
10. *Gruber T. R.* A Translation Approach to Portable Ontology Specifications // Knowledge Acquisition. 1993. Vol. 5, №2. P. 199—220.
11. *Кондрашина Е. Ю., Литвинцева Л. В., Поспелов Д. А.* Представление знаний о времени и пространстве в интеллектуальных системах. М. : Наука, 1989.
12. *Вагин В. Н.* Знание в интеллектуальных системах // Новости искусственного интеллекта. 2002. №6 (54). С. 8—18.
13. *Мунтян Е. Р., Литвиненко В. Н.* Представление знаний в организационных системах с использованием графов // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. V Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта, 2020. С. 235—242.
14. *Мунтян Е. Р.* Трехуровневая модель представления знаний на основе графов // Известия Южного федерального университета. Сер.: Технические науки. 2019. №5. С. 145—157.
15. *Мунтян Е. Р.* Использование гибридных подходов для представления знаний // Гибридные и синергетические интеллектуальные системы : матер. IV Всерос. Поспеловской конф. с междунар. участием. Калининград : Изд-во БФУ им. И. Канта. 2018. С. 199—203.
16. *Мунтян Е. Р.* Представление знаний в граф-моделях сложных технических систем // Информатизация и связь. 2020. №3. С. 12—16. doi: 10.34219/2078-8320-2020-11-3-12-16.
17. *Мунтян Е. Р., Волощук В. И., Литвиненко В. Н.* Использование нечетких графов для анализа социальных сетей // Труды Международного научно-технического конгресса «Интеллектуальные системы и информационные технологии «IS&IT'21». Таганрог : Изд-во Ступина С. А., 2021. С. 279—285.
18. *Мунтян Е. Р.* Аспекты использования нечетких ГН-моделей для представления социальных отношений // Вестник Тверского государственного технического университета. Сер.: Технические науки. 2020. №3 (7). С. 113—121. doi: 10.46573/2658-5030-2020-3-113-121.
19. *Ярушкина Н. Г.* Основы теории нечетких и гибридных систем. М. : Финансы и статистика, 2004.

20. Мунтян Е. Р. Реализация нечеткой модели взаимодействия объектов сложных технических систем на основе графов // Программные продукты и системы. 2019. Т. 32, №3. С. 411—418. doi: 10.15827/0236-235X.127.411-418.

21. Muntyan E., Sergeev N., Tselykh A. Analysing big social graphs using a list-based graph folding algorithm // ITM Web of Conferences (ICICCI 2018). 2019. Vol. 25. doi: org/10.1051/itmconf/20192501003.

22. Kolodenkova A. E., Muntyan E. R., Korobkin V. V. Modern approaches to modeling of risk situations during creation complex technical systems // Advances in Intelligent Systems and Computing. 2019. Vol. 875. P. 209—217. doi: 10.1007/978-3-030-01821-4\_22.

23. Muntyan E. R., Melnik E. V. The graph-based analysis of structural delays in distributed multiprogram systems of information processing // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1661, № 1. doi: 10.1088/1742-6596/1661/1/012061.

**А. В. Павлов, А. О. Гаугель**

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия  
e-mail: avpavlov@itmo.ru

**ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В ПРОТИВОРЕЧИВЫХ УСЛОВИЯХ:  
ВЛИЯНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛИЦА, ПРИНИМАЮЩЕГО РЕШЕНИЕ,  
НА ВЫБОР АЛЬТЕРНАТИВЫ**

**Введение**

Практическое применение систем искусственного интеллекта актуализировало вопрос их интеллектуальной непрозрачности. Эта проблема в первую очередь важна для систем типа «черного ящика» — искусственных нейронных сетей (НС) [1] и областей их применения с неприемлемо высокой ценой ошибки [2—6]. Задача объяснения принятого решения многогранна, один из ее аспектов — почему в рамках одной и той же логики, при одних и тех же условиях и аргументах разные лица, принимающие решения (ЛПР), принимают отличающиеся, зачастую диаметрально противоположные решения?

В докладе этот вопрос рассмотрен применительно к принятию решения в условиях, противоречащих ранее усвоенному правилу, на модели, описываемой некооперативной игрой «Дилемма заключенного». Ментальные особенности ЛПР соотнесены со свойствами его НС как материального носителя логики принятия решения — нелинейностью записи весов связей при обучении, обуславливающей фильтрацию обрабатываемых образов. Даны аналитическая модель принятия решения в противоречивой ситуации и результаты численного моделирования. Полученные результаты соответствуют опубликованным результатам натуральных социологических опросов.

Термин «принятие решения» используется в смысле выбора альтернативы (decision making), что адекватно ситуациям с высокой ценой ошибки [2—6].

**1. Описание модельной ситуации и «проблемы нерациональности» выбора**

Некооперативная игра «Дилемма заключенного» (ДЗ) моделирует ситуацию, когда два злоумышленника А и В попались и допрашиваются в полиции по отдельности, у каждого есть выбор: *C* (cooperate) — молчать на допросе или *D* (defect) — предать подельника. *C* и *D* составляют полный набор альтернатив. Повлиять на решение подельника игрок не может.

Выигрыши/проигрыши зависят от решений обоих игроков:  $C^A C^B$  — оба молчат и получают небольшие сроки;  $C^A D^B$  — предавший В получает свободу, а молчащий А — по максимуму;  $D^A C^B$  — по аналогии с предыдущим;  $D^A D^B$  — оба предают и оба получают средние между *CC* и *CD* (*DC*) сроки.

Парето-оптимален [7] был бы вариант  $CC$ , но в реальности [8—12] наблюдается равновесие Нэша [13]  $DD$  — оба предают. В опросах [8—12] оценивалась вероятность принятия ЛПП В решения «предать» при условиях: а) решение игрока А ему неизвестно; б) ему известно, что игрок А принял решение  $C^A$ ; в) ему известно, что игрок А принял решение  $D^A$ .

Во всех экспериментах наблюдался один и тот же порядок вероятностей:

$$\Pr(D^B | D^A) > \Pr(D^B | C^A) > \Pr(D^B), \quad (1)$$

противоречащий классической формуле полной вероятности для дизъюнкции несовместных событий, согласно которой должен был бы быть порядок

$$\Pr(D^B | D^A) > \Pr(D^B) > \Pr(D^B | C^A). \quad (2)$$

Отличие экспериментально наблюдаемого порядка (1) от ожидавшегося (2) трактовалось как нерациональность мышления, ярко проявляющаяся в условиях неопределенности [14]. Для объяснения этого несоответствия реальности классической теории вероятности был выдвинут ряд гипотез, в том числе получила новое дыхание старая гипотеза о квантовой природе мозга, мышления и сознания [11].

## 2. Подход к задаче и модель нейросети

Наш подход к задаче учета индивидуальных особенностей ЛПП основан на том, что модель решения имеет материальный носитель — естественную или искусственную нейронную сеть, свойства которой определяют и модель выбора альтернативы конкретным ЛПП [15]. Обучение НС правилу принятия решения заключается в установлении синаптических весов межнейронных связей. В силу нелинейной зависимости чувствительности синапсов от уровня возбуждения в реальности всегда имеет место фильтрация обучающих образов при их запоминании. Поскольку синаптическая чувствительность индивидуальна, то обусловленную ею фильтрацию следует учитывать как аппаратный фактор, вносящий вклад в индивидуальность решения. Такой подход соответствует концепции агностической объясняющей модели [16], так как не требует «заглядывания в черный ящик» [6] для знания модели конкретного решения, но предполагает знание индивидуальных характеристик НС ЛПП.

В качестве материального носителя логики принятия решения мы взяли модель трехслойной нейросети резонансной архитектуры с весами связей, формируемыми и запоминаемыми в пространствах Фурье (рис. 1) [17]. Эта схема отвечает критерию биологической мотивированности модели, так как нейронные структуры мозга реализуют преобразование Фурье [18], резонансная (кольцевая) архитектура соответствует концепции «кольца возбуждения» как возможной материальной основе феномена сознания [19; 20] — принятие решения происходит при повторном входе сенсорного стимула после оценки его семантической значимости в долговременной памяти.

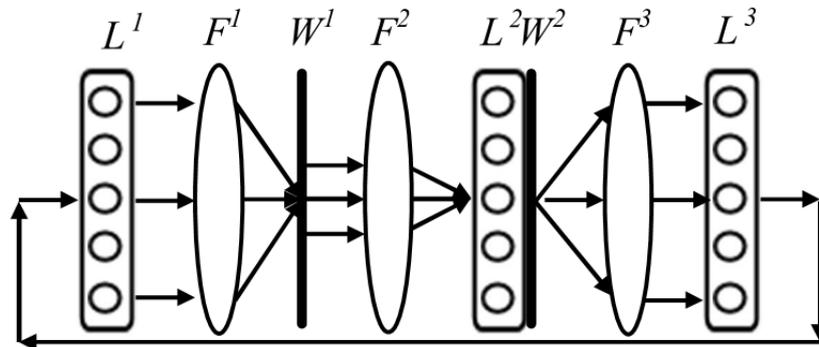


Рис. 1. Модель нейросети резонансной архитектуры с весами связей в пространствах Фурье:

$F^1, F^2, F^3$  — фурье-преобразующие элементы;  $W^1$  и  $W^2$  — матрицы весов связей, хранящие правила монотонной логики и исключения соответственно;  $L^1, L^2, L^3$  — слои: сенсорный, оценки (логического вывода) и эталона для записи матрицы весов исключения  $W^2$  соответственно; стрелка снизу — замыкание резонатора  $L^3 \rightarrow L^1$

В [17] показано, что НС (рис. 1) адекватно моделирует принятие решения в ДЗ, в том числе в ситуации, когда воспринимаемая информация противоречит ранее сложившимся убеждениям ЛППР, представленным правилом «молчать — невыгодно» — результаты аналитического и численного моделирования совпадают с результатами натуральных экспериментов, независимо проведенных разными группами исследователей [8—12]. Но анализ и моделирование в [17] проведены в приближении линейной регистрации весов межнейронных связей, то есть без учета индивидуальных особенностей ЛППР.

Наш подход к «проблеме нарушения формулы полной вероятности» основан на следующем: согласно правилу Борна, вероятность есть квадратичная мера на алгебре событий, то есть математически строго эквивалентна мощности образа решения; в отличие от работ [8—12], фокусировавшихся на принятии решения в условиях неопределенности а), то есть анализе полной вероятности  $\Pr(D^B)$ , мы рассматриваем принятие решения в противоречивых условиях б) — нас интересует поведение условной вероятности  $\Pr(D^B | C^A)$ . Эта смена взгляда на проблему обусловлена с точки зрения логики решения тем, что вероятности (полная  $\Pr(D^B)$  и условная  $\Pr(D^B | D^A)$ ) суть оценки на монотонной логике, так как информация о предательстве подельника ( $D^A$ ) не противоречит ранее сложившемуся правилу «предать — выгодно», а условная вероятность  $\Pr(D^B | C^A)$  — оценка на логике уже немонотонной, так как сообщение о молчании подельника противоречит убеждениям ЛППР — в последнем случае в НС (рис. 1) возникает когнитивный диссонанс, в состоянии которого игрок В и принимает решение.

Основное правило решения (монотонной логики) «молчать — невыгодно», хранит долговременная память, представленная матрицей весов связей  $W^l$

$$W^l(v_x, v_y) = \Lambda^1(F^*(C(x, y))), \quad (3)$$

где оператор  $\Lambda^1$  описывает дополнительную фильтрацию на матрице  $W^l$ , обусловленную нелинейностью синаптической чувствительности,  $F$  и астериск — символы преобразования Фурье и комплексного сопряжения соответственно.

Решение принимается на основании оценки образа варианта  $\text{In}(x, y)$ , представленного в сенсорном слое  $L^1$ . Эта оценка формируется в слое  $L^2$ . Безусловная оценка — на нулевой итерации, то есть при однократном прохождении возбуждения через НС  $L^1 \rightarrow W^l \rightarrow L^2$ , она описывается функцией корреляции образов вариантов: оцениваемого  $\text{In}(x, y)$  и эталонного  $C(x, y)$

$$\text{Out}_0^{2(\text{In}, C)}(\zeta, \eta) = F\left[F(\text{In}(x, y))\Lambda^1(F^*(C(x, y)))\right] = \left[\text{In}(x, y) \otimes C^{\Lambda^1}(x, y)\right], \quad (4)$$

где нижний индекс при  $\text{Out}$  — номер итерации, в верхнем индексе при  $\text{Out}$  цифра указывает на плоскость формирования отклика, в скобках — сравниваемые поля,  $\zeta, \eta$  — координаты в слое  $L^2$ ,  $\otimes$  — символ операции корреляции, верхний индекс  $\Lambda^1$  указывает на дополнительную фильтрацию матрицей  $W^l$ .

В [17] показано, что если матрица  $W^l$  записана согласно (3), то  $s = \pi r^2$ , где  $r$  — радиус глобального максимума автокорреляционной функции (4) (ГМ АКФ), удовлетворяет определению квадратичной меры математически строго эквивалентной вероятности. Поэтому далее радиус ГМ АКФ есть оценка; иными словами, мы принимаем по умолчанию  $(r^D)^2 \equiv \text{Pr}(D)$ ,  $(r^{D|C})^2 \equiv \text{Pr}(D|C)$ , etc.

Условие, противоречащее правилу, то есть информация о молчании подельника  $C(x, y)$ , поступает в слой  $L^3$  для записи матрицы весов условия (правила исключения)  $W^2$  с откликом НС на образ «предать»  $D(x, y)$  (4):

$$W^2(\zeta, \eta) = \Lambda^2\left(\left(\text{Out}_0^{2(D, C)}(\zeta, \eta)\right)^* F(C(x, y))\right). \quad (5)$$

Интересующая нас оценка собственного решения «предать» формируется в соответствии с концепцией «кольца возбуждения» [19, 20] на круговых итерациях схемы рисунка 1 как отклик на образ  $D(x, y)$

$$\text{Out}_i^{2(D, C)}(\zeta, \eta) = C^{\Lambda^2}(x, y) * F\left(\text{Out}_{i-1}^{2(D, C)}(\zeta, \eta)\right) \otimes F\left(\text{Out}_0^{\Lambda^2 2(D, C)}(\zeta, \eta)\right) \otimes C^{\Lambda^1}(x, y). \quad (6)$$

В ДЗ актуален отклик на первых итерациях редуцирования когнитивного диссонанса, возникающего вследствие противоречия новой (сообщник молчит) и старой (предать выгодно) информации [11].

Нарушение классической формулы полной вероятности представим отношением безусловной (4) и условной (6) оценок

$$\Omega = \frac{\Pr(D^B)}{\Pr(D^B|C^A)} = \frac{r_0^D}{r_i^{D|C}}. \quad (7)$$

Если  $\Omega > 1$ , то нарушения классической теории вероятностей нет, имеет место порядок (2). Если  $\Omega < 1$ , то имеем нарушение классической теории вероятностей (1). Нас интересует зависимость значения  $\Omega = 1$ , от параметров обучающих образов альтернатив  $D(x,y)$  и  $C(x,y)$  и самой нейросети ЛПП.

В [17] в предположении линейности записи матриц весов показано, что  $\Omega$  зависит от отношения параметров  $v_\alpha$  спектров амплитуд обучающих образов  $D(x,y)$  и  $C(x,y)$ , то есть без учета фильтрации на матрицах весов связей

$$V = \frac{v_\alpha^{CRef}}{v_\alpha^{DRef}}, \quad (8)$$

где параметр  $v_\alpha$  — пространственная частота, амплитуда которой равна  $\alpha$  от максимальной. При линейных матрицах  $V$  представляет оценку индивидуальной способности ЛПП к различению вариантов (добра и зла), так как биологическая НС оценивает не абсолютное, но относительное значение [15]. Значение  $V$ , соответствующее  $\Omega = 1$ , обозначим  $V^{Cross}$ , ранее [17] показано, что оно зависит от радиуса ГМ АКФ эталонного образа «молчать»  $C(x,y)$ .

Но с учетом нелинейности записи матриц в выражение для оценки (8) должны входить параметры не обучающих образов (их спектров), но записанных на матрицах синаптических весов, то есть с учетом фильтрации, обусловленной нелинейностью синаптической чувствительности.

### 3. Модель влияния фильтрации на выбор альтернативы

Для сокращения выкладок далее используем функции одного аргумента. Примем модель Гауссовых спектров амплитуд образов: обучающего  $C(x,y)$

$$S^{CRef}(v) = \exp\left(\frac{-v^2}{2(v^{CRef})^2}\right), \quad (9)$$

и оцениваемого (входного)  $D(x,y)$  с учетом (8):

$$S^{DRef}(v) = \exp\left(\frac{-v^2}{2(v^{DRef})^2}\right) = \exp\left(\frac{-v^2 V^2}{2(v^{DRef})^2}\right), \quad (10)$$

уровень измерения частот, как и радиусов корреляции, для функции Гаусса по умолчанию  $\alpha = 0,606$ , поэтому его указание здесь и далее опустим.

Примем функцию Гаусса и для модели низкочастотного фильтра на матрицах, обусловленного нелинейностью синаптической чувствительности

$$\Phi^{W^1}(v) = \exp\left(\frac{-v^2}{2v^{W^1}}\right), \quad (11)$$

для матрицы весов  $W^1$  и аналогично для матрицы  $W^2$ .

Громоздкие выкладки опустим и выразим условие  $\Omega = 1$  через отношение параметров обучающего и оцениваемого образов, для стабильного отклика:

$$V^{Stable} = \frac{v^{CRef}}{v^{DRef}} = \sqrt{\sqrt{2\left(2\pi\frac{\zeta}{v}\right)^2 (v^{CRef})^4 + [Q+1]^2 + (R^{W^2})^2 \left[(R^{W^1})^2 + 2\right]} - Q}, \quad (12)$$

где  $Q = \frac{(R^{W^1})^2 - (R^{W^2})^2}{2}$ ,  $R^{W^1} = \frac{v^{CRef}}{v^{W^1}}$  — отношение параметров спектра эталонного образа и фильтра в плоскости  $W^1$  и аналогично для  $R^{W^2}$ .

Условие стабильности отклика (12) может быть представлено и через радиусы ГМ АКФ образов: поскольку  $r^{Ref} = \frac{\sqrt{2}}{2\pi v^{Ref}}$ , то

$$V^{Stable} = \frac{v^{CRef}}{v^{DRef}} = \frac{r^{DRef}}{r^{CRef}} = \sqrt{\sqrt{\left(\frac{\zeta}{v}\right)^2 \frac{2}{(2\pi)^2 (r^{CRef})^4} + [Q+1]^2 + (R^{W^2})^2 \left[(R^{W^1})^2 + 2\right]} - Q}. \quad (13)$$

#### 4. Моделирование

Моделировалась работа НС (рис. 1) при реализации двух сценариев «ДЗ»: а) — решение в условиях неопределенности — безусловная оценка  $r^D$ ; и б) — решение «предать» при противоречивом условии «подельник молчит» — условная оценка  $r^{D|C}$ .

Образы альтернатив  $D(x)$  и  $C(x)$  представлены реализациями стационарного случайного процесса с Гауссовыми спектрами амплитуд и случайными спектрами фаз, длины реализаций 4096 отсчетов.

На рисунке 2 показаны зависимости оценок альтернативы «предать» от оценки отличия оцениваемого образа от обучающего «молчать» при двух значениях параметра обучающего образа  $v^C$ .

На рисунке 3 показаны зависимости значения точки равновесия  $V^{Stable}$  от радиуса АКФ обучающего образа для ряда значений параметра низкочастотного фильтра (НЧФ) на матрице весов связей основного правила  $W^1$  при отсутствии фильтрации на матрице весов связей правила исключения  $W^2$ . На рисунке 4 даны аналогичные зависимости для ряда значений параметра низкочастотного фильтра на матрице весов связей исключения  $W^2$  при значении параметра фильтра на матрице  $W^1$  весов связей основного правила  $R^1 = 10$ .

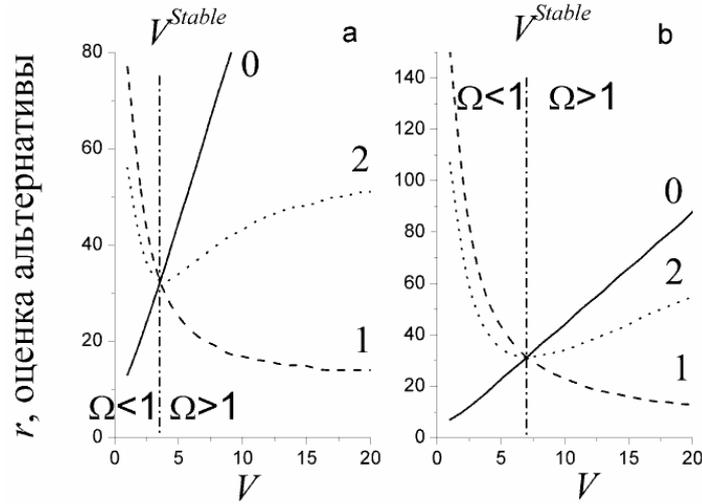


Рис. 2. Зависимости оценок решения «предать» от  $V$  — оценки отличия оцениваемого образа от обучающего «молчать» при значениях параметра обучающего образа:  
 $a - v^c = 150$ ,  $b - v^c = 75$ ; 0 — безусловная оценка (по правилу монотонной логики);  
 1 и 2 — условные оценки на первой и второй круговых итерациях соответственно

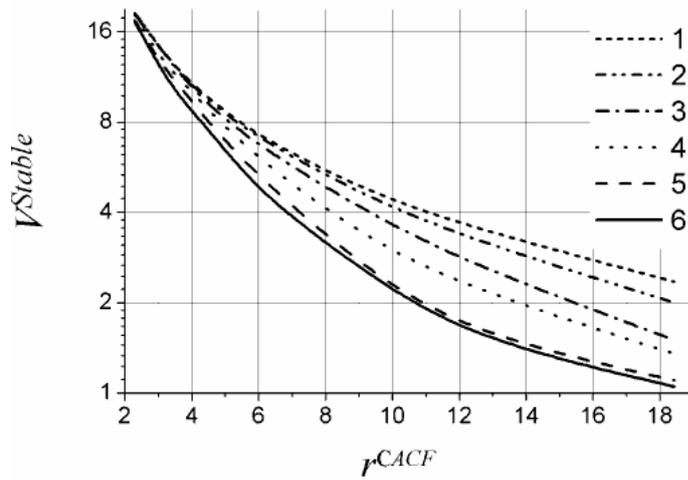


Рис. 3. Зависимости значения точки равновесия  $V^{Stable}$  от радиуса АКФ обучающего образа при НЧФ на матрице основного правила  $W^l$  и отсутствии фильтрации на матрице правила исключения:  
 1 —  $R^l = 0$ ; 2 —  $R^l = 2$ ; 3 —  $R^l = 4$ ; 4 —  $R^l = 6$ ; 5 —  $R^l = 8$ ; 6 —  $R^l = 10$

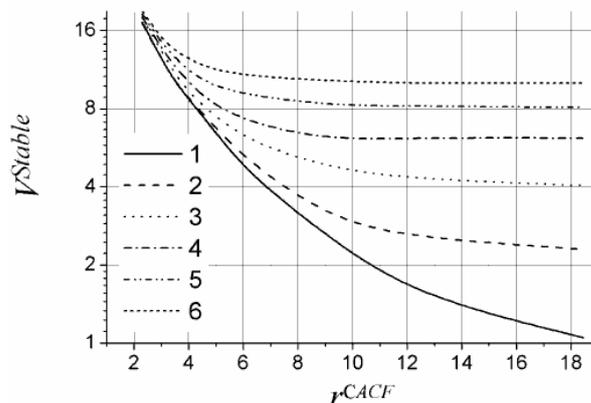


Рис. 4. Зависимости значения точки равновесия  $V^{Stable}$  от радиуса АКФ обучающего образа при НЧФ на матрице основного правила  $W^l$   $R^l = 10$  и фильтрации на матрице исключения:  
 1 —  $R^2 = 0$ ; 2 —  $R^2 = 2$ ; 3 —  $R^2 = 4$ ; 4 —  $R^2 = 6$ ; 5 —  $R^2 = 8$ ; 6 —  $R^2 = 10$

#### Заключение

Представленные результаты показывают зависимость оценки альтернативы при условии, противоречащем основному правилу принятия решения, от характеристики внутренней картины мира (ВКМ) ЛПР — радиуса ее автокорреляции. Последний характеризует баланс общего и частного во ВКМ — чем больше радиус АКФ, тем длиннее семантические связи во ВКМ, то есть больше удельный вес общих признаков; чем меньше радиус АКФ, тем сильнее ЛПР концентрируется на мелочах, не обращая внимания на общие — «за деревьями леса не видит». Радиус АКФ зависит как от жизненного опыта ЛПР — тех образов, на которых он обучался, так и от свойств его НС — низкочастотная фильтрация на матрице основного правила ведет к его увеличению и росту общности взгляда на мир, смещению точки равновесия  $V^{Stable}$  влево — диапазон нарушения классической формулы полной вероятности уменьшается. НЧФ на матрице исключения дает обратный эффект, что точно соответствует концепции дуальности исключения относительно основного правила принятия решения, формализованной членом  $Q$  в (12) и (13).

#### Список литературы

1. Samek W., Montavon G., Lapuschkin S. et al. Explaining Deep Neural Networks and Beyond: A Review of Methods and Applications // Proceedings of IEEE. 2021. Vol. 109, №3. P. 247—278. doi: 10.1109/JPROC.2021.3060483.
2. Gunning D., Aha D. W. DARPA's Explainable Artificial Intelligence Program // AI Magazine. 2019. Vol. 40, №2. P. 44—58. doi: 10.1609/aimag.v40i2.2850.
3. Gavrilov D. A. Investigation of the applicability of the convolutional neural network U-Net to a problem of segmentation of aircraft images // Computer Optics. 2021. Vol. 45, №4. P. 575—579. doi: 10.18287/2412-6179-CO-804.

4. *Meldo A., Utkin L., Kovalev M., Kasimov E.* The natural language explanation algorithms for the lung cancer computer-aided diagnosis system // *Artificial Intelligence in Medicine*. 2020. Vol. 108, №8. P. 101952. doi: 10.1016/j.artmed.2020.101952.
5. *Lyakhov P.A., Lyakhova U.A.* Neural network classification system for pigmented skin neoplasms with preliminary hair removal in photographs // *Computer Optics*. 2021. Vol. 45, №5. P. 728—735. doi: 10.18287/2412-6179-CO-863.
6. *Amiri S.S., Mottahedi S., Lee E.R., Hoque S.* Peeking inside the black-box: Explainable machine learning applied to household transportation energy consumption // *Computers, Environment and Urban Systems*. 2021. Vol. 88, art. 101647. doi: 10.1016/j.compenvurb.2021.101647.
7. *Ногин В.Д.* Принятие решений в многокритериальной среде: количественный подход. М. : Физматлит, 2002.
8. *Tversky A., Shafir E.* The disjunction effect in choice under uncertainty // *Psychological Science*. 1992. Vol. 3, №5. P. 305—309. doi: 10.1111/j.1467-9280.1992.tb00678.x.
9. *Crosson R.* The disjunction effect and reason-based choice in games // *Organizational Behavior and Human Decision Processes*. 1999. Vol. 80. P. 118—133. doi: 10.1006/obhd.1999.2846.
10. *Li S., Taplin J.* Examining whether there is a disjunction effect in Prisoner's Dilemma games // *China Journal of Psychology*. 2002. Vol. 44. P. 25—46.
11. *Busemeyer J.R., Matthew M., Wang Z.A.* Quantum game theory explanation of disjunction effects // *Proceedings of the 28<sup>th</sup> Annual Conference of the Cognition Science Society* / eds. R. Sun, N. Miyake. Mahwah : Erlbaum, 2006. P. 131—135.
12. *Hristova E., Grinberg M.* Disjunction effect in prisoner's dilemma: evidences from an eye-tracking study // *Proceedings of the 30<sup>th</sup> Annual Conference of the Cognition Science Society*. Washington, 2008. P. 1225—1230.
13. *Nash J.F.* Non-Cooperative Games // *Annals of Mathematics*. 1951. Vol. 54, №2. P. 286—295. doi: 10.2307/1969529.
14. *Tversky A., Kahneman D.* Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases // *Science, New Series*. 1974. Vol. 185, №4157. P. 1124—1131.
15. *Korteling J.E., Brouwer A.-M., Toet A.* A Neural Network Framework for Cognitive Bias // *Front. Psychol.* 2018. Vol. 9. P. 1561. doi: 10.3389/fpsyg.2018.0156.
16. *Ai Q., Narayanan L.* Model-agnostic vs. Model-intrinsic Interpretability for Explainable Product Search // *CIKM'21: Proceedings of the 30<sup>th</sup> ACM International Conference on Information & Knowledge Management*. 2021. P. 5—15. doi: 10.1145/3459637.3482276.
17. *Pavlov A.V.* Modeling of quantum-like cognitive phenomena by the Fourier-holography technique under the choice of alternatives // *Computer Optics*. 2021. Vol. 45, №4. P. 551—561. doi: 10.18287/2412-6179-CO-830.
18. *Glezer V.D.* The Role of Spatial—Frequency Analysis, Primitives, and Interhemispheric Asymmetry in the Identification of Visual Images // *Human Physiology*. 2000. Vol. 26, №5. P. 636—640. doi: 10.1007/BF02760381.
19. *Ivanitskii A.M.* Information synthesis in key parts of the cerebral cortex as the basis of subjective // *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 1997. Vol. 27. P. 414—426. doi: 10.1007/BF02462943.
20. *Ivanitsky A.M., Ivanitsky G.A., Sysoeva O.V.* Brain science: On the way to solving the problem of consciousness // *International Journal of Psychophysiology*. 2009. Vol. 73. P. 101—108. doi: 10.1016/j.ijpsycho.2009.02.004.

**А. А. Романов<sup>1</sup>, А. А. Филиппов<sup>2</sup>, А. В. Бармина<sup>3</sup>, А. М. Скалкин<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup> Ульяновский государственный технический университет, Ульяновск, Россия  
e-mail: <sup>1</sup> romanov73@gmail.com, <sup>2</sup> al.filippov@ulstu.ru, <sup>3</sup> alexandrabarmina99@gmail.com, <sup>4</sup> anton.skalkin73@gmail.com

## **МЕТОДЫ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ В РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНЫХ СИСТЕМ**

### **Введение**

Анализ данных из репозитория программных проектов — актуальная и многогранная задача. При этом преследуется множество целей: оценка и поиск разработчиков на новые проекты, оценка успешности и востребованности проектов, ранжирование репозитория, прогнозирование состояния разработки, поиск релевантных используемым технологиям проектов [1—6]. Отчасти сами инструменты репозитория позволяют аналитику решать эти задачи и получать статистику. В [1] приводится описание метода подбора ревьюеров для успешного и качественного анализа Pull-Request'ов. Из проанализированных источников видно, что часто используется ранжирование проектов на основе оценки количества «звезд» репозитория и содержания README файлов для поиска похожих проектов [2]. В [3] анализируется популярность проекта в зависимости от организации каталогов проекта. В [4] рассматриваются issue проектов с целью нахождения связанных issues для сокращения трудоемкости и повышения качества. Подробный анализ активности пользователей репозитория изложен в [5]. В [6] приводится решение задачи классификации репозитория на основе анализа README файлов.

Системы управления git-репозиториями обладают достаточной функциональностью для формирования статистического и описательного представления репозитория. На основе такого представления строятся методы анализа git-репозитория из рассмотренных источников. Такой подход не обладает достаточной точностью, потому что из репозитория не извлекается смысловое содержание [7]. Кроме того, репозитории оцениваются только на момент, когда проводится анализ, а не в динамике, что приводит к потере информации о процессах разработки проектов.

Таким образом задачу анализа git-репозитория можно сформулировать в следующем виде: с целью сокращения трудоемкости и времени для прогнозирования состояния программных проектов необходимо разработать метод интеллектуального анализа git-репозитория в разрезе количественных показателей процесса разработки, а также сущностей и бизнес-процессов проблемной области, в рамках которой разрабатывался проект. Перечисленные сведения о проекте будут составлять контекст проблемной области (PrO) моделирования динамики показателей процессов разработки. Для анализа динамики показателей разработки будут использованы методы моделирования нечетких временных рядов и их тенденций.

---

© Романов А. А., Филиппов А. А., Бармина А. В., Скалкин А. М., 2022

### 1. Модель временного ряда

Моделирование числового дискретного временного ряда проводится с предварительной фаззификацией нечеткими множествами типа 2. Такой подход упрощает процедуру формирования базы правил для нечеткого логического вывода при анализе временных рядов. Моделирование производится с учетом контекста проблемной области, задающего условия формирования модели временного ряда и характер его основных тенденций. Треугольная форма нечетких множеств используется из-за небольшой вычислительной сложности.

Пусть дан дискретный числовой временной ряд:

$$ts = \{ts_t\}, t \in [0, l], t \in \mathbb{N},$$

где  $ts_t$  — значение временного ряда в момент времени  $t$ ;  $l$  — длина временного ряда. В каждый момент времени  $t > 0$  можно определить значение тенденции временного ряда:

$$Tend_t = ts_t - ts_{t-1},$$

где  $Tend_t$  — числовое представление направления и интенсивности тенденции временного ряда в момент времени  $t$ ;  $ts_t, ts_{t-1}$  — значения временного ряда в момент времени  $t$  и  $t-1$  соответственно.

Для нечеткого моделирования тенденций временного ряда для них определяется универсум нечетких множеств типа 2:  $U = \tilde{A}_i, i \in \mathbb{N}$  — число нечетких множеств в универсуме.

Нечеткие множества типа 2 могут быть представлены как:

$$\tilde{A} = ((x, u), \mu_{\tilde{A}}(x, u)) | \forall x \in U, \forall u \in J_x \subseteq [0, 1]$$

где  $x \in U, u \in J_x \subseteq [0, 1]$  и  $0 \leq \mu_{\tilde{A}}(x, u) \leq 1$ .

Нижней функцией принадлежности  $\tilde{A}$  называется функция  $\bar{\mu}_{\tilde{A}} : U \rightarrow [0, 1]$ , которая определяется как  $\bar{\mu}_{\tilde{A}}(x) = \inf J_x, x \in U$ . Верхней функцией принадлежности  $\tilde{A}$  называется функция  $\underline{\mu}_{\tilde{A}} : U \rightarrow [0, 1]$ , которая определяется как  $\underline{\mu}_{\tilde{A}}(x) = \sup J_x, x \in U$ .

Нечеткое множество типа 2  $\tilde{A}$  — интервальное, если

$$\mu_{\tilde{A}}(x, u) = 1 \forall x \in U, u \in J_x.$$

Моделирование временных рядов определяет интервальные нечеткие множества и их форму. На рисунке 1 показан внешний вид функций принадлежности.

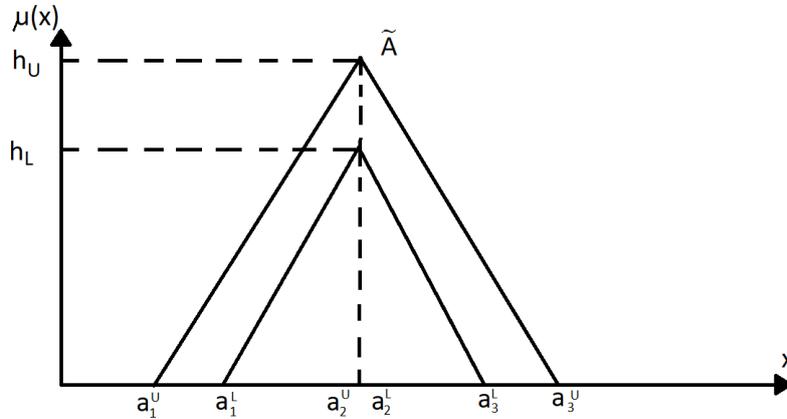


Рис. 1. Представление верхней и нижней функции принадлежности

Треугольные нечеткие множества определяются следующим образом:

$$\tilde{A}_i = (\tilde{A}_i^U, \tilde{A}_i^L) = \left( (a_{i1}^u, a_{i2}^u, a_{i3}^u, h(\tilde{A}_i^U)), (a_{i1}^l, a_{i2}^l, a_{i3}^l, h(\tilde{A}_i^L)) \right),$$

где  $\tilde{A}_i^U$  и  $\tilde{A}_i^L$  — треугольные нечеткие множества типа 1;  $a_{i1}^u, a_{i2}^u, a_{i3}^u, a_{i1}^l, a_{i2}^l, a_{i3}^l$  — опорные точки типа 2 интервального нечеткого множества  $\tilde{A}_i$ ;  $h$  — значение функции принадлежности элемента  $a_i$  (для верхней и нижней функций принадлежности соответственно).

Операция объединения нечетких множеств типа 2 требуется при работе с базой правил на основе значений временного ряда и определяется следующим образом:

$$\begin{aligned} \tilde{A}_1 \oplus \tilde{A}_2 = & (\tilde{A}_1^U, \tilde{A}_1^L) \oplus (\tilde{A}_2^U, \tilde{A}_2^L) = ((a_{11}^u + a_{21}^u, a_{12}^u + a_{22}^u, a_{13}^u + a_{23}^u; \\ & \min(h_1(\tilde{A}_1^U), h_1(\tilde{A}_2^U)), \min(h_2(\tilde{A}_1^U), h_2(\tilde{A}_2^U))), \\ & (a_{11}^l + a_{21}^l, a_{12}^l + a_{22}^l, a_{13}^l + a_{23}^l; \min(h_1(\tilde{A}_1^L), h_1(\tilde{A}_2^L)), \min(h_2(\tilde{A}_1^L), h_2(\tilde{A}_2^L))))); \end{aligned}$$

Модель временного ряда:  $\tilde{ts} = (\tilde{A}, \tilde{A}^C)$ , где  $\tilde{A}$  — множество нечетких меток типа 2, описывающих тенденции временного ряда, полученные из анализа точек временного ряда,  $|\tilde{A}| = l - 1$ ;  $\tilde{A}^C$  — множество нечетких меток типа 2, описывающих тенденции временного ряда, полученные из контекста проблемной области временного ряда,  $|\tilde{A}^C| \ll l - 1$ .

Компонент  $\tilde{A}$  модели извлекается из значений временного ряда путем фаззификации всех числовых представлений тенденций временного ряда. В соответствии с представлением информационных гранул в виде нечетких тенденций временных рядов числовые значения тенденций фаззифицируются:

$$\tilde{A}_t = \mu(Tend_t) = \mu(ts_t - ts_{t-1}), t > 0.$$

Компонент  $\tilde{A}^C$  модели формируется экспертным либо аналитическим методом и описывает наиболее общий характер поведения временного ряда. Этот компонент необходим для решения задач обоснования выбора границ интервалов нечетких множеств типа 2 при моделировании временного ряда; анализа и прогнозирования временного ряда при недостатке данных или их зашумленности.

Таким образом контекст временного ряда, представленный компонентом  $\tilde{A}^C$  модели, определяется следующими параметрами: скоростью изменения тенденции  $\tilde{A}_t^C$  и количеством смен тенденций  $|\tilde{A}^C|$ .

## 2. Алгоритм моделирования

Анализ данных репозитория с учетом контекста предлагается строить по схеме, представленной на рисунке 2.

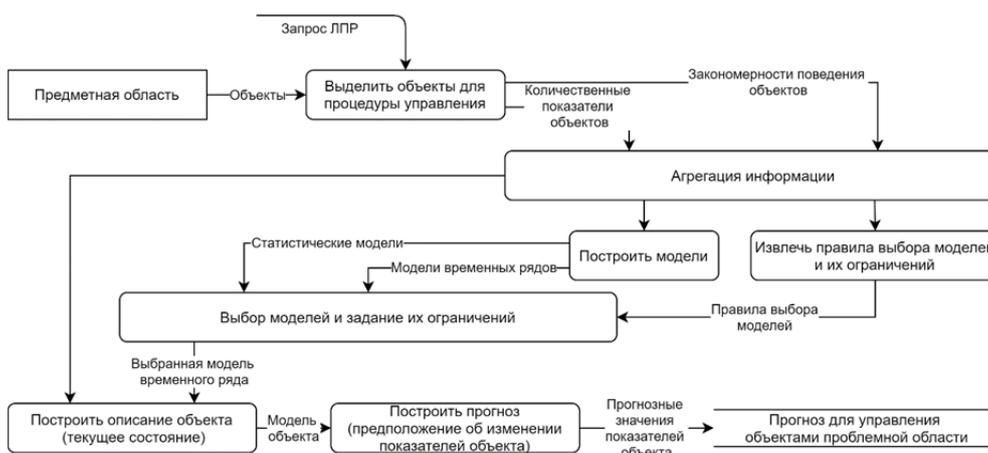


Рис. 2. Анализ динамических данных с использованием контекста

Более подробно процедура моделирования, основанная на данной схеме, описывается в [8]. В соответствии со схемой на рисунке 2 предполагается, что из проблемной области будут извлечены не только временные ряды, но и информация о наиболее общих закономерностях изменения объектов и их показателей, ограничениях, базовых тенденциях. Информация такого рода будет называться контекстной.

Порядок моделирования описывается следующими шагами.

1. Проверить ограничения на моделируемый временной ряд: дискретность, длина больше двух точек.

2. Вычислить тенденции  $Tend_t$  временного ряда по формуле для каждого момента времени  $t > 0$ .

3. Определить универсум для нечетких значений тенденций временного ряда:  $U = \tilde{A}_i, i \in \mathbb{N}$  — количество нечетких множеств в универсуме; нечеткие множества типа 2  $\tilde{A}$  задаются функциями принадлежности треугольного вида, а на втором уровне — интервальные (рис. 1).

4. Получить экспертным или аналитическим методом значения правил о временном ряде в форме множества пар нечетких множеств типа 2:

$$Rules^C = \{ \tilde{A}_i^C \rightarrow \tilde{A}_k^C \},$$

где  $\tilde{A}_i^C$  служит антецедентом правил,  $\tilde{A}_k^C$  — консеквентом правил;  $i, k$  — индексы, задающие отношение следования во времени антецедента и консеквента,  $i < k \leq l$ .

5. Фаззифицировать тенденции временного ряда

$$\tilde{A} = \{ \tilde{A}_t \} = \{ \mu(ts_t - ts_{t-1}) \} \forall t \in [0, \dots, l]$$

и сформировать базу правил:

$$Rules = \{ \tilde{A}_i \rightarrow \tilde{A}_k \},$$

где  $\tilde{A}_i$  служит антецедентом правил,  $\tilde{A}_k$  — консеквентом правил;  $i, k$  — индексы, задающие отношение следования во времени антецедента и консеквента,  $i < k \leq l$ .

6. Дополнить базу правил правилами, полученными из контекста:

$$Rules \cup Rules^C.$$

7. Осуществить коррекцию извлеченных из временного ряда нечетких множеств по контекстным границам интервалов нечетких множеств типа 2:

$$\inf(\tilde{A}_t) = \max(\inf(\tilde{A}_t), \inf(\tilde{A}_t^C)), \sup(\tilde{A}_t) = \min(\sup(\tilde{A}_t), \sup(\tilde{A}_t^C)).$$

8. Применить полученную базу правил для нечеткого логического вывода при моделировании и прогнозировании значений временного ряда.

### 3. Пример анализа

Рассмотрим два проекта. Извлеченные нечеткие временные ряды индикаторов разработки приведены в таблице 1.

Таблица 1

**Извлеченные нечеткие временные ряды индикаторов разработки**

Проект	Временной ряд	Месяц разработки				
		1	2	3	4	5
NG-Tracker	BP коммитов	57	64	76	117	130
	BP участников	3	4	6	6	6
	BP сущностей	7	7	7	7	7
	BP процессов	158	164	164	164	164
Chat	BP коммитов	4	6	95	230	251
	BP участников	1	1	8	8	8
	BP сущностей	5	5	18	18	19
	BP процессов	115	129	206	271	273

Из сравнения проектов NG-Tracker и Chat можно выделить состояние во второй месяц разработки, когда значения индикаторов разработки «количество разработчиков», «количество сущностей», «количество процессов» являлись одинаковыми, тенденции изменения значений также совпадали. Разработка проекта Chat велась раньше проекта NG-Tracker. В проекте Chat наблюдалась стабильность показателя «количество сущностей», тогда как в проекте NG-Tracker этот показатель рос. Для лица, принимающего решения (ЛПР), это может служить сигналом, что увеличивается число отраженных в исходном коде сущностей ПрО, что не всегда оптимально. В то же время в проекте NG-Tracker, в отличие от проекта Chat, наблюдается снижение количества реализованных методов, отражающих бизнес-процессы ПрО. Этот показатель передает сложность реализованной бизнес-логики, что в совокупности с ростом количества сущностей показывает отсутствие прогресса функциональности проекта NG-Tracker.

На основе анализа временных рядов проекта Chat можно сформировать представление о динамике работы разработчиков для использования в будущих проектах, например NG-Tracker. Анализируемые временные ряды двух проектов представлены на рисунке 3.

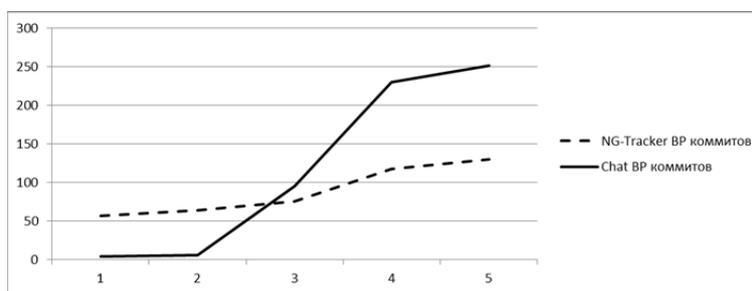


Рис. 3. Временные ряды количества коммитов

Применим схему работы методов, описанную на рисунке 2. Временные ряды проекта Chat будут являться источником контекстной информации для временных рядов. Числовые данные временного ряда и тенденций количества коммитов проекта Chat приведены в таблице 2.

Таблица 2

Временной ряд количества коммитов

Номер месяца	Количество коммитов	Тенденция
1	4	
2	6	2
3	95	89
4	230	135
5	251	21

Универсум нечетких множеств должен покрывать числовой интервал в диапазоне  $[2, 135]$ , то есть границы диапазона определяются как минимальное и максимальное значение из множества значений полученных тенденций временного ряда.

Для примера выберем три нечетких множества типа 2 для фаззификации числового интервала. Такое грубое разбиение поможет продемонстрировать работоспособность алгоритма для коррекции интервалов нечетких множеств типа 2. Результирующее множество с указанием интервалов для нижней и верхней функций принадлежности и фаззифицированный временной ряд:

$$\tilde{A}^c = \{ \tilde{A}_1(2,46)(0,48), \tilde{A}_2(46,88)(44,90), \tilde{A}_3(88,135)(86,137) \},$$

$$\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \tilde{A}_1, \tilde{A}_1 \in U.$$

Правила поведения тенденций, извлеченных из временного ряда, представляются следующим образом:

$$\text{Rules}_1 = \{ \tilde{A}_1 \rightarrow \tilde{A}_2, \tilde{A}_2 \rightarrow \tilde{A}_3, \tilde{A}_3 \rightarrow \tilde{A}_1 \}.$$

Для временного ряда количества коммитов проекта NG-Tracker:

$$\tilde{A} = \{ \tilde{A}_1(7,13)(5,15), \tilde{A}_2(13,26)(11,28), \tilde{A}_3(28,41)(26,43) \},$$

$$\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \tilde{A}_3, \tilde{A}_1, \tilde{A}_1 \in U, \text{Rules}_2 = \{ \tilde{A}_1 \rightarrow \tilde{A}_2, \tilde{A}_2 \rightarrow \tilde{A}_3, \tilde{A}_3 \rightarrow \tilde{A}_1 \}.$$

Временной ряд и набор правил, извлекаемых из временного ряда количества коммитов, будут использоваться в качестве источника контекстной ин-

формации, то есть будем считать, что проект выполнялся ранее и отражает тенденции процессов разработки.  $Rules^C = Rules_1$ ,  $Rules = Rules_2$ . При этом границы нечетких множеств типа 2 могут отличаться. Выполняется объединение наборов правил:

$$Rules^C \cup Rules = \{ \tilde{A}_1 \rightarrow \tilde{A}_3, \tilde{A}_3 \rightarrow \tilde{A}_3, \tilde{A}_3 \rightarrow \tilde{A}_1, \tilde{A}_1 \rightarrow \tilde{A}_1, \tilde{A}_1 \rightarrow \tilde{A}_2, \tilde{A}_2 \rightarrow \tilde{A}_1 \}.$$

Затем нечеткие множества типа 2 корректируются на основе границ интервалов множеств  $A_i^C$ .

Для примера рассмотрим решение задачи прогнозирования временного ряда количества коммитов проекта NG-Tracker на известном участке. Основываясь на базе правил и скорректированных множествах поручим прогноз (рис. 4).

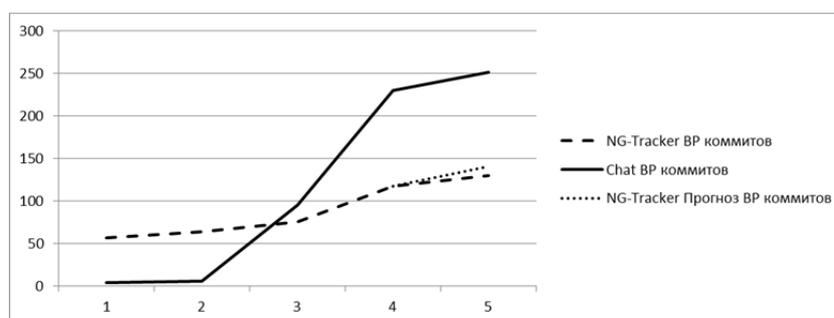


Рис. 4. Прогноз временного ряда количества коммитов

### Заключение

Описывается подход к применению контекстной информации для формирования прогнозов временных рядов. Данный подход позволит ЛПР использовать опыт развития предыдущих проектов при управлении новыми проектами. Указанные методы анализа актуальны для получения необходимых для прогностики сведений — в частности, через использование знаний экспертов и фактических значений динамики показателей. В будущем планируется добавить возможность выделения использованных в проекте технологических особенностей для гибкой настройки прогнозирования состояния похожих проектов [9].

### Список литературы

1. Yu Y. *et al.* Reviewer recommender of pull-requests in GitHub // 2014 IEEE International Conference on Software Maintenance and Evolution. IEEE, 2014. P. 609—612. doi: 10.1109/ICSME.2014.107.

2. Zhang Y. et al. Detecting similar repositories on GitHub // 2017 IEEE 24<sup>th</sup> International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER). IEEE, 2017. P. 13—23. doi: 10.1109/SANER.2017.7884605.

3. Zhu J., Zhou M., Mockus A. Patterns of folder use and project popularity: A case study of GitHub repositories // Proceedings of the 8<sup>th</sup> ACM/IEEE International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement. 2014. P. 1—4. doi: 10.1145/2652524.2652564.

4. Zhang Y. et al. A novel approach for recommending semantically linkable issues in GitHub projects // Science China Information Sciences. 2019. Vol. 62, №9. P. 1—3. doi: 10.1007/s11432-018-9822-1.

5. Kalliamvakou E. et al. An in-depth study of the promises and perils of mining GitHub // Empirical Software Engineering. 2016. Vol. 21, №5. P. 2035—2071. doi: 10.1007/s10664-015-9393-5.

6. Sharma A. et al. Cataloging github repositories // Proceedings of the 21<sup>st</sup> International Conference on Evaluation and Assessment in Software Engineering. 2017. P. 314—319. doi: 10.1145/3084226.3084287.

7. Guskov G., Namestnikov A., Yarushkina N. Approach to the search for similar software projects based on the UML ontology // International Conference on Intelligent Information Technologies for Industry. Cham, 2017. P. 3—10. doi: 10.1007/978-3-319-68324-9\_1.

8. Yarushkina N., Filippov A. A., Moshkin V. S. Development of a knowledge base based on context analysis of external information resources // Proceedings of the International Conference Information Technology and Nanotechnology. Session Data Science. Samara, 2018. P. 24—27. doi: 10.18287/1613-0073-2018-2212-328-337.

9. Романов А. А., Филиппов А. А. Подход к контекстному анализу временных рядов // Автоматизация процессов управления. 2021. № 1. С. 46—55.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Предисловие</b> .....	7
<b>Пленарные доклады</b>	
<i>Румовская С.Б., Колесников А.В., Литвин А.А.</i> Компьютерная персонализированная диагностика. Проблемы и перспективы.....	9
<i>Еремеев А.П.</i> Создание интегрированной инструментальной среды для интеллектуальной поддержки принятия решений при мониторинге и управлении сложными техническими и организационными системами.....	34
<i>Колесников А.В., Барзенков А.В.</i> Семиотическая модель концептосферы Модели Мира субъекта деятельности по разработке и применению когнитивных гибридных интеллектуальных систем.....	44
<b>Секция 1. Методы и модели гибридных и интегрированных интеллектуальных систем</b>	
<i>Анцыферов С.С., Фазилова К.Н.</i> Контроль качества функционирования гибридных интеллектуальных систем.....	139
<i>Березкин Д.В., Козлов И.А., Мартынюк П.А.</i> Гибридный подход к прогнозированию возникновения и развития новых направлений в научно-технической сфере..	143
<i>Варламов О.О., Терехов В.И., Сухобоков А.А., Гапанюк Ю.Е.</i> Использование многомерной открытой гносеологической активной сети (MOGAN) в гибридных интеллектуальных информационных системах.....	151
<i>Клачек П.М., Либерман И.В., Корягин С.И., Картушина И.Г.</i> Развитие гибридного вычислительного интеллекта методом генезиса знаний.....	159
<i>Кобринский Б.А.</i> Принципы построения гибридной лингвообразной медицинской системы.....	171
<i>Курило Д.С., Мошкин В.С.</i> Разработка системы гибридного детектирования аномалий временных рядов.....	178
<i>Новикова Г.М.</i> Интеграция машинного обучения и экспертных знаний в интеллектуальной корпоративной инфокоммуникационной системе.....	184
<i>Рыбина Г.В., Слинъков А.А., Григорьев А.А.</i> Онтологии как средство управления процессами построения и использования интегрированных экспертных систем различной архитектурной типологии.....	190
<i>Седых И.А., Истомина В.А.</i> Иерархические динамические нейро-окрестностные модели с переменными окрестностями.....	199
<i>Суров И.А.</i> Квантовая модель субъективной семантики ситуаций принятия решений.....	205
<i>Фридман А.Я., Кулик Б.А.</i> Ситуационная концептуальная модель для системы ситуационных центров.....	213
<b>Секция 2. Интеллектуальные системы в науке, образовании, медицине, экономике и промышленности</b>	
<i>Березкин Д.В., Козлов И.А., Мартынюк П.А.</i> Применение технологии глубоких нейронных сетей для создания системы мониторинга развития технологических направлений на основе построения структурных моделей текстовых документов.....	221
<i>Гаврилова Т.А., Кротов К.В.</i> Об опыте онлайн-переподготовки преподавателей вузов в области искусственного интеллекта.....	229

<i>Галкин А. В., Сараев П. В., Сысоев А. С., Хабибуллина Е. Л.</i> Гибридная модель региональной интеллектуальной транспортно-логистической системы.....	236
<i>Дырnochкин А. А., Мошкин В. С.</i> Разработка системы автоматического извлечения неструктурированных данных из библиографических записей.....	250
<i>Елетин Е. В., Боровкова Г. С., Галкин А. В.</i> Алгоритм решения задачи составления расписания движения нескольких локомотивов.....	258
<i>Коробейников А. Г.</i> Применение MATLAB для машинного обучения.....	263
<i>Ничепорчук В. В.</i> Интеллектуальная поддержка управления природно-техногенной безопасностью территорий.....	268
<i>Строева Ю. В., Филиппов А. А.</i> Организация интеллектуальной системы поиска программных проектов.....	276
<i>Тягунов О. А.</i> Об одной задаче использования интеллектуальных технологий для повышения эффективности итеративных вычислительных алгоритмов.....	281

**Секция 3. Многоагентные системы,  
синергетический и роевой искусственный интеллект,  
распознавание образов, интеллектуальная робототехника**

<i>Воронин К. А., Демидов Д. В., Плетнева А. А.</i> Автоматическая сегментация строк в текстах на церковнославянском языке.....	286
<i>Марьясин О. Ю., Лукашов А. И.</i> Моделирование мультиагентной системы управления режимами сети Smart Grid на базе обучения с подкреплением.....	293
<i>Мухитов Э. И., Мухитов В. Э.</i> Интероперабельность мультиагентных систем военного назначения.....	301
<i>Никитина М. А.</i> Применение технологии машинного обучения к методам контроля.....	307
<i>Тарачков М. В., Толстель О. В., Калабин А. Л.</i> Разработка системы управления промышленным роботом ДР-1 для решения задачи подготовки к упаковке охлажденных полуфабрикатов.....	316

**Секция 4. Нечеткие модели, онтологии,  
мягкие и интеллектуальные вычисления**

<i>Андреев И. А., Мошкин В. С.</i> Построение унифицированной базы знаний на основе данных профилей социальных сетей.....	324
<i>Борисов В. В.</i> Нечеткие реляционные когнитивные темпоральные модели для анализа и многомерного прогнозирования состояния сложных систем и проблемных ситуаций.....	332
<i>Виноградов Г. П., Конюхов И. А.</i> Система управления FUZZY SMART MOT WSN.....	339
<i>Городецкий А. Е., Тарасова И. Л.</i> Логико-лингвистические оценки рисков при выборе оптимального маршрута движения.....	347
<i>Долгий А. И., Ковалев С. М., Колоденкова А. Е.</i> Интерпретируемость и дизайн нечетких интерпретируемых систем.....	359
<i>Кулик Б. А., Фридман А. Я.</i> Соотношение между задачами вывода следствий и удовлетворения ограничений.....	365
<i>Мунтян Е. Р., Литвиненко В. Н.</i> Организация сбора и представления данных для формирования онтологии.....	373
<i>Павлов А. В., Гаугель А. О.</i> Принятие решений в противоречивых условиях: влияние индивидуальных особенностей лица, принимающего решение, на выбор альтернативы.....	379
<i>Романов А. А., Филиппов А. А., Бармина А. В., Скалкин А. М.</i> Методы предиктивной аналитики в разработке программных систем.....	388