

ОНТОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

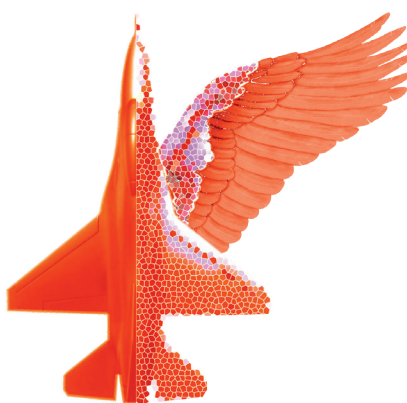


№ 4(10)/2013

ОНТОЛОГИЯ
ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Научный журнал

№ 4(10)



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

Белоусов Анатолий Иванович, д.т.н., профессор, СГАУ, г. Самара
 Боргест Николай Михайлович, к.т.н., профессор СГАУ, член ИАОА, г. Самара
 Голенков Владимир Васильевич, д.т.н., профессор, БГУИР, г. Минск
 Городецкий Владимир Иванович, д.т.н., профессор, СПИИРАН, г. Санкт-Петербург
 Валькман Юрий Роландович, д.т.н., профессор, МНУЦ ИТиС НАН и МОН Украины, г. Киев
 Васильев Станислав Николаевич, академик РАН, ИПУ РАН, г. Москва
 Виттих Владимир Андреевич, д.т.н., профессор, ИПУСС РАН, г. Самара
 Загоруйко Николай Григорьевич, д.т.н., профессор, ИМ СО РАН, г. Новосибирск
 Клещёв Александр Сергеевич, д.ф.-м.н., профессор, ИАПУ ДВО РАН, г. Владивосток
 Комаров Валерий Андреевич, д.т.н., профессор, СГАУ, г. Самара
 Крылов Сергей Михайлович, д.т.н., профессор, СамГТУ, г. Самара
 Курейчик Виктор Михайлович, д.т.н., профессор, Технологический институт ЮФУ, г. Таганрог
 Массель Людмила Васильевна, д.т.н., профессор., ИСЭМ СО РАН, г. Иркутск
 Пиявский Семен Авраамович, д.т.н., профессор, СГАСУ, г. Самара
 Ржевский Георгий Александрович, профессор, Открытый университет, г. Лондон, Великобритания
 Скобелев Петр Олегович, д.т.н., НПК “Разумные решения”, г. Самара
 Смирнов Сергей Викторович, д.т.н., ИПУСС РАН, член ИАОА, г. Самара
 Соллогуб Анатолий Владимирович, д.т.н., профессор, ГНПРКЦ “ЦСКБ-Прогресс”, г. Самара
 Соснин Петр Иванович, д.т.н., профессор, УлГТУ, г. Ульяновск
 Сулейманов Джавдет Шевкетович, академик, вице-президент АН РТ, г. Казань
 Таллер Роберт Израилевич, д.филос.н., профессор, СГАУ, г. Самара
 Федунев Борис Евгеньевич, д.т.н., профессор, ГосНИИ Авиационных систем, г. Москва
 Шарипбаев Алтынбек, д.т.н., профессор, Институт искусственного интеллекта, г. Астана, Казахстан
 Шведин Борис Яковлевич, к.психол.н., ООО “Дан Роуз”, член ИАОА, г. Ростов-на-Дону

Исполнительная редакция журнала

| | | |
|----------------------|---------------|---------------------------------------|
| Главный редактор | Смирнов С.В. | директор ИПУСС РАН |
| Выпускающий редактор | Боргест Н.М. | директор издательства “Новая техника” |
| Редактор | Козлов Д.М. | профессор СГАУ |
| Технический редактор | Шустова Д.В. | СГАУ |
| Редактор перевода | Коровин М.Д. | СГАУ |
| Дизайнер | Симонова А.Ю. | издательство “Новая техника” |

РАБОЧИЕ КОНТАКТЫ**ИПУСС РАН**

443020, Самара, ул. Садовая, 61.
 тел.: +7 (846) 332 39 27, факс.: +7 (846) 333 27 70

Смирнов С.В.
 smirnov@iccs.ru

СГАУ

443086, Самара, Московское шоссе 34, корп. 10, кафедра КиПЛА
 тел.: +7 (846) 267 46 47, факс.: +7 (846) 267 46 46

Боргест Н.М.
 borgest@yandex.ru

Издательство “Новая техника”

443010, Самара, ул. Фрунзе, 145, тел.: +7 (846) 332 67 84, факс: +7 (846) 332 67 81

Сайт журнала: http://agora.guru.ru/scientific_journal/

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). Номер контракта 64-03/2012.



Smart Solutions
 Living schedules - easy as 1-2-3

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ «РАЗУМНЫЕ РЕШЕНИЯ»
<http://www.smartsolutions-123.ru/>

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство ПИ № ФС 77-46447 от 7.09.2011 г.



Отпечатано в издательстве “Новая техника” © Все права принадлежат авторам публикуемых статей
 Подписано в печать 30.12.2013. Тираж 300 экз. © Издательство “Новая техника”, 2011, 2012, 2013

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|----|
| От редакции | |
| “STANDING ON THE SHOULDERS OF GIANTS” | 5 |
| Дёмин И.В. | 7 |
| БЕССМЕРТИЕ КАК ПРОЕКТ: СМЕРТЬ И БЕССМЕРТИЕ ЧЕЛОВЕКА В КОНТЕКСТЕ ГУМАНИСТИЧЕСКОГО И ТРАНСГУМАНИСТИЧЕСКОГО ТИПОВ МИРОВОЗЗРЕНИЯ | |
| Нечаев Ю.И. | 18 |
| КОМПЛЕКСНАЯ ОНТОЛОГИЯ НЕЙРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ: СТРУКТУРНАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ | |
| Клещев А.С., Черняховская М.Ю., Шалфеева Е.А. | 28 |
| ПАРАДИГМА АВТОМАТИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. ЧАСТЬ 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОТРАСЛИ | |
| Черняховская Л.Р., Малахова А.И. | 42 |
| РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММНЫМИ ПРОЕКТАМИ | |
| Пиявский С.А. | 53 |
| ПРОГРЕССИВНОСТЬ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ | |
| Курейчик В.М. | 60 |
| ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ, ИНСПИРИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫМИ СИСТЕМАМИ | |
| Левин В.И. | 72 |
| ИНТЕРВАЛЬНАЯ ПРОИЗВОДНАЯ И НАЧАЛА НЕДЕТЕРМИНИСТСКОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ | |
| НАУЧНЫЕ КОНФЕРЕНЦИИ 2014 г. | 85 |
| XIV международная конференция ИАИ-2014 | |
| XVI международная конференция ПУМСС-2014 | |
| XIX Байкальская конференция ИМТ-2014 | |
| 8-я международная конференция ФОИС-2014 | |
| ИНФОРМАЦИЯ ОТ ПАРТНЕРА ЖУРНАЛА | 87 |
| РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ИЗДАНИЯ | 88 |

CONTENT

| | |
|--|----|
| From the Editors | |
| “STANDING ON THE SHOULDERS OF GIANTS” | 5 |
| I.V. Demin | 7 |
| IMMORTALITY AS A PROJECT: DEATH AND THE IMMORTALITY OF MAN IN THE CONTEXT OF HUMANISTIC AND TRANSHUMANIST TYPES OF WORLDVIEW | |
| Yu.I.Nechaev | 18 |
| COMPLEX ONTOLOGY FOR A NEURODYNAMIC SYSTEM IN THE MODERN CATASTROPHE THEORY: STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CONFIGURATION | |
| A.S. Kleshev, M.Y. Chernyakhovskaya, E.A. Shalfeeva | 28 |
| THE PARADIGM OF AN INTELLECTUAL PROFESSIONAL ACTIVITY AUTOMATION. PART 2. AUTOMATION OF BRANCH | |
| L.R. Chernyakhovskaya, A.I. Malakhova | 42 |
| DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL DECISION SUPPORT MODELS AND METHODS BASED ON ONTOLOGY OF SOFTWARE PROJECTS ORGANIZATION MANAGEMENT | |
| S.A. Piyavsky | 53 |
| PROGRESSIVITY OF MULTICRITERIA ALTERNATIVES | |
| V.M. Kureychik | 60 |
| PERSPECTIVE INFORMATION TECHNOLOGIES BASED ON THE METHODS INSPIRED BY NATURAL SYSTEMS | |
| V.I. Levin | 72 |
| THE INTERVAL DERIVATIVE AND THE BASIS OF NONDETERMINISTIC DIFFERENTIAL CALCULUS | |
| CONFERENCES IN 2014 | 85 |
| XIV International Conference IAI-2014 | |
| XVI International Conference CS: CMP-2014 | |
| XIX Baikal Conference IMT-2014 | |
| The 8th International Conference FOIS 2014 | |
| NEWS FROM THE PARTNER JOURNAL | 87 |
| RECOMMENDED BOOKS | 88 |

«STANDING ON THE SHOULDERS OF GIANTS»¹**Коллеги, соратники, друзья!**

Мы держим в руках юбилейный 10-й выпуск нашего с вами журнала.

Мы ощущаем материализованную часть нашей интеллектуальной деятельности.

Траектории онтологического «мейнстрима» в современной информационной науке и огромный накопленный опыт проектных практик в различных предметных областях пересеклись. Для осмысления проектирования как деятельности по моделированию образов будущего потребовался, стал насущной необходимостью онтологический анализ с включением в объект исследования субъектов и среды проектирования. Предметная область стала богаче самим процессом создания артефакта, внутренней работой творцов-проектантов. Конечно, опорой для нас служили и продолжают служить «плечи гигантов». Именно выстроенные теории, гипотезы, прочувствованные и описанные смыслы, результаты наблюдений и обобщения помогают последователям в реализации осуществлять и овеществлять познания, создавая новые объекты, модели и теории.

Редакционные заметки – это наш стиль, наше понимание просветительской роли научно-го журнала, это обращение к нашей смене, к молодежи. Краткие итоги этой работы ниже.

В своем нулевом, а фактически первом номере журнала, где мы определили вектор наших научных устремлений, мы вспомнили «Весёлую науку» и «шутили» вместе с Фридрихом Ницше. Чего стоит сакраментальное: «Даже свои мысли нельзя вполне передать словами». Во втором номере уподобились Сократу и выстроили свою апологию онтологии проектирования. Третий номер об ученике Сократа Платоне, для которого истина дороже дружбы, а четвёртый - об ученике Платона – Аристотеле, который завещал нам «догонять тех, кто впереди».

В пятом номере вспомнили нетленные принципы генерала Н.Д. Кузнецова, всемирно известного конструктора авиационных и ракетных двигателей. В шестом - искали точки отсчёта вместе с Парменидом. Седьмой номер посвятили Левкиппу, учителю Демокрита, и рассуждали о цели бытия. Эпикур настроил нас на работу и любовь к ней в восьмом номере. В девятом номере гениальный Евклид открыл нам «Начала» современной онтологии.

Юбилейный номер журнала напомнит нам о том, что «всё течёт, всё меняется» и авторе этого изречения - Гераклите.

Гераклит Эфесский (др.-греч. Ἡράκλειτος ὁ Ἐφέσιος, 544—483 гг. до н. э) — древнегреческий философ. Единственное его сочинение, от которого сохранилось только несколько фрагментов-цитат, — книга, состоявшая из трех частей: «О природе», «О государстве», «О боге». Гераклит - основатель первой исторической или первоначальной формы диалектики. Ему приписывается авторство известной фразы «Всё течёт, всё меняется» (др.- греч. Πάντα ῥεῖ καὶ οὐδὲν μένει). Однако точный перевод с греческого означает: «Всё течёт и движется, и ничего не пребывает».

Среди множества разного рода астрономических, метеорологических и вообще физических суждений Гераклита упоминается о значении идеи противоположности для философии: «Всё возникает по противоположности и всею цельностью течёт, как река». Им же обосновано

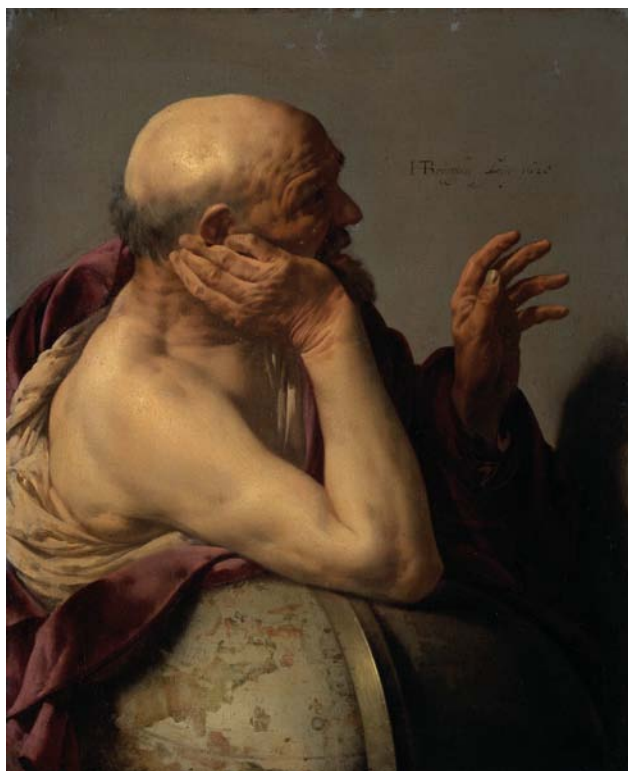
¹ «Мы стоим на плечах гигантов» - известное выражение Исаака Ньютона, высказанное им в письме Роберту Гуку, в котором он описывает, как его работа была основана на знании тех, которые были до него. Эта надпись также украшает фунт стерлингов.

выдается необходимость войн и раздоров, а также достижения всеобщего согласия только в период мирового пожара.

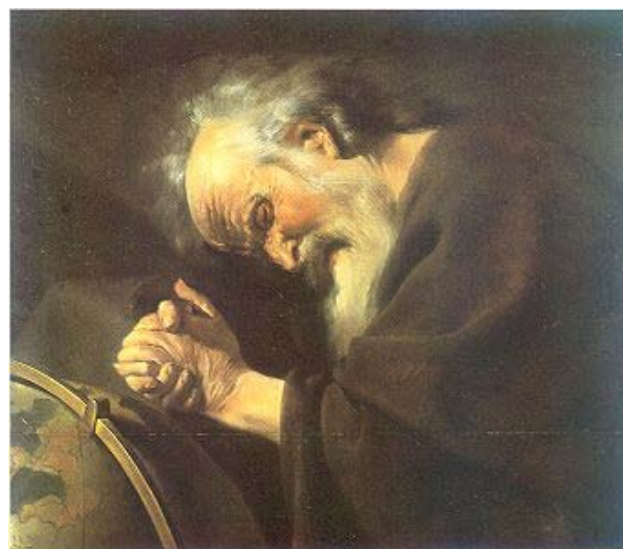
Достоверных сведений о жизни Гераклита сохранилось немного. Он родился и жил в малоазийском городе Эфесе. По некоторым данным, Гераклит принадлежал к роду басилевсов (царей-жрецов), однако добровольно отказался от привилегий, связанных с происхождением, в пользу своего брата. Об учениках Гераклита ничего не известно, однако его интеллектуальное влияние на последующие поколения античных мыслителей значительно. С сочинением Гераклита были знакомы Сократ, Платон, Аристотель, а его последователь Кратил стал героем платоновского диалога.

Удивительным, на наш взгляд, является попытка воспроизвести образ великого мыслителя. Так, спустя два тысячелетия голландские художники практически одновременно попытались представить портрет Гераклита, выбрав глобус в качестве опоры композиции. Возможно, голландским художникам было известно нечто большее, чем нашим современникам, которые утверждают, что Аристотель был первый, кто заявил о шарообразности Земли и других планет, а первый глобус был создан лишь около 150 года до н.э. Кратесом Малльским. Может быть, идея глобуса была заимствована Аристотелем у Гераклита и поэтому нашла свое отражение на холстах художников.

«Ум - бог для каждого»



«Всё течёт, всё меняется»



Гераклит
(ок. 1630, Утрехтский Центральный музей)
Йоганн Паульсон Морельсе (1603?-1634)

Heraclitus
(1628, Амстердам, Королевский музей)
Хендрик Тербрюгген (1588–1629)

Поздравляя своих читателей, авторов и членов нашей редколлегии с юбилейным выпуском журнала, мы ориентируемся на совет великого Гераклита:

«Взаимную беседу следует вести так, чтобы каждый из собеседников извлёк из нее пользу, приобретая больше знаний».

Читайте, пишите, обогащайтесь и делитесь знаниями!!!

До встречи в **Scopus**! Ведь нам уже 2 года!

УДК 124.3

БЕССМЕРТИЕ КАК ПРОЕКТ: СМЕРТЬ И БЕССМЕРТИЕ ЧЕЛОВЕКА В КОНТЕКСТЕ ГУМАНИСТИЧЕСКОГО И ТРАНСГУМАНИСТИЧЕСКОГО ТИПОВ МИРОВОЗЗРЕНИЯ

И.В. Дёмин

Самарский государственный аэрокосмический университет им. академика С.П. Королева
(национальный исследовательский университет), Самара, Россия

Ilyadem83@yandex.ru

Аннотация

В статье проводится сравнительный анализ представлений о смерти и бессмертии в контексте гуманистического и трансгуманистического типов мировоззрения. Выявляются особенности интерпретации идеи бессмертия в философии русского космизма и в современном трансгуманизме («бессмертие» предстаёт здесь в качестве проекта и цели человеческого существования). Проводятся параллели между христианской и трансгуманистической трактовками идеи бессмертия.

Ключевые слова: гуманизм, трансгуманизм, христианство, русский космизм, мировоззрение, смерть, бессмертие, кибернетическое бессмертие, проект, цель.

Введение

Актуализация вопроса о смерти и бессмертии человека в контексте современных мировоззренческих дискуссий связана, прежде всего, с возникновением и распространением трансгуманистических идей. Трансгуманизм представляет собой новое мировоззрение, которое усматривает главную (конечную) цель человеческих устремлений в преодолении природной обусловленности человека, символом и квинтэссенцией которой выступает смерть, смертность человеческого существа. Трансгуманизм актуализирует многие идеи, сформулированные в русском космизме и в целом ряде других философских и религиозно-философских учений (в т.ч. в «христианском эволюционизме» Тейяра де Шардена).

Вопрос о смерти, как это неоднократно отмечалось в философской и религиозной литературе, находится в центре всякого мировоззрения. Протоиерей Александр Шмеман писал: «В конечном итоге, отношение человека к жизни, то, что мы называем его мироощущением или мировоззрением, определяется на глубине его отношением к смерти» [1]. С вопросом о смерти неразрывно связан и вопрос о бессмертии. По сути, здесь не два вопроса, но один. И этот вопрос о смерти и бессмертии человеческого существования является своего рода «пробным камнем» для всякого мировоззрения.

1 Понимание смерти и бессмертия в контексте гуманистического мировоззрения

Трактовка смерти и бессмертия в светском или секулярном гуманизме, в конечном счёте, вытекает из характерного для этого мировоззрения понимания жизни. В системе ценностных координат секулярного гуманизма высшей ценностью выступает человек (личность), а не жизнь. В.А. Кувакин пишет об этом: «Приоритетна не жизнь а человек, поскольку именно личность есть, личность живет, личность существует, тогда как жизнь, какой бы значимой и ценной она ни казалась, есть не более чем способ бытия личности как обладателя, владель-

ца жизнью, ее хозяйина и властелина, хотя это и не исключает возможности превращения властелина в раба жизни» [2, с. 184] (курсив мой – И.Д.). Заметим, что такое понимание соотношения жизни и её «носителя» (то есть *личности*) является радикально *антихристианским*. В христианстве человек – не *собственник* своей жизни, а лишь её *управитель, устроитель и распорядитель*. Отсюда, кстати, и радикальное неприятие самоубийства в христианстве. Самоубийство – это дерзкая и самонадеянная попытка человека присвоить то, что ему не принадлежит, то, что *даровано* Богом.

Если человек есть *хозяин и властелин* жизни, то он может распоряжаться ею по своему усмотрению, в том числе и *прекратить её*, коль скоро она не оправдала возложенных на неё надежд или стала в тягость. «Мы с полным правом можем сказать, – пишет В.А. Кувакин, – что если человек живет, то он хозяин своей жизни. Хороший или плохой, полноправный или нет, но он – пока жив – ее владелец» [2, с. 185]. Христианская же точка зрения состоит в том, что если человек живёт, то он живёт с Богом, в Боге и благодаря Богу, так как Бог – это и есть Жизнь или Бытие.

Жизнь, осмысленная в секулярном гуманизме как *собственность* личности, всегда *конечна*. Наиболее ярко конечность и ограниченность собственной (то есть *находящейся в собственности* у личности) жизни проявляется в феномене *смерти*: «у жизни есть свои пределы. За ее пределами – смерть» [3]. Как понимается *смерть* в секулярном гуманизме? Смерть – это «естественный конец всякого живого существа, в том числе и человека» [2, с. 185]. «Отличие смерти от всякого другого явления в живой природе состоит в том, что мы не можем рассказать о ней “изнутри”, из состояния смерти, либо, будучи за ее чертой, сообщить о ней кому-то из живущих, то да как нам кажется, что если бы мы знали о том, что такое смерть, то получили бы какое-то совершенно уникальное знание и, возможно, обрели бы не только знание смерти, но и само бессмертие» [2, с. 192].

Гуманизм признаёт *естественность*, а, следовательно, и *необходимость* смерти. Смерть – это *атрибутивная характеристика* всякого человеческого существования и, в целом, всякой жизни, всего живого. Живёт то, что смертно. То, что не умирает и не может умереть, то и не живёт. Такова устоявшаяся формула, ставшая для многих философских направлений чем-то само собой разумеющимся. В гуманистическом мировоззрении эта идея находит, пожалуй, наиболее полное своё выражение.

В секулярном гуманизме смерть, по сути, становится *мерой* человеческой жизни. Человек существует и осознаёт себя в качестве человека всегда и только *перед лицом смерти*. Человек способен ощутить себя живущим, лишь постольку, поскольку он знает о своей смертности. «Интеграция смерти – через ее особое ощущение, переживания и осознание – в человеческую жизнь делает человека носителем особого качества, которое условно можно обозначить как смертность. Несмотря на то, что объект этого качества никогда не дан жизни и находится с ней в отношении абсолютной несовместимости, смерть особым образом входит в человека, играя в жизни каждого из нас огромную роль. *Обрамляя своей ослепляющей темнотой пространство жизни, смерть, как кажется, невольно, не желая того, придает ей особую ценность, яркость, особенную уникальность и прелесть*; жизнь становится для нас особенно дорогой и близкой, заслуживающей уважения и высокой оценки хотя бы потому, что она – не смерть, а *антисмерть* и что ее можно утратить» [2, с. 194] (курсив мой – И.Д.).

В конечном счёте, если смерть и не есть то, что *придаёт* жизни смысл и ценность, то, во всяком случае, можно сказать, что только *конечная*, то есть *смертная* жизнь может обладать для человека ценностью. Ведь жизнь – это *ресурс*, находящийся в собственности и в распоряжении личности, и этот ресурс ценен лишь потому, что он *ограничен*. Мы «ценим» жизнь, дорожим ею лишь потому, что она *конечна, смертна*. «Гуманизм превращает смерть в осо-

бого рода ценность, заставляет ее служить жизни и достоинству человека, превращает эту разрушительную силу в последний всплеск жизни непобедимого человека. Умереть по-человечески – это значит быть и оставаться человеком до конца» [2, с. 195]. Поэтому «психология гуманизма включает в себя элементы трагизма, стоицизма и героизма перед лицом смерти» [2, с. 195].

В.А. Кувакин в своей трактовке смерти приводит тезис, который часто встречается в экзистенциально ориентированной философии: смерть есть то, что делает жизнь именно *нашей* жизнью, именно через смерть, через осознание своей смертности мы осознаём жизнь как проявление и творение *нашей* личности. И через это смерть приобретает для нас особую ценность: «Смерть заставляет нас лучше понимать жизнь, заставляет безоглядно бросаться в ее объятия, и вместе с тем вырабатывать к ней особенно острое и проникновенное, точнее, сокровенное отношение. Жизнь осознается теперь как не гарантированная нам абсолютным образом, она становится «альтернативной», так как у нее появляется соперник и «антидублер». Теперь мы не просто живем, а выбираем жизнь, становящуюся не безликим жизненным потоком, а обоснованной нами, нашим выбором, т.е. нашей свободой. Теперь это наша жизнь» [2, с. 194-195].

Наиболее отчетливо несовместимость гуманистического понимания жизни и смерти с христианским мировоззрением проявляется, пожалуй, в фундаментальной для гуманизма идее *права человека на жизнь и смерть*. Человек в секулярном гуманизме, с самого начала понимается как субъект, *обладающий неотъемлемым правом на жизнь* и, следовательно, на её прекращение (то есть *смерть*). «Отношения человека со смертью, – пишет В.А. Кувакин, – важная часть его жизни, и она имеет особую и благоую ценность. В том числе и связанную с правом человека на жизнь и на смерть, т.е. с его правом приоритетного распоряжения своею жизнью в полном ее объеме и временных рамках» [2, с. 197]. В горизонте христианского миропонимания сама идея «права человека на жизнь и смерть» представляется кощунственной: жизнь – это *дар* Бога человеку, а не собственность и неотъемлемое право личности.

Коль скоро смерть в контексте секулярного гуманизма рассматривается как *естественный конец человеческого существования*, как атрибутивная характеристика человека и как фактор, обуславливающий ценность самой человеческой жизни, то вполне закономерно, что *бессмертие* предстаёт здесь в качестве *самообмана*, вредной *иллюзии*, препятствующей полноценному человеческому бытию. «Гуманист считает, что доктрина бессмертия практически нереалистична и даже вредна. Она произрастает из страха и одержимости идеей смерти. Тот, кто верит в бессмертие, концентрирует свое внимание на смерти, но он старается отвергнуть ее устрашающую реальность. Для гуманиста это означает, что страх перед лицом конечности, смерти делает человека неспособным видеть жизнь такой, какова она есть на самом деле» [4]. Такой ход мысли основан на убеждении в том, что именно секулярный гуманизм приемлет жизнь такой, какова она «на самом деле», тогда как, например, религиозное сознание предпочитает иллюзии, центральной и наиглавнейшей среди которых, несомненно, является иллюзия бессмертия.

Книга одного из наиболее значительных представителей светского гуманизма, К. Ламонта, так и называется – «Иллюзия бессмертия». «Знание того, что бессмертие есть иллюзия, освобождает нас от всякого рода озабоченности по поводу смерти. Это знание делает смерть в каком-то смысле неважной, оно освобождает всю нашу энергию и время для осуществления и расширения счастливых возможностей на этой доброй земле. Оно порождает сердечное и благодарное принятие богатого опыта, доступного для человеческой жизни среди изобильной природы. Это знание приносит человеку силу, глубину и зрелость, оно делает возможной простую, понятную и вдохновляющую философию жизни» [5, с. 285]. Опыт человеческого существования не подтверждает эту мысль К. Ламонта: «знание» о том, что

бессмертие есть иллюзия, вовсе не освобождает человека от страха смерти. Скорее, наоборот, такого рода «знание» *усугубляет* наш страх. Следует обратить внимание, что о *знании* в строгом смысле слова здесь, конечно же, говорить нельзя. Подобно тому, как религиозная вера в бессмертие души не является *знанием* о бессмертии, так же и утверждение секулярного гуманизма «бессмертие есть иллюзия» нельзя считать *знанием в строгом смысле слова*. Это не знание, а исходная мировоззренческая *презумпция*.

Острые критики секулярного гуманизма направлены не столько против *идеи* бессмертия, сколько против *веры* в бессмертие, а сама эта критика представляет собой не что иное, как выявление психологической и/или социокультурной подоплёки этой веры.

В секулярном гуманизме критика веры в бессмертие, разоблачение этой веры как иллюзии опирается на понимание смерти как *неизбежности*. «Экзистенциальная коллизия, – пишет П. Куртц, – состоит в том, что каждому придется умереть; и хотя большую часть жизни каждый волен не обращать на это внимания, он не может, в конце концов, избежать смерти. Даже в тот момент, как человек родился, он уже достаточно прожил, чтобы умереть» [4]. Практически ту же самую мысль о неизбежности смерти приводит и В.А. Кувакин в своей книге: «Особенность смерти ... в том, что еще никто не сумел ее избежать, хотя практически каждый человек живет по большей части так, как если бы для него, именно для него, смерти не существовало. И наоборот, мы живем, несмотря на то, что время от времени чувствуем неотвратимость своей смерти» [2, с. 195]. Смерть *неизбежна*, независимо от того, признаёт и замечает это человек или нет, а потому вера в бессмертие есть иллюзия и самообман.

Обратим внимание на две характеристики смерти в секулярном гуманизме, которые весьма плохо согласуются друг с другом. С одной стороны смерть характеризуется как *естественный* конец всякой (в том числе и человеческой) жизни, с другой стороны, смерть определяется как *неизбежность*, с которой рано или поздно столкнётся каждый человек. Первая характеристика является *метафизической*, вторая – *оценочной*. Смерть в одно и то же время является и атрибутивной характеристикой человеческого существования, и «печальным фактом», некоей изначальной данностью, перед которой человек вынужден смириться. В этом смысле *смерть* радикально отлична от иных сущностных характеристик человеческого существования. Так, мы не говорим о *сознании*, что оно является «неизбежностью», мы не говорим о *языке*, что он является «неизбежностью», хотя и «сознание» и «язык» – это сущностные «параметры» человеческого бытия.

О смерти же мы говорим: *она неизбежна*. Однако уже само полагание смерти как *чего-то неизбежного* выдаёт в человеке подспудное *несогласие с ней*. Ведь мы можем характеризовать смерть как *неизбежность* только в горизонте возможного *преодоления* этой неизбежности, только если в нас есть стремление её *избежать*.

Смерть либо *естественна*, либо *неизбежна*. Следует признать что-то одно. Если смерть *естественна*, если она есть атрибут, сущностная характеристика нашего *естества*, тогда нелепа сама мысль о возможности её избежать и, соответственно, некорректна характеристика смерти как *неизбежности*. Если же смерть понимается как *неизбежность*, то она сразу же попадает в поле *человеческой активности* и «*заинтересованности*». Неизбежность чего-либо мы всегда констатируем с грустью и/или с тайной надеждой при благоприятных условиях это изменить, *избежать неизбежности*.

Секулярный гуманизм предостерегает от *недолжного* отношения к смерти, но сущность смерти в контексте этого мировоззрения остаётся не до конца прояснённой: «Гуманизм, – пишет В.А. Кувакин, – с самого начала предостерегает от двух одинаково антигуманных, деструктивных и экстремальных отношений человека к смерти, от некрофильства и некрофобии. В конечном счете и любовь к смерти и всепоглощающий страх перед ней суть патологические состояния личности, когда разум и сознание человека парализуются, разрушаются

и он поглощается каким-либо из двух этих специфически наполненных чувств, практически выходя из жизни уже при жизни» [2, с. 195]. Каково же *должное* отношение к смерти (к нашей собственной смерти и к смерти других людей)? Принять её как *данность*, как некий *фон* нашего существования, смириться перед *фактом* смерти? Но что-то в человеческом существе постоянно противится такому пониманию смерти: человек не может, не считает себя вправе смиряться перед лицом смерти и отказывается принимать её как данность, как некое исходное «условие игры», что и находит своё выражение, в частности, в разговорах о «неизбежности смерти».

Проблема смерти и бессмертия – это пробный камень для секулярного гуманизма. Мнимое смирение новоевропейского субъекта перед своей собственной *внутренней* природой, то есть перед фактом собственной смерти – это оборотная сторона насилия над природой *внешней*. «Пассивность» перед лицом смерти – это изнанка гуманистического самовозвеличивания человека.

Неспособность предложить адекватное решение ключевой, важнейшей мировоззренческой проблемы, проблемы смерти, высвечивает несостоятельность, *тупиковость* этого мировоззрения в условиях современной цивилизации. Попытка предложить выход из глобального тупика, опираясь на секулярное гуманистическое мировоззрение и антропоцентристское понимание человека, заранее обречена на неудачу.

2 Трактовка смерти в философии русского космизма и в трансгуманизме. Бессмертие как проект и цель

Вопреки тому, что утверждают сторонники секулярного гуманизма, *желание бессмертия* и стремление преодолеть смерть укоренены не в тех или иных исторически и социально обусловленных *формах культуры* (см. об этом в [5]), но в самой *структуре человеческого бытия*. Тяга к бессмертию проистекает из исходной и фундаментальной способности человека к *самотрансцендированию*, к преодолению наличных условий, форм и границ своего существования. Человек, говоря словами Ж.-П. Сартра, есть «*проект самого себя*» [6]. Стремление к бессмертию *имманентно* самому человеческому бытию и, в сущности своей, не зависит от социально-культурного контекста. Это *экзистенциальный* феномен, инвариантный по отношению к различным социокультурным условиям.

Какое мировоззрение в наибольшей степени выражает экзистенциальную потребность человека не просто в *вере в бессмертие*, но и в реальном его *достижении*? С некоторой долей условности это мировоззрение можно обозначить как «*трансгуманизм*».

Ключевая идея трансгуманистического мировоззрения и стратегическая цель трансгуманистического проекта – это преодоление биологической обусловленности человеческого существования и преодоление смерти (достижение *кибернетического бессмертия*). «Преодоление биологической обусловленности» и «кибернетическое бессмертие» теснейшим образом связаны между собой: человек смертен, поскольку субстратом его существования, субстратом его *личности* (сознания, разума) выступает *биологический организм*. Человек смертен в силу и вследствие своей «биологической природы». *Преодоление биологической обусловленности* (под которым, как правило, понимается перенос сознания/личности/разума на небологический носитель/субстрат, то есть *кибернетическое бессмертие* (см. об этом в [7, 8])) – это задача одновременно и более широкая, и более узкая, чем задача *преодоления смерти*. В любом случае, речь идёт о радикальном изменении, преобразении, трансформации самой природы человеческого существа. В этом – суть трансгуманистического мировоззрения и трансгуманистического проекта будущего.

Как понимается *бессмертие* в контексте трансгуманизма? Как соотносится «кибернетическое бессмертие» с имеющимися в европейской культурной традиции трактовками бессмертия? На какую философскую и/или религиозную модель опирается трансгуманистический проект кибернетического бессмертия?

Релевантным контекстом для обсуждения различных вопросов трансгуманистического мировоззрения, теоретического осмысления трансгуманистического проекта кибернетического бессмертия выступает *русский космизм*, прежде всего, религиозно-философское его направление (Н.Ф. Фёдоров, В.Н. Муравьев, Н.А. Сетницкий, А.К. Горский и др.; подробнее об этом см. в [9]).

Уникальность философского учения Н.Ф. Фёдорова и русского космизма в целом заключается в том, что никогда прежде в философии и религии *преодоление смерти*, то есть *обретение бессмертия*, не рассматривалось в качестве *проекта* и *цели* человеческого существования. «Бессмертие» понималось либо как уже имеющееся у нас (нашей «души») качество, либо как то, что надлежит «заслужить» человеку в своей смертной жизни, либо как иллюзия. Все эти три варианта понимания бессмертия в различных религиозных и философских традициях, впрочем, не исключают друг друга: душевная жизнь, *потенциально* бессмертная через приобщение к Богу, должна прийти к бессмертию *актуальному* (то есть к *сверхвременности*), но при этом человека на протяжении всей его жизни сопровождает страх смерти (то есть окончательного исчезновения) и подозрение, что бессмертие есть «всего лишь иллюзия».

В русском космизме и в трансгуманизме речь идёт не о *вере в бессмертие*, но о его *практическом достижении*. Бессмертие с самого начала полагается как проект и цель. Но должны ли мы вслед за А.В. Турчиным признать, что бессмертие обречено *всегда* оставаться *только проектом*? Можем ли мы согласиться с тем, что «бессмертие всегда существует только потенциально, и за него всегда нужно бороться, так что задача борьбы со смертью всегда актуализована» [10]? Бессмертие – это только и всегда *проект*? Или же оно может в определённом смысле стать «действительностью»? Если бессмертие *всегда* потенциально, тогда оно есть только *обманка* или, в лучшем случае, *ориентир* для наших действий, оно не может быть *проектом* и *целью* в строгом смысле слова. Но и бессмертие как *действительность* и *факт* человеческого существования мы также не можем помыслить и принять. Ведь мы ничего не можем сказать о бессмертии *как таковом*. Мы не можем содержательно описать это бессмертное существование, выявить его сущностные характеристики (единственный путь уяснения существа бессмертия – это путь *апофатический*). Это связано с тем фундаментальным обстоятельством, что философия, религия, наука и все прочие формы человеческого самосознания знают человека как *подверженного смерти, уязвимого, конечного, ограниченного*. О бессмертном, неподверженном смерти, то есть *неуязвимом*, существовании им принципиально нечего сказать.

Неразрешимость этой дилеммы имплицитно указывает на то, что сам вопрос о «потенциальности»/«актуальности» бессмертия сформулирован некорректно. Данный вопрос проистекает из превратного понимания соотношения между «проектом» (целью) и «действительностью» и превратного понимания самой сущности *проекта* и *проектирования*. Бессмертие (то есть *бессмертное бытие*), равно как и *смертное существование*, никогда не может быть простым *фактом*. Бессмертие – это всегда *выбор* и *решение, которое всякий раз нужно возобновлять и подкреплять*. Бессмертие – это решение и выбор *существующего* человека, а не награда за заслуги или простое «свойство» человеческого существования. Но и *смертность* в глубочайшем и предельном смысле – это тоже *выбор* человеческого существа, а не простая данность или «наказание». Н.Ф. Фёдоров гениально выразил эту мысль, сказав, что *всякая смерть, по сути своей, есть убийство или, во всяком случае, допущение убийства*.

Фёдоров полагал, что стремление человека к бессмертию органически вытекает из *осознания им своей смертности*. На этой аксиоме, на этой исходной очевидности в конечном счёте и основывается всё здание его «проективной философии»: «Действие, происходящее из сознания смертности (ограниченности и временности), есть стремление к бессмертию» [11, с. 252].

Бессмертие в философии Н.Ф. Фёдорова и в современном трансгуманизме полагается как цель, *принципиально достижимая* для человека. Однако пока человек существует как человек, он никогда этой цели ещё не достиг. Бессмертие – это задача, которая *всегда*, поскольку человек вообще существует, сохраняет свою актуальность. Весь пафос трансгуманизма и космизма заключается в стремлении утвердить «бессмертие» в качестве *цели* и *проекта* человеческого существования.

Подлинное человеческое существование – это бессмертное существование, но «подлинность» не есть раз и навсегда обретенное качество, «подлинность» нуждается в постоянном *утверждении и подтверждении*. Бессмертие нельзя мыслить как статичное, завершённое состояние, но именно бессмертие есть *высшая и конечная цель*. Бессмертие – это всегда *проект* и *задача* и мыслимо оно лишь в этом своём качестве. Это значит, что человек никогда не сможет сказать, что он «*достиг бессмертия*», что бессмертие перестало быть его *задачей* и стало *фактом* его существования, но в его силах сделать бессмертие *целью* и *проектом* своих действий и продвинуться сколь угодно далеко в достижении этой цели, в реализации этого проекта.

Классическая философская традиция утверждала: человек есть тот, кто *знает* о своей смерти. В космизме и в трансгуманизме формируется новое понимание человека: *человек есть тот, кто стремится к бессмертию, к победе над смертью*. Человек не смертен, он *подвержен риску смерти*. Человек не бессмертен, но у него есть возможность идти по пути обретения бессмертия. Точнее, сам человек в своём бытии – это и есть *возможность бессмертия*.

Размывание, стирание границы между *смертным* и *бессмертным*, смертью и бессмертием – это необходимая предпосылка для осмысления бессмертия в качестве проекта и цели. Здесь следует учесть, что когда речь идёт о человеческом бытии, само различие между количественными изменениями и качественными различиями, само различие между *относительным* и *абсолютным* релятивизируется, становится *относительным*. Поэтому достигаемое на пути к бессмертию *расширение границ и возможностей человеческого существования* – это не просто *количественное* изменение, происходящее исключительно в эмпирической плоскости, это *также и* переход на новый уровень, обретение нового *качества* существования, это трансформация самой структуры человеческого существования. Переход на новый уровень есть одновременно и *количественное*, и *качественное* изменение. Однако и сам этот переход и его понятийная фиксация возможны лишь в том случае, если бессмертие *уже* осмыслено человеком в качестве *цели* и *проекта*.

3 Сходства и различия христианской и трансгуманистической трактовки идеи бессмертия

Точка зрения русского космизма и трансгуманизма по вопросу о бессмертии находится в стороне от магистрального для новоевропейской культурной традиции спора между религией и секулярным гуманизмом. Как это ни парадоксально, но, когда речь идёт о принципиальных вопросах, эти крайние позиции часто сходятся. Так, ни в религиозном мировоззрении, ни в гуманистическом бессмертие не выступает в качестве *проекта* и *цели*. Религия не призывает человека *стремиться* к бессмертию. Душа человека *уже обладает* бессмертием, и речь может идти лишь о *качестве* обретаемой человеком вечности (вечная жизнь или вечное

небытие). Стремиться поэтому следует не к *бессмертию*, не к бессмертно му бытию, но к «спасению души».

Религия толкует не столько о бессмертии, сколько о *послесмертии* и *вечности*. Протоиерей А. Шмеман писал: «Вопрос о религии, о Боге, о вере неотделим в человеческом сознании от вопроса о смерти. Или, вернее, от вопроса о том, есть ли что-нибудь после смерти или нет» [1]. Проблема смерти в горизонте религиозного миропонимания с самого начала предстаёт как проблема *послесмертия*. И религиозное, и секулярное гуманистическое мировоззрения в равной степени *санкционируют* смерть, *необходимость* и *неизбежность* смерти для всякого человеческого существа. И хотя необходимость смерти в религиозном мировоззрении и в секулярном гуманизме объясняется и обосновывается по-разному, но общим и непреложным остаётся постулат: *рождённый обречён умереть*.

Русский космизм в лице своих основных представителей позиционирует себя как *христианскую* философию. Многие идеи трансгуманизма также перекликаются с христианским вероучением. Проведём некоторые параллели между *христианским* пониманием смерти и бессмертия и *трансгуманистическим*.

Прежде всего, нужно отметить, что христианское понимание смерти и бессмертия стоит особняком среди других религиозных и философских учений. Определяющей для христианского понимания смерти выступает идея *воскресения*, а не идея *бессмертия души*: «Христос говорил совсем не о бессмертии души, он говорил о воскресении мертвого! И как не видеть, что между двумя этими явлениями существует целая пропасть! Ведь если дело только в бессмертии души, тогда и смерти никакой нет, зачем тогда все эти слова о победе над ней, о разрушении ее и о воскресении?» [1].

Смерть в христианстве есть результат *поврежденности* человеческой природы (то, что иногда неудачно обозначают как «первородный грех»). Смерть – это главный враг и этот враг был побеждён воскресением Христа. Смерть в христианстве, как отмечает А. Шмеман, «перестает быть естественным, натуральным явлением, вскрывается как нечто недолжное, противоестественное, страшное и уродливое, провозглашается врагом» [1]. Человек в христианском его понимании – это единство тела, души и духа, это одушевленное тело и воплощенный дух, и потому «всякое разделение их, и не только последнее – в смерти, но и до смерти, всякое нарушение их единства есть зло, есть духовная катастрофа» [1].

Смерть в христианстве, как и во многих иных религиях, – это «отделение души от тела». Но это отделение рассматривается не как «освобождение души из темницы тела», но как *трагедия*, как нечто *недолжное*, но в то же самое время и *неизбежное*: «теряя тело, отделяясь от тела, душа, в сущности, теряет жизнь, умирает, даже если это умирание души есть не полное исчезновение, а усение, или сон... Всякий сон, а не только сон смерти, есть некое умирание организма, ибо во сне спит и бездействует именно тело, и вот нет тогда жизни, кроме призрачной, нереальной, нет ничего, кроме сна» [1]. Смерть есть *сон* или *усение* души, но этот сон не вечен. Душа должна воскреснуть и её воскресение суть не что иное как *обретение новой преображённой телесности*. Душа обретает подлинное актуальное бессмертное бытие через воскресение: «Христианство учит о грядущем всеобщем воскресении, когда благодаря страданиям и Воскресению Христовым природа человека восстанет исцеленной, славной, духоносной. Однако для получения новой плоти каждому человеку необходимо сбрасывание кожаных риз – смерть тела» [12].

Сходство христианского понимания смерти и трансгуманистического (в широком значении этого термина, включая сюда и русский космизм) мы усматриваем в следующем:

- смерть – это следствие несовершенства, изначальной поврежденности человеческого тела, организма (субстрата человеческого существования); человек смертен, *поскольку смертно его тело*;

- смерть обусловлена природой: человек смертен, *поскольку он часть природы* и поскольку он несёт природу в себе;
- смерть «природна», но *не естественна*; напротив, смерть есть нечто недолжное и *противоестественное*;
- бессмертие обретается через воскресение, под которым понимается не «освобождение от тела», но *преобразование телесности*, трансформация тела как субстрата человеческого существования.

Если сходство трансгуманизма и христианства проявляется, главным образом, в понимании смерти, то в трактовке бессмертия христианство и трансгуманизм существенно расходятся:

- в христианстве *земное* человеческое существование не может быть бессмертным, земная жизнь смертна, она с необходимостью обречена на смерть, трансгуманизм же ориентирован на достижение бессмертия именно в *этой* жизни и в *этом* мире (хотя и преображённом);
- с некоторыми оговорками можно сказать, что в христианстве *бессмертие* – это данность, в трансгуманизме же бессмертие – это задание, цель и проект;
- воскресение, через которое обретается *актуальное* бессмертие, понимается в христианстве как воскресение *трансцендентное*, оно совершается Богом *за пределами земного человеческого существования*; в трансгуманизме же преобразование и преображение человеческой телесности мыслится как *дело самого человека*, оно *имманентно* земному человеческому бытию. В этом, пожалуй, и заключается наиболее глубокое расхождение космизма и трансгуманизма с ортодоксальным христианством.

Заключение

Трансгуманизм, несомненно, разделяет характерную для светского гуманизма «веру в человека», но источники и характер этой «веры» в гуманизме и в трансгуманизме различны. Да и само понимание сущности человека в гуманизме и в трансгуманизме далеко не одинаково. Наиболее отчётливо это различие проявляется в вопросе о смерти. Секулярный гуманизм рассматривает смерть как атрибутивную характеристику человеческого существования. Смерть *естественна* и *неизбежна*, а бессмертие – *иллюзия* и *самообман*. В секулярном гуманизме бессмертие с самого начала полагается как предмет *веры*, «разоблачается» именно *вера* в бессмертие. В трансгуманизме же вопрос о смерти ставится радикально иначе. Бессмертие здесь понимается в качестве *цели* и *проекта* человеческого существования. Такая трактовка бессмертия становится возможной благодаря новому пониманию сущности и природы человека. Человек в трансгуманизме изначально не смертен и не бессмертен, он *подвержен смерти*, то есть разрушению, уязвим для смерти, но, в то же время, он способен поставить перед собой цель преодолеть границы собственной уязвимой природы и обрести новое качество существования.

Список источников

- [1] **Шмеман, А.** Цикл бесед о христианском понимании смерти / А. Шмеман http://www.golubinski.ru/ecclesia/shmeman/o_smerti.htm (Актуально на 28.05.13).
- [2] **Кувакин, В.А.** Твой рай и ад. Человечность и бесчеловечность человека: Философия, психология и стиль мышления гуманизма / В.А. Кувакин. – СПб.: «Алетейя», – М.: «Логос», 1998. – 360 с.
- [3] **Борзенко, И.М.** Основы современного гуманизма / И.М. Борзенко, В.А. Кувакин, А.А. Кудишина. – М.: Российское гуманистическое общество, 2002. – 350 с.
- [4] **Kurtz P.** The transcendental temptation: a critique of religion and the paranormal, Prometheus Books publ., 1991, 516 p.

- [5] *Ламонт, К.* Иллюзия бессмертия / К. Ламонт. – М.: Политиздат, 1984. – 288 с.
- [6] *Сартр, Ж.-П.* Экзистенциализм – это гуманизм / Пер. с фр. М. Грецкого / Ж.-П. Сартр // Сумерки богов. – М.: «Политиздат», 1989. – С. 319-344.
- [7] *Дубровский, Д.И.* Кибернетическое бессмертие. Фантастика или научная проблема? / Д.И. Дубровский // Взгляд. 25 октября 2012.
- [8] *Турчин, В.* Кибернетический манифест / В. Турчин, К. Джослин <http://www.refal.net/turchin/phenomenon/cybernetic-manifesto.htm> (Актуально на 28.05.13).
- [9] *Дёмин, И.В.* Гуманизм и трансгуманизм: проблема соотношения / И.В. Дёмин // Глобальное будущее 2045. Конвергентные технологии (НБИКС) и трансгуманистическая эволюция. Под ред. проф. Д.И. Дубровского. – М.: ООО «Издательство МБА», 2013. – С. 193-202.
- [10] *Турчин, А.В.* Бессмертие / А.В. Турчин, М.А. Батин. Версия 870 – 20 октября 2013 г. <http://ru.scribd.com/doc/Bessmertie> (Актуально на 28.05.13).
- [11] *Фёдоров, Н.Ф.* Собрание сочинений: В 4-х тт. Том II / Н.Ф. Фёдоров. – М.: Издательская группа «Прогресс», 1995. – 544 с.
- [12] *Осипов, А.* Посмертная жизнь. Беседы современного богослова / А. Осипов. <http://www.wco.ru/biblio/books/osip17/H09-T.htm> (Актуально на 28.05.13).

IMMORTALITY AS A PROJECT: DEATH AND IMMORTALITY OF MAN IN THE CONTEXT OF HUMANISTIC AND TRANSHUMANIST TYPES OF WORLDVIEW

I.V. Demin

*Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov
(National Research University), Samara, Russia
Ilyadem83@yandex.ru*

Abstract

The article presents a comparative analysis of the representations of death and immortality in the context of humanistic and transhumanist types of worldview. The particular interpretations of the idea of immortality in the philosophy of Russian cosmism and modern transhumanism («immortality» appears here as a project and the goal of human existence) are identified. The parallels between Christian and transhumanist interpretations of the idea of immortality are drawn.

Key words: *humanism, transhumanism, Christianity, Russian cosmism, worldview, death, immortality, cyberspace immortality, project, goal.*

References

- [1] *Shmeman A.* Tsikl besed o khristianskom ponimanii smerti [Cycle of conversations about the Christian understanding of death]. http://www.golubinski.ru/ecclesia/shmeman/o_smerti.htm. (In Russian)
- [2] *Kuvakin V.A.* Tvoj raj i ad. Chelovechnost' i beschelovechnost' cheloveka: Filosofiya, psikhologiya i stil' myshleniya gumanizma [Your heaven and hell. Humanity and inhumanity of man: Philosophy, psychology and thinking style of humanism]. Moscow: LOGOS publ., 1998, 360 p. (In Russian)
- [3] *Borzenko I.M., Kuvakin V.A., Kudishin A.A.* Osnovy sovremennogo gumanizma [Foundations of modern humanism]. Moscow: Russian humanitarian society publ., 2002, 350 p. (In Russian)
- [4] *Kurtz P.* The transcendental temptation: a critique of religion and the paranormal, Prometheus Books publ., 1991, 516 p.
- [5] *Lamont K.* Illyuziya bessmertiya [Illusion of immortality]. Moscow: Politizdat publ., 1984, 288 p. (In Russian)
- [6] *Sartre J.-P.* Existentialism and humanism, translated from French by M. Gretzky. Moscow: Politizdat publ., 1989, pp. 319-344. (in Russian)
- [7] *Dubrovskij D.I.* Kiberneticheskoe bessmertie. Fantastika ili nauchnaya problema? [Cybernetic immortality. Fiction or scientific problem?] Vzglyad newspaper, 25 October 2012. (in Russian)
- [8] *Turchin A.V., Dzhoslin, K.* Kiberneticheskij manifest [Cybernetic manifesto]. <http://www.refal.net/turchin/phenomenon/cybernetic-manifesto.htm> (accessed 28.05.2013). (in Russian)

- [9] **Demin I.V.** Gumanizm i transgumanizm: problema sootnosheniya [Humanism and Transhumanism: the problem of correlation]. Global'noe budushhee 2045. Konvergentnyye tekhnologii (NBIKS) i transgumanisticheskaya ehvolyutsiya. Pod red. prof. D.I. Dubrovskogo [Global Future 2045. Convergent Technologies (NBIKS) and transhumanist evolution. Ed. prof. D.I. Dubrovsky], Moscow: MBA publ., 2013, pp. 193-202. (in Russian)
- [10] **Turchin A.V., Batin M.A.** Bessmertie [Immortality] <http://ru.scribd.com/doc/Bessmertie> (accessed 28.05.2013). (in Russian)
- [11] **Fedorov N.F.** Collected Works in 4 volumes. Volume II. Moscow: Progress publ., 1995, 544 p. (in Russian)
- [12] **Osipov A.** Posmertnaya zhizn'. Besedy sovremennogo bogoslova [Posthumous life. Conversations with a modern theologian] <http://www.wco.ru/biblio/books/osip17/H09-T.htm> (accessed 28.05.2013). (in Russian)
-

Сведения об авторе



Дёмин Илья Вячеславович, 1983 г. рождения. Окончил Самарский государственный университет в 2005 г., к.филос.н., доцент кафедры философии Самарского государственного аэрокосмического университета имени академика С.П. Королева (национальный исследовательский университет). В списке научных трудов более 30 статей, 2 монографии в области неклассической философии истории, философии русского космизма и философских оснований трансгуманизма.

Ilya Viacheslavovich Demin (b. 1983) graduated from the Samara State University in 2005, PhD. He works as an Assistant Professor at the Department of Philosophy of Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). He is the author of more than 30 scientific articles, 2 monographs in the field of nonclassical philosophy of history, Russian cosmism philosophy and the philosophical foundations of transhumanism.

УДК 519.711.3

КОМПЛЕКСНАЯ ОНТОЛОГИЯ НЕЙРОДИНАМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕОРИИ КАТАСТРОФ: СТРУКТУРНАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ КОНФИГУРАЦИЯ

Ю.И. Нечаев

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург, Россия
nechaev@mail.ifmo.ru

Аннотация

Рассматривается комплексная онтология нейродинамической системы в современной теории катастроф. Сформулирована онтологическая система знаний, определяющих функционирование нейродинамической системы в мультипроцессорной вычислительной среде в условиях неопределенности и неполноты исходной информации. Структурный синтез нейродинамической системы осуществлен на основе метаонтологии. Анализ и прогноз чрезвычайных ситуаций реализован в рамках принципа конкуренции. В рамках онтологической системы сформулирован подход к интерпретации динамики взаимодействия с использованием фрактальной геометрии и теории устойчивости динамических систем. В качестве меры неопределенности используется энтропия процесса. Практическое приложение разработанной модели онтологии обсуждается применительно к задачам интерпретации взаимодействия нестационарного динамического объекта с внешней средой в процессе эволюции системы на заданном временном интервале. Динамическая модель катастроф определяет движение системы к целевому аттрактору и при потере устойчивости. Приведены примеры реализации нейродинамических систем в задачах анализа и прогноза поведения морского динамического объекта в условиях непрерывного изменения динамики объекта и внешней среды.

Ключевые слова: комплексная онтология, нейродинамическая система, теория катастроф, модель взаимодействия, нестационарный объект, целевой аттрактор.

Введение

Развитие теоретических принципов построения нейродинамических систем (*ND*-систем) в рамках комплексной онтологии осуществляется на основе интеллектуальных технологий XXI века [1-5]. Особенностью онтологии *ND*-системы является интеграция вычислительных технологий, организованных на основе нейронечёткого и нейроэволюционного моделирования. Существенная роль в реализации онтологических принципов структурной и функциональной конфигурации *ND*-системы на основе методов современной теории катастроф принадлежит фрактальной геометрии и формальному концептуальному анализу. Онтология, отображающая графическую интерпретацию физических закономерностей при исследовании динамики взаимодействия сложного динамического объекта (ДО) с внешней средой формализуется на базе фрактальных структур *ND*-системы [3]. Рассматриваемая онтология *ND*-системы представляет собой структуру $S(G)$, моделирующую процессы развития угрожающих ситуаций в рамках парадигмы обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде [3]. Возникновение предаварийных и аварийных ситуаций и механизмов управления изменениями в структуре программных модулей бортовой интеллектуальной системы (ИС) обеспечения безопасности мореплавания описывается с помощью онтологии потоков событий в рамках концепции Workflow [1, 2].

Концептуальная модель преобразования информации в ND -системе, обеспечивающей функционирование ИС в сложной динамической среде, имеет вид:

$$(1) \quad S(U) = \langle F(Com): \{T(t, \tau) \times X(KB) \times Q(V, W)\} \rightarrow Y(R) \rangle$$

где $S(U)$ — множество стратегий управления; $X(KB)$ — множество элементов оперативной базы данных (БД); $T(t, \tau)$ — множество моментов времени, определяющих модель развития угрожающих ситуаций; $Q(V, W)$ — множество значений вектора входных воздействий (состояние внешней среды – ветроволновые возмущения); $\{T(t, \tau) \times X(KB) \times Q(V, W)\}$ — множество закономерностей в данных; $Y(R)$ — множество правил обобщения информации; $F(Com)$ — множество элементов, реализующих принцип конкуренции; τ – интервал квазистационарности.

Обратная алгоритмическая связь в концептуальной модели (1) используется для моделирования управляющей деятельности оператора по способам формирования управленческих воздействий в зависимости от критичности возникающих ситуаций. Обеспечение взаимодействия оператора с ИС при поддержке принятия решений реализуется на основе критериев эффективности. Принципом обратной алгоритмической связи в ИС является разность энтропий системы до и после получения информации, что уменьшает неопределенность в оценке и анализе текущего состояния ДО и неоднозначность в выборе способов формирования управляющих воздействий в зависимости от критичности возникающих ситуаций.

Организация ND -системы осуществляется в рамках концепции современной теории катастроф [3]. Конфигурации системы представляется фрактальным графом

$$(2) \quad G(F_R) = (V(E, U), A(E, C)),$$

формализующим события ($V(E, U)$), описывающие действия в системе, и условия $A(E, C)$ в виде логического описания ее состояния. Как следует из этого представления, ND -система обеспечивает обработку потока информации, связанного с состояниями ДО и условиями их описания в процессе эволюции в нестационарной динамической среде.

На рисунке 1 приведена формальная модель функционирования ND -системы, осуществляемого управляющим модулем, взаимосвязанным с программной средой бортовой ИС контроля чрезвычайных ситуаций (показаны только база знаний и база данных этой системы).



Рисунок 1 - Концептуальная модель онтологии нейродинамической системы в рамках интегрированного вычислительного комплекса контроля поведения сложных динамических объектов

Функциональный блок ND -системы содержит интерпретирующий и вычислительный модули, обеспечивающие нейронечёткое и нейроэволюционное моделирование с использованием фрактальной геометрии и энтропийного анализа. Интеграция указанных компонент реализована в рамках динамической модели катастроф, позволяющей формализовать процессы обработки информации на основе достижений интеллектуальных технологий и высокопроизводительных средств [3].

В рамках представленной концептуальной модели формализуются процессы структурной и функциональной конфигурации ND -системы на основе аппарата знаний логической системы, организованной на базе синергетической теории управления [5] и когнитивной парадигмы [3]. Методы и модели динамической базы знаний (БЗ) построены с использованием принципа сложности и концепции минимальной длины описания [3].

1 Комплексная онтология, определяющая формальный аппарат структурного и параметрического синтеза ND -системы

Формальную модель комплексной онтологии информационной среды $M(S)$ ND -системы, обеспечивающей анализ и прогноз чрезвычайных ситуаций при функционировании бортовой ИС контроля поведения морского ДО, можно представить в виде обобщенной структуры [3]:

$$(3) \quad M(S) = \langle F(S), S(t), B(AR), D(Q, W, V), U(PC) \rangle,$$

где $F(S)$ – функциональные компоненты ND -системы; $S(t)$ – исследуемые ситуации; $B(AR)$ – динамическая база знаний; $D(Q, W, V)$ – обобщенная база данных; $U(PC)$ – управляющий программный комплекс.

Функциональными компонентами $F(S)$ являются исполнительные модули прикладных систем и служебные модули, обеспечивающие совместную работу объединяемых систем. Эти модули взаимодействуют с динамической БЗ $B(AR)$ и обобщенной БД $D(Q, W, V)$. Управляющий программный комплекс $U(PC)$ обеспечивает функционирование системы $M(S)$ в сложной динамической среде. Обобщенная БД $D(Q, W, V)$ формируется в соответствии с общими принципами построения БД бортовых ИС и содержит данные Q о характеристиках ДО, волнения W и ветра V . Структура управления программными системами представлена на основе сетевых моделей упорядочения событий в рамках фрактальной геометрии в соответствии с логикой системы и потоком информации в текущей ситуации.

Рисунок 2 показывает основные операции, выполняемые в процессе функционирования бортовой ИС в рамках парадигмы обработки информации в мультипроцессорной вычислительной среде. Реализация этих операций осуществляется на основе комплексной онтологии, позволяющей формализовать описание компонент системы на уровне структурной и функциональной конфигурации. Принципиальным достоинством такой технологии является представление эволюции ДО на интервале реализации $[t_0, t_k]$ в виде фрактальных структур, а интерпретации динамики взаимодействия – с помощью энтропийного анализа. В результате достигается простота и наглядность отображения процесса развития чрезвычайной ситуации в сложной динамической среде [3].

Рассматриваемые в ИС контроля чрезвычайных ситуаций текущие фракталы отображают эволюцию ДО в виде эллипсоидальных структур

$$(4) \quad g(v(E), a(E)) \in G(V(E), A(E)),$$

в виде последовательности конфигураций $g_1(F_R), \dots, g_N(F_R)$ на стадии эволюции динамической системы, определяющей движение фрактала, представленного сечениями эллипсоида в плоскостях XU и YZ при стабилизации системы (движение к целевому аттрактору) и при потере устойчивости (возникновение катастрофы).



Рисунок 2 - Комплексная онтология, определяющая формальный аппарат преобразования информации в рамках парадигмы [3]

На основе текущей конфигурации семейства фракталов фиксируются начальное $g_0(F_R)$ и конечное $g_N(F_R)$ состояния системы «ДО – внешняя среда» в зависимости от интерпретации в плоскостях XY и YZ сечения эллипсоида. Система развивается на временном интервале $[t_0, t_k]$, которому сопоставляется последовательность дискретных состояний

$$(5) \quad S(t) \in S[t_0, t_k]$$

формализуемых в рамках гипотезы квазистационарности [3] теории нелинейных динамических систем.

2 Онтологические принципы интерпретация динамических ситуаций при функционировании ND -системы

Онтологические принципы организации процессов обработки информации в ND -системе $S(G)$ контроля поведения ДО реализуются на основе сервисно-ориентированной архитектуры SOA, а конфигурация программного обеспечения и вычислительных средств – в рамках «облачных» CLOUD-вычислений [1, 2]. Методы управления в системе «ДО – внешняя среда» ориентированы на обеспечение функционирования в условиях непрерывного изменения динамики объекта и внешней среды. Адаптация системы обеспечивается с помощью механизмов нечёткого управления, определяющих конфигурацию «вход–выход», при этом обратная связь может быть отрицательной при стабилизации системы в бассейне аттрактора, или положительной, ведущей к бифуркации, нестабильности и хаосу [3].

На рисунке 3 даётся содержательная интерпретации аттракторных множеств, формируемых в процессе движения системы к целевому аттрактору. Здесь выделены характерные ситуации возникновения аттракторных множеств при устойчивом и неустойчивом состоянии системы в виде предельных циклов и фокусов.

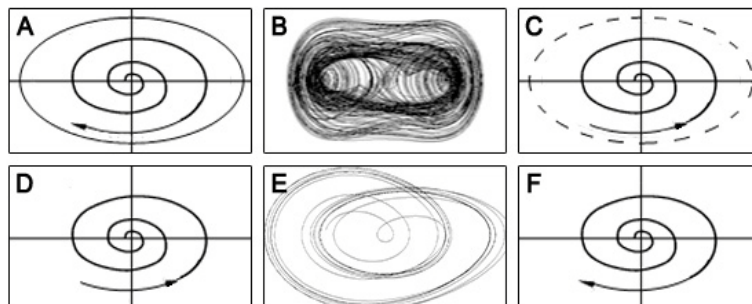


Рисунок 3 - Структуры аттракторных множеств, характеризующие эволюцию системы:
 А, С – устойчивый и неустойчивый предельные циклы; D, F – устойчивый и неустойчивый фокусы;
 В – сложный стохастический аттрактор; Е – простой стохастический аттрактор

Реализация событий на интервале времени $[t_0, t_k]$ осуществляется с помощью логических операций нечёткой системы знаний. Последовательность событий в процессе эволюции ДО реализуется с помощью правил P_1, \dots, P_N , которым соответствуют алгоритмы A_1, \dots, A_N системы $S(G)$, так что фрактал $G_1(F_R)$ преобразуется в $G_2(F_R)$ и т.д. Эта последовательность определяется фиксированными положениями ДО G_1, \dots, G_N в процессе развития текущей ситуации:

$$(6) \quad S(t) = (P_1, \dots, P_N, A_1, \dots, A_N).$$

Таким образом, множество фракталов характеризуется множеством упорядоченных правил P_1, \dots, P_N и алгоритмов обработки информации A_1, \dots, A_N , с помощью которых обеспечивается оперативный контроль взаимодействия ДО с внешней средой.

В основу формального аппарата динамики взаимодействия положен теоретический принцип динамической модели катастроф, формализующий движение системы в процессе эволюции. Как следует из этого принципа, эволюция системы «ДО–внешняя среда» интерпретируется в виде двух предельных случаев взаимодействия:

$$(7) \quad \Phi(Int): \Omega(W) \xrightarrow{U_1(t)} \dots \xrightarrow{U_m(t)} \Omega(Stab);$$

$$(8) \quad \Omega(W) \xrightarrow{U_1(t)} \dots \xrightarrow{U_n(t)} \Omega(Cat)$$

где $\Omega(W)$ – области, характеризующие состояния системы «ДО–внешняя среда» и заданные на основе фрактальной геометрии; $\Omega(Stab)$ – область притяжения, определяющая движение ДО к целевому аттрактору; $\Omega(Cat)$ – область потери устойчивости (возникновение катастрофы), $[U_1(t), \dots, U_m(t)]$ и $[U_1(t), \dots, U_n(t)]$ – управляющие воздействия для рассматриваемых случаев эволюции при эффективной и недостаточно эффективной интеллектуальной поддержке, когда не удастся реализовать мероприятия по обеспечению безопасности, вырабатываемые ИС.

На рисунке 4 даётся содержательная интерпретация эволюции ДО, представленной на основе фрактальной геометрии в виде эллипса на интервале времени $[t_0, t_n]$.

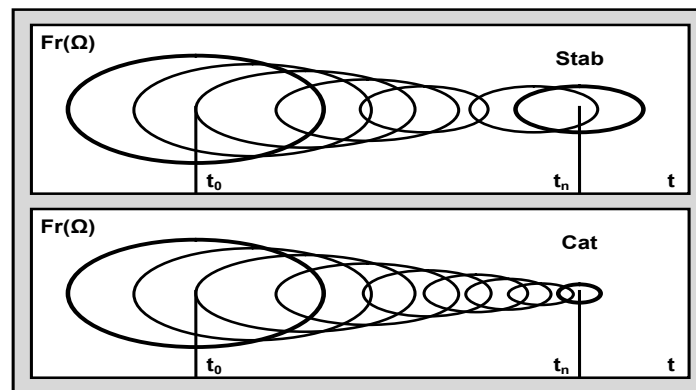


Рисунок 4 - Фрактальная интерпретация эволюции динамического объекта на интервале реализации

Стадия *стабильного Stab* развития *ND*-системы $S(G)$ определяет движение системы «ДО–внешняя среда» к целевому аттрактору. В этой ситуации система остается в состоянии, близком к равновесному, а ее организация не претерпевает значительных изменений. При стабильном состоянии воздействия внешних возмущений (V, W) на систему описываются потоковой нагрузкой, изменяющей фрактальную структуру $F_R(\Omega)$ графа в зависимости от внешних факторов. Движение к целевому аттрактору при таком состоянии *ND*-системы определяется конфигурацией [3]:

$$(9) \quad S(G, Attr) \rightarrow Stab(F_R).$$

Стадия *критического* состояния (возникновение катастрофы) характеризуется выходом исследуемых параметров *ND*-системы из заданного диапазона и возникновению бифуркаций – потери устойчивости ДО в условиях перехода от угрожающей ситуации к предаварийной и аварийной ситуациям, что связано с формированием альтернативных вариантов ее организации. Такты системы в этом случае определяют процесс самоорганизации (*SO*) фрактальной структуры в условиях непрерывного изменения динамики объекта и внешней среды. Структура *ND*-системы при формировании катастрофы характеризуется условием:

$$(10) \quad S(G, SO) \rightarrow Cap(F_R).$$

Формирование сложных конфигураций фрактального представления $G(V(E), A(E))$ осуществляется путем построения отображений с различной интерпретацией потока информации. Фрактальная геометрия – эффективный класс алгебраических преобразований, используемых при функционировании ИС [4]. Модели современной теории катастроф позволяют сформировать простой и легко интерпретируемый геометрический образ, представляющий эволюцию текущей ситуации в сложной динамической среде [3].

Реализация *ND*-системы на основе принципа конкуренции осуществляется в соответствии со следующей цепочкой преобразований:

$$(11) \quad CP(Cat) \rightarrow \{G(F_R), S(C_M)\} \rightarrow (AA) \rightarrow R(CT),$$

где $G(F_R)$ – модель *ND*-системы, интегрирующая нейронечёткую и нейроэволюционную структуры; $S(C_M)$ – стандартная модель, построенная на основе модифицированного уравнения Матье и метода функционала действия [3]; (AA) – операция анализа альтернатив (функция интерпретации); $R(CT)$ – результат выбора вычислительной технологии.

Используя структуру (11) в зависимости от особенностей взаимодействия ДО с внешней средой, можно выбирать эффективные методы оценки и прогноза чрезвычайных ситуаций и выработать практические рекомендации по обеспечению безопасности исследуемого ДО. Моделирование процессов самоорганизации осуществляется на основе синергетической па-

радиомы [5], позволяющей формализовать динамику *фрактального ядра* системы $F_R(G)$ в соответствии с принципами «расширения–сжатия». Интерпретация этого принципа сводится к оценке отношения

$$(12) \quad R_{E1} = \text{dist}(n)/d(X_C, Y_C),$$

где $\text{dist}(n)$ – расстояние между ближайшими кластерами, объединяемыми на n -ом шаге, а X_C и Y_C – центры кластеров. Соотношение (12) позволяет выделить следующие представления:

$$(13) \quad \text{dist}(n)/d(X_C, Y_C) \geq 1; \text{ (растяжение);}$$

$$(14) \quad d_n/d(X_C, Y_C) < 1. \text{ (сжатие).}$$

Таким образом, для моделирования стадии перехода в новое состояние необходимо реализовать перестройку *ND*-системы в условиях бифуркации. Наиболее перспективным подходом при исследовании процессов самоорганизации в условиях неопределенности и многообразия альтернатив является использование деревьев решений [3].

3 Онтологические принципы интерпретации аксиоматики динамической структуры ситуаций *ND*-системы

Общие понятия аксиоматики исследуемой предметной области специфичны в каждой прикладной онтологии. Применительно к рассматриваемой проблеме аксиоматическое представление знаний при формализации информации на основе комплексной онтологии предусматривает использование следующих аксиом (рисунок 5).

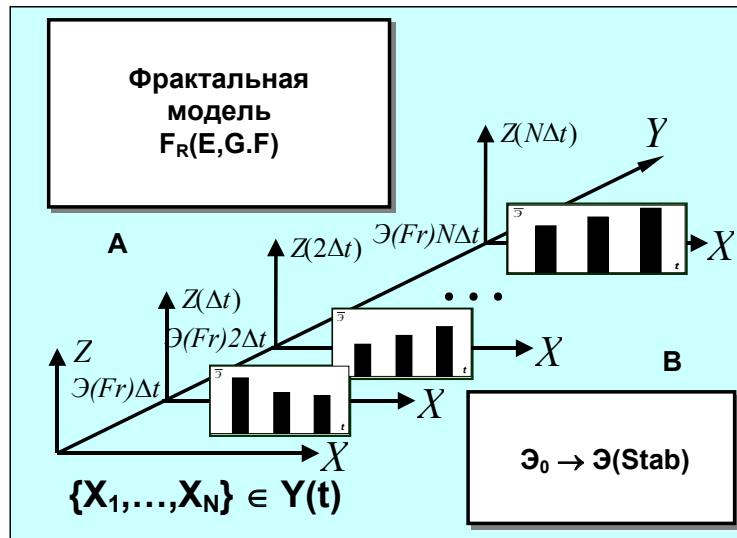


Рисунок 5 - Диаграмма, отображающая моделирование динамики *ND*-системы:

- А – модель фрактальной структуры $F_R(E, G, F)$: эллиптическая, графовая, кластер Фибоначчи;
- В – энтропия процесса стабилизации ситуации; $\Theta_0 \rightarrow \Theta(\text{Stab})$; $\Theta(Fr)\Delta t, \Theta(Fr)2\Delta t, \dots, \Theta(Fr)N\Delta t$ – временная последовательность, отображающая потерю устойчивости движения;
- символы 1, 2, ..., N фиксируют текущее время развития ситуации на интервале прогнозирования

Аксиомы идентификации. Назначением аксиом идентификации является описание всех типов переменных и отношений, определяющих область топологической структуры $\Omega(\text{Str})$:

$$(15) \quad \text{Axiom}(\text{Ident}) = \langle \text{Var}, \text{Rel} \rangle \in \Omega(\text{Str}),$$

где Var, Rel – переменные задачи и отношения между ними.

Если объект управления описывается множеством параметров $X = \{X_1, \dots, X_N\}$, то требуется находить или уточнять значения части параметров. При этом каждый из параметров характеризуется определенным интервалом значений, с помощью которого задаются известные параметры и ограничения в задачах оптимизации.

Аксиомы планирования. В основе вычислений топологических объектов в области эволюции фазового пространства лежит свойство интервальной арифметики, позволяющее осуществить сходимость итеративной процедуры вычислений интервальных значений параметров к некоторым локализирующим интервалам, содержащим требуемые решения.

$$(16) \quad \text{Axiom(Plan)} = \langle \text{Evol(Ph)}, \text{Int(Cal)} \rangle,$$

где Evol(Ph) – область эволюции фазового пространства, Int(Cal) – процедуры интервальной арифметики.

Для осуществления итеративной процедуры вводятся аксиомы планирования, задающие правила (порядок и условия корректности) вычислений.

Аксиомы вычислений. С помощью аксиом вычислений задаются правила вычисления отношений в области эволюции фазового пространства. Каждое отношение $r_i = r_i(Y_i)$ связывает некоторое множество параметров Y_i и используется для вычисления неизвестных значений параметров $Y_i^{\text{вх}} \subseteq Y_i$, связанных отношением по известным значениям параметров $Y_i^{\text{вх}} \subseteq Y_i$. Аксиомы вычислений преобразования фазового пространства включают также *аксиомы оптимизации*.

$$(17) \quad \text{Axiom(Calcul)} = \langle \text{Rule(Cal)}, \text{Axiom(Opt)} \rangle,$$

где Rule(Cal) – правила вычислений; Axiom(Opt) – аксиомы оптимизации.

В отличие от аксиом идентификации, вычисления и планирования, эти аксиомы позволяют давать ответы на поставленные прямые и обратные вопросы при решении задач поиска оптимальных решений. Аксиомы оптимизации содержатся в каждом дереве классификации концептов формальной системы и представляются в виде таблиц логических аксиом (*Logical Axioms Table*). Структура таблиц включает имя аксиомы, описание, концепт, ссылочные атрибуты, переменные и определения.

Аксиоматическое представление знаний в *ND*-системе позволяет осуществлять поддержку процедур нейронечеткого и нейроэволюционного моделирования при интерпретации поведения ДО в процессе эволюции в сложной динамической среде. На рисунке 5 представлена фрактальная модель динамики *ND*-системы на основе энтропийного подхода.

Таким образом, сформулированные условия и их реализация в рамках динамической модели катастроф позволяют представить онтологию компонент интеллектуальной поддержки оператора бортовой ИС при интерпретации текущих ситуаций. Разработанные на основе такой формализации модели онтологии аналитической и геометрической компонент рассматриваются как составляющие общей проблемы онтологии исследуемой предметной области и определяются критерием истинности $C_R(\text{True})$ с учетом требований полноты $\text{Dem}(\text{Full})$ и непротиворечивости $\text{Dem}(\text{Non-Contr})$ сформулированных аксиом и правил вывода:

$$(18) \quad \text{Ont(SAU)} = \langle C_R(\text{True}) [\text{Dem}(\text{Full}), \text{Dem}(\text{Non-Contr})] \rangle.$$

В результате проведенного исследования определена онтология предметной области с обоснованной структурой и содержанием. Формальное описание интегрированной системы знаний $S = \{S_i \mid i = 1, \dots, N\}$ в *ND*-системе можно представить на основе следующих онтологий:

$$(19) \quad \text{Ont(NET)} \rightarrow \langle \text{Ont(CONSEPT)}, \text{Ont(CONNECT)} \rangle,$$

где Ont(CONSEPT) – множество понятий, обозначающих исследуемые процессы в динамических сценах (задачи интерпретации); Ont(CONNECT) – множество связей между понятиями.

На основе представления (19) сформулирована концептуальная модель комплексной онтологии компонент модели катастроф при интерпретации текущих ситуаций:

$$(20) \quad \text{Ont}(Com) = \langle \text{Ont}(A), \text{Ont}(G) \rangle;$$

$$(21) \quad \text{Ont}(A) = \langle \text{Ont}(S), \text{Ont}(H), \text{Ont}(Syn), \text{Ont}(NF), \text{Ont}(GA) \rangle,$$

$$(22) \quad \text{Ont}(G) = \langle \text{Ont}(Im), \text{Ont}(Cog), \text{Ont}(Vis) \rangle,$$

где аналитическая компонента $\text{Ont}(A)$ включает онтологии, формализующие стохастические $\text{Ont}(S)$ и хаотические $\text{Ont}(H)$ системы, синергетическую парадигму $\text{Ont}(Syn)$, нейронечёткие системы $\text{Ont}(NF)$ и эволюционное моделирование $\text{Ont}(GA)$, а геометрическая интерпретация $\text{Ont}(G)$ - имитационное $\text{Ont}(Im)$, когнитивное моделирование $\text{Ont}(Cog)$ и визуализацию $\text{Ont}(Vis)$ динамических сцен.

Проверка адекватности модели онтологии на основе приведённых выше утверждений сводится к оценке корректности процедур формализации знаний динамической среды методами современной теории катастроф, определяющей объекты и отношения предметной области.

Заключение

Модель онтологической системы ND -моделирования, определяющей функционирование динамической базы знаний ИС, позволяет описывать онтологии на разных уровнях абстракции. На основе заданной предметной области реализуется интеллектуальная технология, позволяющая сформулировать общий подход к формализации знаний ИС управления и принятия решений с использованием онтологической системы. Формализация комплексной онтологии компонент системы интеллектуальной поддержки оператора ИС состоит в формальном описании интегрированной ND -системы на основе методов концептуализации знания. В результате такой интеграции реализуется структура множеств объектов и понятий, знаний и связей между ними в рамках современной теории катастроф [3].

Критерий функциональной полноты нейронечёткой и нейроэволюционной компонент нейродинамической системы зависит от класса решаемых задач и требует определения глубины их детализации. Формальная постановка задач, решаемых с помощью указанных компонент в заданной предметной области, позволяет выделить особенности текущей ситуации, моделирование которых является необходимым и достаточным для интерпретации текущих ситуаций на основе аналитической и геометрической компонент.

Список источников

- [1] **Бухановский, А.В.** Комплексная онтология исследовательского проектирования морских динамических объектов / А.В. Бухановский // Онтология проектирования. 2011. №1(2). - С. 32-43.
- [2] **Бухановский, А.В.** Онтология центров компетентности на основе современной теории катастроф в интеллектуальной среде «облачной» модели / А.В. Бухановский, В.Н. Васильев, Ю.И. Нечаев // Онтология проектирования. 2013. №1(7). С. 26–34.
- [3] **Нечаев, Ю.И.** Теория катастроф: современный подход при принятии решений / Ю.И. Нечаев. – СПб.: Арт-Экспресс, 2011.
- [4] **Пайтген, Х.-О.** Красота фракталов / Х.-О. Пайтген, П.Х. Рихтер. – М.: Мир, 1993. - 176 с.
- [5] Синергетическая парадигма. Многообразие поисков и подходов / Отв. ред.: В.И. Аршинов, В.Г. Буданов, В.Э. Войцехович. – М.: Прогресс-Традиция, 2000. – 536 с.

COMPLEX ONTOLOGY FOR A NEURODYNAMIC SYSTEM IN THE MODERN CATASTROPHE THEORY: STRUCTURAL AND FUNCTIONAL CONFIGURATION

Yu.I.Nechaev

*St.-Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics, St.-Petersburg, Russia
nechaev@mail.ifmo.ru*

Abstract

The paper describes a complex ontology for a neurodynamic system in the modern catastrophe theory domain. The study formulates a system of ontological knowledge, that defines functioning of a neurodynamic system in a multiprocessor computer environment under conditions of uncertainty and incompleteness of initial information. A structural analysis of neurodynamic system is based on the metaontology. Analysis and prognosis of emergency situations is implemented under the principle of competition. An approach to the interaction dynamics interpretation was formulated within the ontological system. The process entropy is used as a measure of uncertainty. Practical use of the developed ontology model is discussed in application to the problems of interpretation of unsteady dynamic object interaction with the environment in the process of evolution of the system during a given period. Dynamic model of disaster determines the motion of the system to the target attractor in case of stability loss. Examples of realization of neural systems for the analysis and prediction of the dynamic marine object behavior under conditions of continuous changes in the dynamics of the object and the environment.

Key words: *complex ontology, neurodynamic system, catastrophe theory, interaction model, nonstationary object, target attractor.*

References

- [1] *Buhanovsky A.V., Nechaev Y.I.* Kompleksnaya ontologiya issledovatel'skogo proektirovaniya morskikh dinamicheskikh ob'ektov [Complex ontology of research designing of marine dynamic objects]. *Ontologiya proektirovaniya* [Ontology of designing], 2011, no. 1(2), pp. 32-43. (In Russian)
- [2] *Buhanovsky A.V., Vasilev V.N., Nechaev Y.I.* Ontologiya tsentrov kompetentnosti na osnove sovremennoj teorii katastrof v intellektual'noj srede «oblačnoj» modeli [Ontology of competence centers on the basis of modern catastrophe theory in intelligent environment of the cloud model]. *Ontologiya proektirovaniya* [Ontology of designing], 2013, no. 1(7), pp. 26-34. (In Russian)
- [3] *Nechaev Y.I.* Teoriya katastrof: sovremennij podkhod pri prinyatii reshenij [Catastrophe theory: a modern approach to decision-making]. St. Petersburg: Art-express publ., 2011. (In Russian)
- [4] *Peitgen, H.-O., Richter P.* Krasota fraktalov [The beauty of fractals]. Moscow: Mir publ., 1993, 176 p. (in Russian)
- [5] *Arshinov V.I., Budanov V.G., Vojtsekhovich V.E.,* eds. Sinergeticheskaya paradigma. Mnogoobrazie poiskov i podkhodov [Synergistic paradigm. Variety of searches and approaches]. Moscow: Progress-Traditsiya publ., 2000, 536 p. (In Russian)

Сведения об авторе



Нечаев Юрий Иванович, заслуженный деятель науки РФ, академик РАН, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник НИИ наукоемких компьютерных технологий Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, Международный эксперт в области высокопроизводительных вычислений и интеллектуальных систем.

Nechaev Yury Ivanovich, Academician of RANS, Russian Federation Science Honored Figure, the main scientific employee of scientific research Institute of the high technology computer technologies of the St.-Petersburg national research university information technologies, mechanics and optics. International expert in the field of high-performance computing and intelligence systems.

УДК 004.85

ПАРАДИГМА АВТОМАТИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ. ЧАСТЬ 2. АВТОМАТИЗАЦИЯ ОТРАСЛИ

А.С. Клещев¹, М.Ю. Черняховская², Е.А. Шалфеева³

Институт автоматики и процессов управления РАН, Владивосток, Россия

¹kleshev@iacp.dvo.ru, ²chernyah@iacp.dvo.ru, ³shalfev@iacp.dvo.ru

Аннотация

Статья является второй в цикле статей, посвященных поиску путей преодоления проблем с практическим применением интеллектуальных программных систем. В ней проводится анализ эффекта от автоматизации интеллектуальной деятельности и типичных трудозатрат на нее, обсуждаются существующие парадигмы автоматизации интеллектуальной деятельности и предлагается новая парадигма автоматизации отрасли. В соответствии с этой парадигмой автоматизация встраивается в существующую организацию интеллектуальной деятельности в отрасли и поддерживает новые механизмы управления качеством, согласованные с существующими механизмами.

Ключевые слова: экспертная система, системная инженерия, программное обеспечение, базы знаний, трудозатраты на автоматизацию.

Введение

Настоящая статья является продолжением статьи [1], посвященной анализу организации повседневной интеллектуальной деятельности и управления ее качеством, а также обсуждению возможностей автоматизации такой деятельности. В данной работе проводится анализ эффекта от автоматизации интеллектуальной деятельности и анализ типичных трудозатрат на нее, обсуждаются существующие парадигмы автоматизации интеллектуальной деятельности и предлагается новая парадигма автоматизации отрасли. Как и в первой статье цикла, примеры относятся к интеллектуальной деятельности в медицине.

1 Типичные трудозатраты на автоматизацию интеллектуальной деятельности

При автоматизации отдельной задачи принятия решений на основе знаний для одного профиля (раздела в предметной области) требуется разработать один решатель экспертной системы (ЭС) с пользовательским интерфейсом (ПИФ), обычно одну базу знаний (БЗ) и один редактор знаний для нее, а также подсистему оценивания БЗ. Современная система управления БЗ должна включать также АРМ для анализа прецедентов и формирования обучающей выборки для модификации БЗ и подсистему модификации БЗ.

Типичные трудозатраты на автоматизацию интеллектуальной деятельности могут быть классифицированы как трудозатраты на системную инженерия [2, 3], на программное обеспечение и на базы знаний (включая управление ими) [4], а также на вспомогательные и организационные процессы, например, на процесс создания и сопровождения инфраструктуры (в том числе администрирование сетей).

Трудозатраты на системную инженерия складываются из:

- проведения системного анализа профессиональной деятельности в предметной области;

- концептуального проектирования системы автоматизации (рисунок 1), документирования требований на разработку системы;
- интеграции всех подсистем и БЗ в единую систему (т.е. комплексирования, верификации, валидации всей системы автоматизации и передачи ее в среду функционирования [2]);
- процессов комплексирования, верификации, технического обслуживания и других, традиционно относящихся к системной инженерии [2].

Все эти работы обычно выполняются организацией-разработчиком.

При рассмотрении затрат следует также иметь в виду, что функционирующая система состоит не только из программного обеспечения, необходимой аппаратуры, документации и информационных хранилищ (данных и знаний), но и людей – пользователей (специалистов, операторов, экспертов по знаниям) вместе с их процедурным контекстом [5]. Поэтому степень их участия в процессе эксплуатации системы тоже может рассматриваться как трудозатраты.

Трудозатраты на программное обеспечение состоят в разработке, а затем в сопровождении следующих видов программных средств (ПС):

- решатель (обычно с ПИФ);
- редактор знаний (с встроенным контролем внутренних свойств знаний);
- тренажер;
- подсистема документирования (со специализированными редакторами баз данных);
- АРМ для анализа прецедентов и формирования обучающей выборки для модификации БЗ;
- подсистема модификации БЗ;
- подсистема оценивания БЗ.

В свою очередь разработка каждого из этих ПС складывается (согласно [6]) из трудозатрат на:

- анализ (уточнение) требований к ПС;
- проектирование его программной архитектуры (в том числе баз данных и других хранилищ информации);
- техническое проектирование ПС;
- реализацию и тестирование ПС;
- сборку ПС;
- квалификационные испытания ПС.

Работы по разработке ПС выполняются организацией–разработчиком.

Результатом концептуального проектирования системы автоматизации является модель системы, состоящей из подсистем, связанных информационными потоками друг с другом, с хранилищами информации и с внешним окружением. Пример такой модели для автоматизации медицинской деятельности представлен на рисунке 1.

На рисунке 1 показано, с какими частями (подсистемами) системы автоматизации взаимодействует специалист, решающий задачи, с какими – команда управления качеством БЗ (эксперты, ответственные за качество знаний), и с какими – команда управления деятельностью (руководители разных звеньев). *Программное обеспечение врача и медперсонала* представлено решателями (см. рисунок 2) и специализированными редакторами баз данных (для медицины – редактор истории болезни); *подсистема документооборота* (рисунок 1) - специализированными редакторами баз данных и, если необходимо, компонентами, генерирующими нужные отчеты по хранимым данным в этих базах; *ПС модификации БЗ и оценивания БЗ* состоит из двух компонентов (подсистема модификации БЗ, подсистема оценивания БЗ), второй из которых используется и как самостоятельный компонент для проверки варианта БЗ (как показано на рисунке 7 в [1]), создаваемого с помощью редактора знаний.

АРМ для анализа прецедентов и формирования обучающей выборки имеет компонент для дополнения базы всех прецедентов новыми реальными случаями с верифицированными заключениями, компонент отбора прецедентов с неправильными решениями и прецедентов с точными решениями, а также компонент для облегчения эксперту проведения анализа неточных решений, их классификации и сохранения отобранных классов. На рисунке 1 (для упрощения схемы концептуальной архитектуры) не показан процесс повышения квалификации или обучения с использованием подсистемы «тренажер».



Рисунок 1 – Пример концептуальной архитектуры системы автоматизации в медицине

На этапе высокоуровневого проектирования любая подсистема из концептуальной архитектуры системы может являться обобщенной (т.е. быть системой взаимодействующих программных средств) [5]. Тогда потребуется сначала «подвергнуть» ее самой высокоуровневому проектированию (как на рисунке 2) с указанием всех необходимых ЭС для решения взаимосвязанных задач разных классов (например, задачи лечения, зависящей от результата решения задачи диагностики, задачи обследования, обращающейся к той же базе знаний, что используется диагностикой).

Построение одной или нескольких моделей такого уровня абстракции позволяет начать планирование работ по разработке программного обеспечения для специалистов, по разработке БЗ и БД, а также программного обеспечения для системы управления БЗ. Пример одной из таких моделей для системы (из рисунка 1) показан на рисунке 2. Здесь подсистема «программное обеспечение врача и медперсонала» рассматривается как совокупность подсистем-решателей, ориентированных на поддержку каждой интеллектуальной задачи, и редактора для ведения документации.

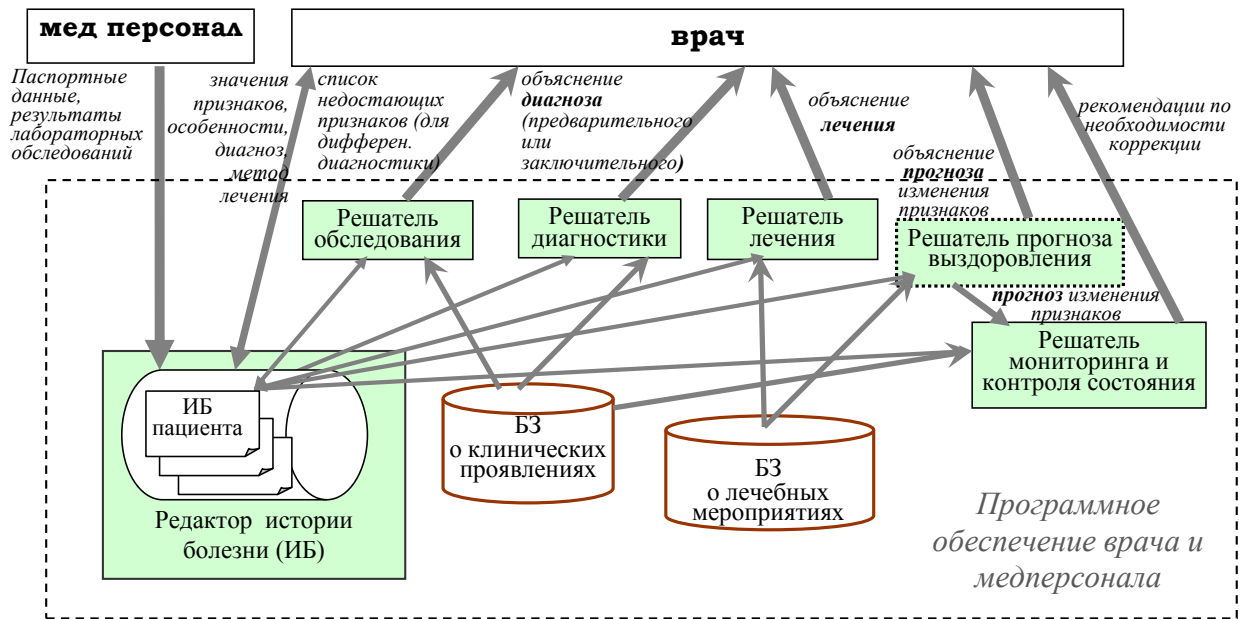


Рисунок 2 – Пример концептуальной архитектуры программного обеспечения врача и медперсонала

Рисунок 2 показывает, что при решении задач обследования, диагностики, лечения, мониторинга состояния пациента с помощью комплекса ЭС врач имеет возможность видеть объяснение, сформированное соответствующим решателем. Каждый решатель использует необходимые ему БЗ. Решатель диагностики формирует один (или несколько возможных диагнозов) и их объяснения. Врач может не согласиться ни с одним из них и поставить свой диагноз. Решатель лечения должен строить план лечения для каждого из сгенерированных возможных диагнозов и их объяснения. Решатель прогноза должен строить прогноз изменения значений множества признаков пациента, во-первых, для каждого построенного плана лечения, а во-вторых, для предложенного врачом лечения (которое может отличаться от предлагаемых системой) по отношению к каждому из сгенерированных возможных диагнозов. Информация от этого решателя (прогнозируемые системой изменения значений множества признаков пациента) непосредственно врачу не нужна (на рисунке 2 этот решатель обведен пунктиром). Эта информация необходима для осуществления мониторинга состояния пациента и для уточнения диагноза (по результатам наблюдений за динамикой соответствующих признаков пациента). Для ведения историй болезни (ИБ) пациентов предусмотрен специализированный их редактор. Подсистема-редактор доступна не только врачам, но и медперсоналу, который с решателями не работает, а занимается только вводом и редактированием данных о пациенте.

После завершения высокоуровневого проектирования всей системы каждое ПС разрабатывается последовательно от анализа требований к нему и проектирования его архитектуры до квалификационных испытаний.

Трудозатраты на сопровождение каждого ПС связаны с анализом, так называемых, запросов на изменения (обычно – «запросов пользователя» на «поправки, изменения, пропущенные функции, а также усовершенствования» [6]) и выполнением последовательности процессов для внесения изменений - от уточнения требований к ПС или от перепроектирования до квалификационных испытаний. Процесс сопровождения подразумевает также трудозатраты на проверку и приемку при сопровождении и на другие работы, реализуемые при модификациях ПС и соответствующей документации, вызванных потребностями в модернизации. Эти работы выполняются персоналом сопровождения [6].

Трудозатраты на формирование базы знаний складываются из затрат:

- на разработку первого варианта каждой БЗ (с помощью редакторов знаний и подсистемы оценивания варианта БЗ);
- на сопровождение и управление БЗ (с помощью редакторов знаний, АРМов, подсистемы формирования вариантов модификации БЗ и подсистемы оценивания БЗ).

Первичной разработкой БЗ занимаются эксперты. Они же занимаются их сопровождением и управлением ими, являясь пользователями системы управления качеством знаний в процессе всего периода эксплуатации системы.

Таким образом, автоматизация интеллектуальной деятельности (даже в рамках одного раздела предметной области) связана с типичным спектром трудозатрат на *системную инженерия* и разработку *программного обеспечения* [2, 6], а также с особого рода затратами на разработку *баз знаний*, поскольку их (БЗ) роль и способ организации отличаются от других хранилищ данных.

2 Парадигмы автоматизации интеллектуальной деятельности и ожидаемый эффект от их применения

Целью автоматизации интеллектуальной деятельности будем считать повышение качества этой деятельности, т.е. снижение доли неправильных решений, а также повышение эффективности системы управления качеством такой деятельности.

К настоящему времени можно отметить несколько парадигм автоматизации интеллектуальной деятельности, для каждой из которых укажем ожидаемые эффект и трудозатраты.

2.1 Автоматизация первичного звена

Эта парадигма состоит в разработке комплекса ЭС для взаимосвязанных задач всех классов, решаемых в первичном звене¹[1]. Специалистам первичного звена предоставляется возможность взаимодействовать с решателями ЭС, а также вводить информацию с помощью специализированных редакторов. Экспертам предоставляются средства создания и управления БЗ. В случае интеграции всех этих подсистем, устанавливаемых на рабочих местах сотрудников, с подсистемой документооборота, руководителям предоставляется возможность знакомиться со всеми результатами работы специалистов и производить обработку этих результатов.

На рисунке 3 показана схема взаимосвязи элементов системы автоматизации первичного звена на примере медицинского звена – отделения больницы. Медперсонал и врачи заполняют ИБ для каждого пациента; врачи получают консультации ЭС; ЭС генерируют объяснения на основе ИБ и БЗ; состоянием БЗ управляет один или несколько экспертов; средства для управления знаниями обращаются к архивам всех известных в этом отделении решений задач; такие архивы накапливаются в процессе функционирования отделения на основе ИБ; сами истории контролируются заведующим, а также выборочно главврачом; оба типа руководителей обобщают и анализируют все случившиеся прецеденты посредством подсистемы документооборота.

Ожидаемый эффект от этой парадигмы состоит в получении преимуществ в повседневной деятельности и в совершенствовании знаний только специалистами одного первичного звена. В повседневной деятельности эти специалисты получают возможность использовать БЗ в качестве компьютерных справочников; специалистам доступен результат полного анализа всех входных данных каждой задачи на соответствие гипотезам.

¹ В медицине примером первичного звена может служить отделение больницы, а примером основного звена - больница.



Рисунок 3 – Схема автоматизации в медицине (в парадигме «первичного звена»)

Преимущества в управлении качеством знаний связаны с монотонным ростом *оценки качества баз знаний* [1], которые можно использовать на практике и в обучении.

Однако, когда речь идет о совершенствовании знаний специалистами одного первичного звена, следует иметь в виду, что оценка качества БЗ зависит от сложности задач, которые специалистам приходится решать в этом первичном звене. Если специалистам приходится решать чаще всего несложные задачи (например, в медицинском первичном звене - районной поликлинике), то БЗ будет адаптироваться к решению «типичных», распространенных задач. И, наоборот, в высокотехнологичном первичном звене БЗ будет адаптироваться к решению преимущественно сложных задач.

Чтобы специалисты первичного звена могли получить ожидаемый эффект, они должны «понести» и все необходимые затраты. Трудозатраты на автоматизацию отдельного первичного звена включают следующее.

- 1) *Все типичные затраты на программное обеспечение* (на разработку, тестирование и сопровождение), а именно:
 - решатели (и их ПИФ) - *n* штук (по числу разных интеллектуальных задач),
 - подсистему документирования – одну.
- 2) *Возможные затраты на тренажер*. Если первичное звено связано с процессом обучения или повышения квалификации, то понадобится разрабатывать тренажер, включающий в

себя n подсистем генерации и оценивания (чтобы генерировать для n задач, таких, как задачи обследования, диагностики, лечения, их решения и объяснения и производить сравнения решений студента с правильными решениями).

- 3) *Затраты на базы знаний* (разработку, оценивание и сопровождение), а именно:
- БЗ - приблизительно n штук (например, для решения задач обследования и диагностики нужны БЗ о клинических проявлениях заболеваний и нормальных значениях признаков – на два решателя понадобится одна БЗ);
 - редакторы знаний - приблизительно n штук (поскольку каждая БЗ имеет свою структуру, то число специализированных редакторов БЗ равно числу БЗ);
 - АРМ для анализа прецедентов и формирования обучающей выборки - n штук (поскольку каждая задача имеет свою структуру результата решения и объяснения, то для анализа прецедента, т.е. правильного решения задачи, и сопоставления его сгенерированному системой объяснению понадобится свой инструмент);
 - подсистему формирования вариантов модификации БЗ - n штук (поскольку по каждой задаче из прецедентов может быть сформирована обучающая выборка, то для генерации по ней вариантов модификации БЗ для этой задачи понадобится свой инструмент);
 - подсистему оценивания БЗ – по числу БЗ (при модификации каждой БЗ, не связанной с выборкой прецедентов, например, при внесении в БЗ новых научных результатов, требуется ее оценивание).

При этом требуется одна команда экспертов по знаниям для этой совокупности БЗ. Они занимаются и первичной разработкой БЗ и управлением ими в процессе всего периода эксплуатации системы. Для этого привлекаются дополнительные специалисты, поскольку у работающих в первичном звене специалистов нет свободного времени;

- 4) *Все затраты на системную инженерию* (включая администрирование локальной сети).

Вывод: такая автоматизация экономически не оправдана, т.к. затраты на разработку измеряются «десятками человеко-лет», затраты на сопровождение также чрезмерны по отношению к эффекту.

2.2 Автоматизация основного звена широкого профиля

Эта парадигма состоит в разработке ЭС для всех классов задач интеллектуальной деятельности, решаемых в основном звене (например, больницы, как основном звене отрасли). Специалистам каждого первичного звена, из которых «состоит» основное звено, предоставляется возможность взаимодействовать с совокупностью решателей ЭС, устанавливаемой на их рабочих местах, вводить информацию с помощью специализированных редакторов. Экспертам каждого первичного звена предоставляются средства создания и управления БЗ, также устанавливаемые на их рабочих местах. Руководителям обоих уровней предоставляется доступ к результатам работы специалистов и инструменты для обработки этих результатов.

На рисунке 4 показана схема взаимосвязи элементов системы автоматизации основного звена на примере медицинского звена – больницы. Медперсонал и врачи выполняют повседневную деятельность с помощью предоставленных им экземпляров компонентов интеллектуальной программно-информационной системы. Состоянием БЗ управляют эксперты всех профилей больницы. Работая с однотипными АРМами, эксперт каждого профиля «отвечает» за качество своей совокупности БЗ.

Ожидаемый эффект от этой парадигмы состоит в получении преимуществ в повседневной деятельности и в совершенствовании знаний (отмеченных в предыдущем пункте и подробно описанных в [1]) только специалистами одного учреждения. Если все задачи интеллектуальной деятельности в каждом первичном звене основного звена будут решаться с ис-

пользованием БЗ, оценки правильности и точности [1] которых выше, чем оценки знаний специалистов, то общий эффект станет заметен.



Рисунок 4 – Схема автоматизации в медицине (в парадигме «основного звена»)

Аналогично, когда речь идет о совершенствовании знаний специалистами основного звена, следует иметь в виду, что качество улучшаемых БЗ будет зависеть от сложности задач, которые специалистам приходится решать (в основном звене широкого профиля БЗ будут адаптироваться к решению «типичных», распространенных задач).

Для получения ожидаемого эффекта в рамках такого звена, оно должно «понести» и все необходимые затраты. Трудозатраты на автоматизацию для m профилей деятельности (основного звена) по сравнению с автоматизацией отдельного первичного звена несколько возрастают, а именно:

- на БЗ и системы управления ими – их $n \times m$ штук;
- на интеграцию n решателей с подсистемой документооборота и подсистемами управления качеством $n \times m$ БЗ (в рамках локальной сети учреждения).

При этом с каждым профилем (первичным звеном) связана своя команда управления качеством совокупности БЗ (m команд), каждая команда занимается первичной разработкой своей совокупности БЗ и управлением ею в процессе всего периода эксплуатации системы. Для этого привлекаются дополнительные специалисты, поскольку у работающих специалистов нет свободного времени.

Вывод: такая автоматизация экономически не оправдана. Затраты на разработку и на сопровождение (по сравнению с первичным звеном) становятся заметно больше, эффект остается таким же, как в первичном звене, только распространен на большее число специалистов (работающих во всех первичных звеньях основного звена).

2.3 Автоматизация узкоспециализированного высокотехнологичного звена

Эта парадигма состоит в разработке ЭС для всех классов задач интеллектуальной деятельности, решаемых в узкоспециализированном высокотехнологичном основном звене. Специалисты именно такого звена могут вносить в БЗ новые научные знания.

Ожидаемый эффект от этой парадигмы сводится к преимуществам в совершенствовании знаний специалистами. Преимущества в повседневной деятельности не будут заметны, поскольку качество повседневной работы специалистов здесь высокое.

Оценка качества БЗ, формируемых в узкоспециализированном высокотехнологичном основном звене, отличается от такой оценки в основном звене широкого профиля. В узкоспециализированном высокотехнологичном основном звене БЗ будут адаптироваться к решению преимущественно сложных задач.

Трудозатраты на автоматизацию аналогичны трудозатратам на автоматизацию интеллектуальной деятельности основного звена.

Вывод: такая автоматизация экономически не оправдана по тем же причинам, что и автоматизация основного звена широкого профиля.

2.4 Предпосылки к автоматизации отрасли

Внедрение ЭС на уровне отраслей пока не происходит, но предпосылки к этому уже существуют [7]. В доступных источниках сказано, что в сфере медицины реализуется по принципу облачных сервисов «интегрированная электронная медкарта» [8], предполагается, что такой облачный сервис «на уровне субъекта» «будет синхронизироваться с федеральным ресурсом», а техническую возможность ведения карт обещают обеспечить до конца 2013 г. [9]. Пишут также, что для научно-исследовательских учреждений и учебных медицинских учреждений на принципах сервисно-ориентированной архитектуры разрабатываются экспертные медицинские системы [10]. Однако информация о возможности и механизмах поддержки интеллектуальной деятельности всех специалистов с использованием БЗ, качество которых регулярно повышается, не известна.

Таким образом, опубликованные в прессе заявления показывают, что некоторые отрасли экономики готовы к «централизованной автоматизации», а коллективы разработчиков имеют в распоряжении подходящие технологии для попытки такой автоматизации [10].

3 Новая парадигма автоматизации интеллектуальной деятельности

Для повышения качества принятия ответственных решений специалистами важной для государства отрасли (такой, например, как здравоохранение) требуется такая система поддержки интеллектуальной деятельности, которая

- 1) дает возможность на местах (во всех основных звеньях отрасли) использовать при решении всех интеллектуальных задач самые современные и проверенные знания;
- 2) учитывает привычную терминологию и сложившиеся традиции работы специалистов, соответствующие современным стандартам ведения деятельности, потребность специалистов в качественной консультации;

- 3) позволяет лицам, ответственным за уровень знаний в отрасли, создавать стандарты знаний и управлять их качеством;
- 4) позволяет контролировать, является ли применение системы автоматизации повсеместным;
- 5) является «основой» для стандартизации качественного выполнения работ.

Эта новая парадигма - *автоматизация отрасли* в целом, т.е. разработка единой для отрасли «облачной» интеллектуальной программно-информационной системы для решения всех задач принятия решений на основе знаний, а также всех задач управления качеством знаний.

«Облачная» реализация системы означает, что на центральных серверах отрасли устанавливаются все решатели и все БЗ, подсистема документооборота и подсистема управления, тренажеры, а также единый архив решенных задач. Всем пользователям интеллектуальной программно-информационной системы на своих рабочих местах достаточно иметь доступ в Интернет. Специалисты из основных звеньев отрасли используют «облачные» ЭС, коллектив экспертов (команда управления качеством) каждого профиля управляет качеством БЗ посредством «облачно»-доступных инструментов (рисунок 5). Экспертами становятся специально выделенные высококвалифицированные специалисты, соответствующие по уровню квалификации узкоспециализированному высокотехнологичному звену (обеспечение качества БЗ по своему профилю - их основная работа). Управление деятельностью может осуществляться на любом уровне – звена, регионального отделения или всей отрасли.

Ожидаемый эффект от этой парадигмы состоит в получении всех ранее перечисленных преимуществ (в повседневной деятельности и в совершенствовании знаний) в каждом основном звене отрасли. Достижима наивысшая оценка качества БЗ, т.к. она определяется полным спектром решаемых в отрасли задач – от типичных до самых сложных. (Оценки правильности и точности единой БЗ выше, чем оценки знаний любых специалистов отрасли).

Трудозатраты на автоматизацию для всей отрасли (для m профилей деятельности в ней) близки к затратам на автоматизацию основного звена. Здесь ожидается такой же объем работ, как и при автоматизации основного звена (но выполняемый в одном «месте» вместо выполнения его во всех звеньях отрасли). Кроме этих затрат, естественно, будут и затраты на создание (и администрирование) общего вычислительного ресурса, объединяющего устройства хранения данных, серверы, сети передачи данных и т.д., на развертывание на центральных серверах отрасли нескольких решателей, БЗ, комплекса ПС для управления качеством знаний, других подсистем.

Заметное увеличение трудозатрат будет иметь место при организации распределенного хранилища отчетов, которое должно накапливать отчеты о задачах, решаемых во всех звеньях отрасли. Объем, структура и методы доступа к нему должны быть приспособлены к потенциально большой географически распределенной группе пользователей, должны иметь соответствующие средства защиты, поддержки целостности данных, их безопасности и оптимизации.

В этой парадигме становится реально осуществимым выделение высококвалифицированных экспертов (из узкоспециализированного высокотехнологичного звена), основной работой которых станет обеспечение качества БЗ по своему профилю.

При этом возможна поэтапная автоматизация. Например, в случае медицинской деятельности проводить автоматизацию можно поочередно - сначала для одного отдельно взятого профиля, затем для следующего и т.д.

Вывод: такая автоматизация экономически целесообразна, т.к. эффект ощущает вся отрасль, а затраты практически не увеличиваются по сравнению с парадигмой автоматизации

основного звена (а в случае поэтапной автоматизации – соизмеримы на каждом этапе с затратами на автоматизацию первичного звена).

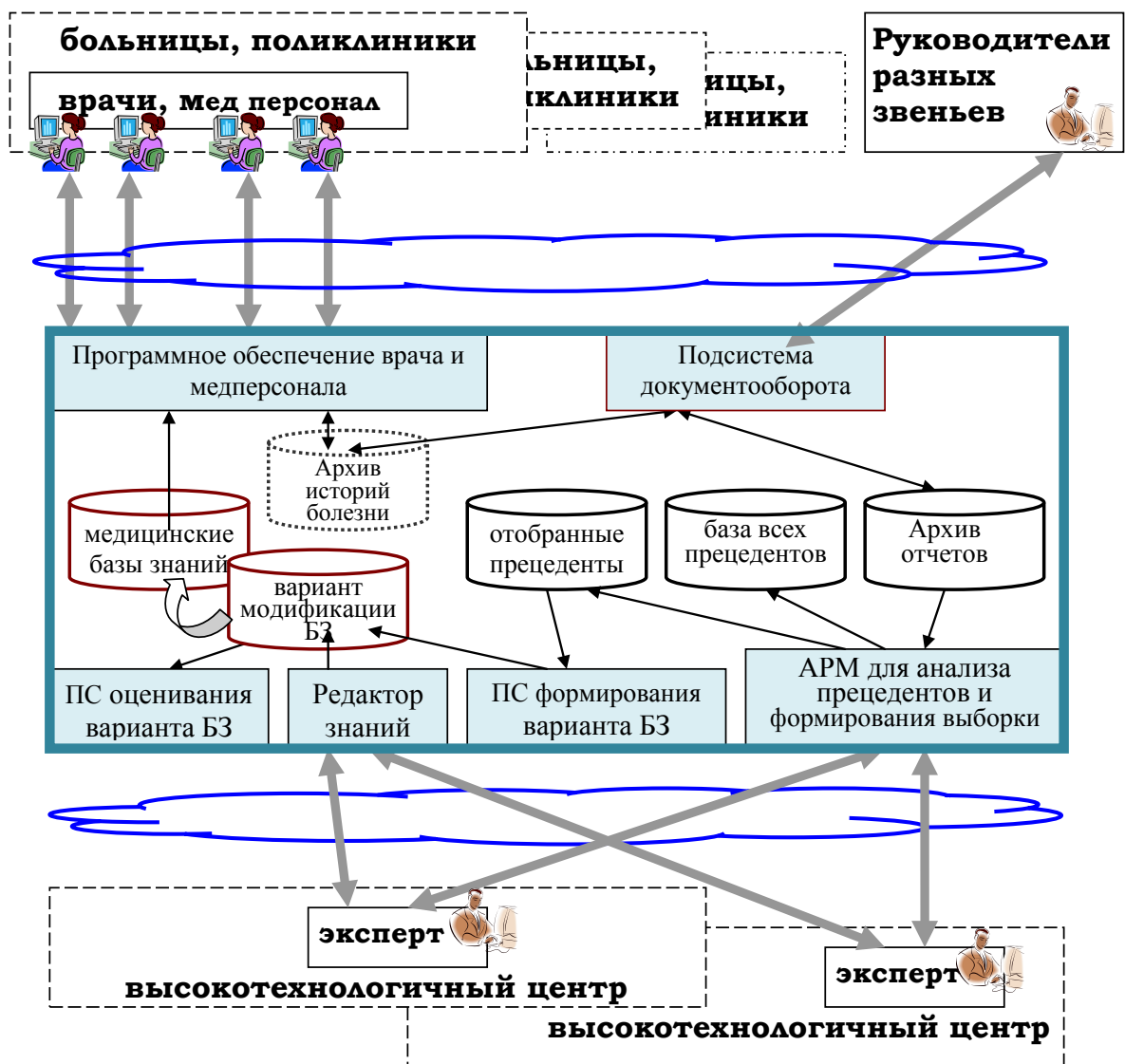


Рисунок 5 – Схема автоматизации в медицине (в «облачной» парадигме)

Заключение

Таким образом, «отношение» затрат на получаемый специалистами эффект различно в разных парадигмах.

В первичном звене широкого профиля управление БЗ является непосильной задачей: все современные знания (в том числе наиболее современные знания, выявляемые научным сообществом) вряд ли могут быть внесены в БЗ экспертом или командой управления качеством первичного звена. Это «по силам» лишь высококвалифицированным экспертам высокотехнологического узкоспециализированного первичного звена.

Так же велики затраты по отношению к ожидаемому эффекту при автоматизации основного звена. Внесение во все БЗ основного звена новых знаний, выявляемых научным сообществом, является непосильной задачей.

ществом, в каждом основном звене является непосильной задачей (особенно для основных звеньев широкого профиля). И затраты на сопровождение систем могут превысить возможности предприятия (т.к. интеграция требует много усилий).

Экономически целесообразной является, по сравнению с ними, парадигма автоматизации отрасли. Затраты на сопровождение программной части сводятся к сопровождению одной программно-информационной системы, используемой по всей отрасли (за счет облачной технологии). То же – с затратами на сопровождение БЗ, при этом возможность найти (и назначить) лучших экспертов ответственными за качество знаний на уровне отрасли становится реальной.

Новая парадигма встраивается в существующую организацию интеллектуальной деятельности и предлагает новые механизмы управления ей, согласованные с существующими в отрасли механизмами (пока осуществляемыми «вручную»). Такое более эффективное управление возможно только при внедрении единого комплекса ЭС и сопряженных с ними программ на уровне всей отрасли.

Это может привести к такому распределению ресурсов в отрасли: узкоспециализированные учреждения смогут стать не только местом принятия лучших решений, но и центром формирования стандарта знаний для отрасли.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке грантов РФФИ № 11-07-00460 и ДВО РАН № 12-И-П15-03.

Список источников

- [1] **Клещев, А.С.** Парадигма автоматизации интеллектуальной профессиональной деятельности. Часть 1. Особенности интеллектуальной профессиональной деятельности / А.С. Клещев, М.Ю. Черняховская, Е.А. Шалфеева // *Онтология проектирования*. 2013. №3(9). – С. 53-69.
- [2] **Гаврилова, Т.А.** Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы: Учеб. пособие, 2-е изд./ Т.А. Гаврилова, Д.И. Муромцев. – СПб.: Изд-во «Высшая школа менеджмента»; Издат. Дом С.-Петербург. гос. ун-та, 2008. – 488 с.
- [3] ГОСТ Р ИСО/МЭК 15288-2005 Информационная технология. Системная инженерия. Процессы жизненного цикла систем. – М.: Стандартинформ, 2005. – 57 с.
- [4] **Клещев, А.С.** Системный анализ при автоматизации интеллектуальной профессиональной деятельности / А.С. Клещев, Е.А. Шалфеева // XIII Национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2012 (16–20 октября 2012 г., Белгород, Россия). Труды конференции. Т.2. - Белгород: Изд-во БГТУ, 2012. - С.128–135.
- [5] **Клещев, А.С.** Управление интеллектуальными системами / А.С. Клещев, В.В. Грибова // *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2010. № 6. - С. 122-137.
- [6] **Pressman, R.S.** Software Engineering: Practitioner's Approach. Fifth edition. / R.S. Pressman. - McGraw-Hill Inc., 2001. - 860 p.
- [7] ГОСТ Р ИСО/МЭК 12207-99. Информационная технология. Процессы жизненного цикла программных средств. - М.: ИПК Издательство стандартов, 2000. – 76 с.
- [8] **Шеян, И.** «Ростелеком» завершил создание электронной регистратуры и интегрированной электронной медкарты / И. Шеян // *Computerworld Россия/MedIT*. 2012. <http://www.osp.ru/medit/2012/06/13015950.html> (Актуально на 30.06.2013).
- [9] Электронная медкарта пациента будет доступна любому врачу. Подробности от Минздрава. http://www.cnews.ru/top/2013/03/13/elektronnaya_medkarta_pacienta_budet_dostupna_lyubomu_vrachu_podrobnosti_ot_minzdrava_522316 (Актуально на 30.06.2013).
- [10] НПО РусБИТех. Единое информационное пространство в здравоохранении РФ. <http://www.myshared.ru/slide/96415/> (Актуально на 30.06.2013).

THE PARADIGM OF AN INTELLECTUAL PROFESSIONAL ACTIVITY AUTOMATION. PART 2. AUTOMATION OF BRANCH

A.S. Kleshev¹, M.Y. Chernyakhovskaya², E.A. Shalfeeva³

The Institute for Automation & Control Processes of the FEB RAS, Vladivostok, Russia

¹kleshev@iacp.dvo.ru, ²chernyah@iacp.dvo.ru, ³shalf@iacp.dvo.ru

Abstract

This article is the second in the cycle of articles devoted to the search for ways of overcoming the problems with practical use of intellectual program systems. This study presents an analysis of the automation of intellectual activity effect and the average amount of man-hours spent on automation correspondence. The existing paradigms of automation of intellectual activity are discussed. The new domain-specific paradigm of automation is offered. In compliance with this paradigm, the automation is embedded to the existing organization of intellectual activity in the domain. Automation supports new mechanisms of quality control, consisting with ones, existing in the domain.

Key words: *expert system, system engineering, software, knowledge base, work on automation.*

References

- [1] **Kleshhev A.S., Chernyakhovskaya E.A., Shalfeeva E.A.** Paradigma avtomatizatsii intellektual'noj professional'noj deyatel'nosti. CHast' 1. Osobennosti intellektual'noj professional'noj deyatel'nosti [Paradigm of intellectual professional activity automation. Part 1. Features of intellectual professional activity]. *Ontologiya proektirovaniya [Ontology of designing]*, 2013, no. 3(9), pp. 63-69. (In Russian)
- [2] **Gavrilova T.A.** Intellektual'nye tekhnologii v menedzhmente: instrumenty i sistemy [Intelligent Technologies in Management: Tools and systems], second edition. St. Petersburg: St. Petersburg State University publ., 2008, 488 p. (In Russian)
- [3] GOST R ISO / IEC 15288-2005 Informatsionnaya tekhnologiya. Sistemnaya inzheneriya. Protsessy zhiznennogo tsikla sistem [State standard 15288-2005. Information technology. Systems Engineering. Lifecycle processes]. Moscow: Standartinform publ., 2005, 57 p. (In Russian)
- [4] **Kleshhev A.S., Shalfeeva E.A.** Sistemnyj analiz pri avtomatizatsii intellektual'noj professional'noj deyatel'nosti [System analysis in the automation of professional intellectual activity]. *Proc. of KII-2012, vol.2.* Belgorod: BGTU publ., 2012, pp. 128–135. (In Russian)
- [5] **Kleshhev A.S., Gribova V.V.** Upravlenie intellektual'nymi sistemami [Intelligent systems management]. *Izvestiya RAN. Teoriya i sistemy upravleniya [Journal of RAS. Theory and Control systems]*, 2010, no. 6, pp. 122-137. (In Russian)
- [6] **Pressman R.S.** *Software Engineering: Practitioner's Approach.* Fifth edition. McGraw-Hill Inc., 2001, 860 p.
- [7] GOST R ISO / IEC 12207-99 Informatsionnaya tekhnologiya. Protsessy zhiznennogo tsikla programmnykh sredstv [State standard 12207-99. Information technology. Processes of the software life cycle]. Moscow: Izdatelstvo standartov publ., 2000, 76 p. (In Russian)
- [8] **Sheyan I.** «Rostelekom» zavershil sozдание ehlektronnoj registratury i integrirovannoj ehlektronnoj medkarty ["Rostelecom" has completed the creation of an electronic registry and integrated electronic medical records] *Computerworld Russia, MedIT*, 2012. <http://www.osp.ru/medit/2012/06/13015950.html> (accessed 30.06.2013).
- [9] Elektronnaya medkarta patsienta budet dostupna lyubomu vrachu. Podrobnosti ot Minzdrava [Electronic medical records will be available to any patient's doctor. Details from the Ministry of Health] http://www.cnews.ru/top/2013/03/13/elektronnaya_medkarta_patsienta_budet_dostupna_lyubomu_vrachu_podrobnosti_ot_minzdrava_522316 (accessed 30.06.2013).
- [10] NGO RusBITech. Edinoe informatsionnoe prostranstvo v zdravookhraneni RF [Common information space in healthcare RF]. <http://www.myshared.ru/slide/96415/> (accessed 30.06.2013).

Сведения об авторах



Клещев Александр Сергеевич, 1940 г. рождения. Окончил математико-механический факультет Ленинградского государственного университета в 1964 г., д.ф.-м.н. (1990). Главный научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, профессор, заслуженный деятель науки РФ. В списке научных трудов более 300 работ в области искусственного интеллекта (ИИ), информатики, медицинской и биологической кибернетики.

Alexander Sergeevich Kleshev (b. 1940) graduated from the Leningrad State University in 1964, Professor's degree (1990). He is Chief Researcher at lab. of intellectual systems in the Institute for Automation & Control Processes of the FEB RAS. He is co-author of more than 300 publications in the fields of biological and medical cybernetics, informatics and AI.



Черняховская Мери Юзефовна. Окончила 1-ый Ленинградский медицинский институт им. акад. Павлова, доктор медицинских наук (1991). Главный научный сотрудник лаборатории интеллектуальных систем Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН. Имеет более 200 научных работ, в том числе две монографии в области медицины, физиологии и применения методов ИИ в медицине.

Mery Yuzefovna Chernyakhovskaya graduated from the First Leningrad Medical Institute in 1957, Professor's degree (1991). She is Chief Researcher at lab. of intellectual systems in the Institute for Automation & Control Processes of the FEB RAS. She is co-author of more than 200 publications in the fields of medicine, physiology and application of AI methods in medicine.



Шалфеева Елена Арефьевна, 1967 г. рождения. Окончила математический факультет Дальневосточного государственного университета (Владивосток) по специальности "прикладная математика" в 1989 г., к.т.н. (2000). Старший научный сотрудник лаборатории Интеллектуальных систем Института автоматизации и процессов управления Дальневосточного отделения РАН, доцент по специальности. В списке научных трудов более 70 работ в области программных моделей, систем и ИИ.

Elena Arefyevna Shalfeeva (b.1967) graduated from the Far Eastern State University (Vladivostok) in 1989, PhD (2000). She is Senior Researcher at lab. of intellectual systems in the Institute for Automation & Control Processes of the FEB RAS, lecture. She is co-author of more than 70 publications in the fields of Program models, systems and AI.

УДК 519.68.02

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ И МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА ОСНОВЕ ОНТОЛОГИИ ОРГАНИЗАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОГРАММНЫМИ ПРОЕКТАМИ

Л.Р. Черняховская¹, А.И. Малахова²

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия

¹lrchern@yandex.ru ²aimalakhova@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы применения моделей и методов интеллектуальной поддержки принятия решений в организационном управлении программными проектами. Предлагается концепция интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений, основанная на принципах управления знаниями, включающая проведение онтологического анализа процесса управления программными проектами и разработки базы знаний. Формулируются требования к базе знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений, и проводится проверка соответствия базы знаний предъявляемым требованиям.

Ключевые слова: организационное управление, программный проект, управление знаниями, онтология, поддержка принятия решений.

Введение

На современном этапе развития мировой экономики и социально-экономических отношений проектная деятельность прочно вошла в жизнь производственных предприятий и организаций различной отраслевой направленности. Управление рядом деловых процессов на данных предприятиях осуществляется в рамках управления связанными с ними проектами. Процесс деятельности предприятий состоит из большого количества основных и вспомогательных деловых процессов, которые характеризуются различной степенью сложности управления, количественным и качественным составом входящих в них работ и участников, разнородностью источников информации и условий реализации, а также наличием значительного количества взаимосвязей между ними. Эффективным способом повышения качества управления данными процессами является их автоматизация за счет разработки и внедрения различного рода информационно-управляющих систем в рамках соответствующих им программных проектов.

Одной из основных причин большинства провалов *программных проектов* является применение неадекватных методов организационного управления разработкой. Зачастую на роль менеджеров проекта назначаются сотрудники из числа опытных разработчиков проектов, но не управленцев. Методы работы, знания, умения и навыки, имеющиеся у большинства менеджеров проектов, являются недостаточными для реализации управленческих функций в возникающих проблемных ситуациях.

Технологию организационного управления программными проектами можно рассматривать как систему знаний о методах и средствах сбора, передачи, обработки информации о принятии управленческих решений, а также контроля над их выполнением. Для организационного управления характерно то, что в качестве объекта и субъекта управления выступает

человек, либо группа людей. Это серьезно усложняет работу менеджера проекта и влечет возникновение соответствующих проблемных ситуаций. Успешное выполнение программного проекта в большой степени определяет принятие правильных и своевременных решений. Менеджер проекта уже не может полагаться лишь на субъективные мнения, суждения и разговоры, необходимо применение научных подходов к управлению разработкой программных проектов и поддержке принятия решений в проблемных ситуациях. Использование имеющихся в организации знаний и опыта персонала, сосредоточенных в стандартах, методиках, регламентах и программных приложениях, как исходного материала для построения интеллектуальной системы поддержки принятия решений (ИСППР), позволит повысить эффективность организационного управления, создаст необходимую информационную среду для обмена мнениями и опытом между специалистами, участвующими в процессе управления программным проектом.

1 Концепция интеллектуальной поддержки принятия решений на основе принципов управления знаниями

Для изучения процессов организационного управления программными проектами и обеспечения интеллектуальной поддержки принятия решений в рамках рассматриваемых процессов была разработана концепция интеллектуальной поддержки принятия решений. Данная концепция основана на теории организации и теоретико-информационных подходах к управлению знаниями, определяет структуру представления знаний по результатам онтологического анализа и алгоритмическое обеспечение управления знаниями в условиях неопределенности, что позволяет накапливать и применять знания и опыт экспертов по управлению программными проектами в проблемных ситуациях.

Управление знаниями (англ. *knowledge management*) – плановое или текущее проведение отдельных мероприятий или непрерывное управление процессами для улучшения использования существующих или создания новых индивидуальных или коллективных ресурсов знаний с целью повышения конкурентоспособности предприятия [1]. Жизненный цикл знаний включает принципиальные фазы менеджмента знаний: отбор знаний, их техническую поддержку, измерение, передачу и использование в заданном контексте. Технологическими средствами управления знаниями занимается **инженерия знаний** – направление исследований и разработок в области интеллектуальных систем, ставящее целью разработку моделей, методов и систем для получения, структурирования и формализации знаний специалистов с целью проектирования баз знаний [1-3]. Схема цикла управления знаниями с использованием предлагаемой ИСППР приведена на рисунке 1.

Разработанная концепция интеллектуальной поддержки принятия решений охватывает основные процессы цикла управления знаниями, включающие разработку визуальной объектно-ориентированной модели управления знаниями, онтологической модели поддержки принятия решений и модели формирования знаний. В рамках данной концепции разработана структура интеллектуальной системы поддержки принятия решений, которая включает в себя следующие компоненты: онтологию поддержки принятия решений; базу знаний, содержащую модуль правил принятия решений и модуль прецедентов; множество объектных, онтологических и аналитических моделей, реализующих функции моделирования процесса принятия решений; модуль, реализующий функцию выбора аналитической модели (моделей) для рассматриваемой задачи; модуль формирования решений на основе базы знаний и математического моделирования.

Разработка моделей, методов и алгоритмов онтологического анализа и обработки знаний реализована с целью обеспечения нового качества решений в результате использования еди-

ного информационного пространства, адаптации процессов к изменяющимся внешним условиям вследствие обработки и распространения накопленных корпоративных знаний, а также возможности интеграции информационных потоков с применением современных средств информационно-коммуникационных технологий при совместном решении задач управления в реальном времени.

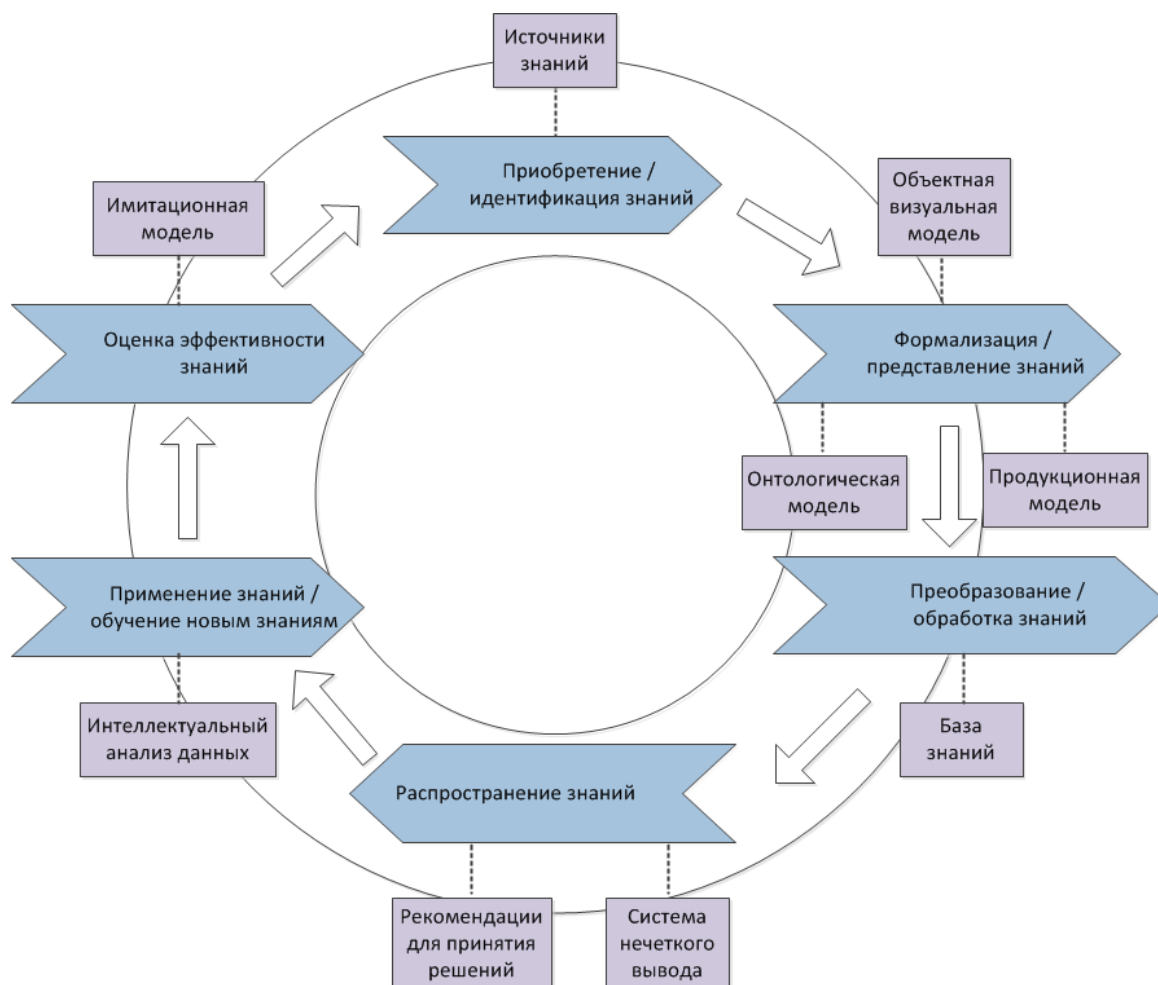


Рисунок 1 – Схема цикла управления знаниями

Формализация полученных знаний осуществляется в ходе разработки объектно-ориентированной модели управления знаниями в организационном управлении программными проектами, которая позволяет на начальных этапах проектирования сформировать некую формализованную базу знаний о процессах, протекающих в рамках рассматриваемой предметной области, и служит основой для разработки онтологии поддержки принятия решений. Разработанная объектная модель преобразуется в онтологию поддержки принятия решений с применением дескрипционной логики в соответствии с определенной взаимосвязью элементов объектной и онтологической моделей, когда объекты и классы, содержащиеся в объектной модели, отображаются в виде понятий создаваемой онтологии [4].

Онтология используется для формального описания понятий, принадлежащих к рассматриваемой предметной области, и отношений между ними. На основе разработанной онтологии строятся модели представления знаний в виде правил и прецедентов принятия решений в проблемных ситуациях, которые вместе с онтологией составляют основу базы знаний ИСППР. База знаний, созданная на основе онтологии, обеспечивает возможность поддержки

принятия решений с применением методов и алгоритмов поиска решений, а также моделей и методов оптимизации, представленных в онтологии.

Следующим этапом является распространение знаний за счет организации логического вывода, определяемого в виде результата совокупного применения стратегий и цепочек логических рассуждений, и стратегий формирования решений на его основе. Адаптация базы знаний и обучение ИСППР новым знаниям осуществляется на основе интеллектуального анализа данных и формирования суждений экспертов в соответствии с изменениями условий функционирования объекта управления.

Заключительным этапом управления знаниями является оценка эффективности накопленных знаний за счет оценки эффективности правил и прецедентов, представленных в базе знаний ИСППР, на имитационной модели.

2 Разработка модели процесса управления знаниями для поддержки принятия решений в организационном управлении программными проектами на основе принципов онтологического анализа

В ходе моделирования процесса управления знаниями устанавливаются парадигматические отношения между когнитивными элементами процесса организационного управления разработкой программных проектов (причинно-следственные RC , отношения сходства RS), а также отношения обобщения, ассоциации, зависимости и реализации, необходимые для разработки комплекса объектно-ориентированных моделей процесса управления. Модели структуры $DClass = \{C(A^C, O), R^X(Role, Mult)\}$ содержат описания абстрагированных понятий и сущностей C , являющихся базовыми объектами предметной области $C_i \in E$ и определяют отношения R^X между ними.

На сегодняшний момент при разработке систем управления знаниями самой сложной является задача извлечения, формулирования, структурирования и представления информации, т. е. данных и знаний. Ключевой задачей при разработке предлагаемой интеллектуальной системы поддержки принятия решений является задача выбора модели представления полученных от экспертов знаний по управлению программными проектами в базе знаний ИСППР. В рамках данного исследования в качестве решения этой задачи была выбрана модель представления знаний на основе онтологии поддержки принятия решений.

Онтология – это точная спецификация некоторой предметной области, или формальное и декларативное представление, которое включает словарь указателей на термины предметной области и логические выражения, описывающие значения этих терминов, их соотношения друг с другом [5]. Таким образом, онтология представляет собой формальное явное описание понятий в рассматриваемой предметной области (классов), свойств каждого понятия (слотов) и ограничений, наложенных на слоты.

Онтологическая модель является основой разработки базы знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений. Онтология обеспечивает общий словарь для решения задач управления, определяет семантику сообщений и отвечает за интерпретацию контекста сообщения. Таким образом, онтология создает основу для того, чтобы при управлении взаимодействующими процессами стороны, обменивающиеся информацией, могли правильно понимать друг друга. В целом, для обеспечения поддержки принятия решений онтология выполняет следующие основные функции:

- определяет общую терминологическую базу для всех участников взаимодействующих процессов;

- обеспечивает совместное использование знаний, представленных в онтологии, для анализа новых проблемных ситуаций;
- обеспечивает совместное представление знаний из различных источников посредством формулирования правил и прецедентов, используя одни и те же понятия предметной области.

На рисунке 2 показан фрагмент онтологии поддержки принятия решений, разработанной с применением онтологического редактора Protégé 4.3.

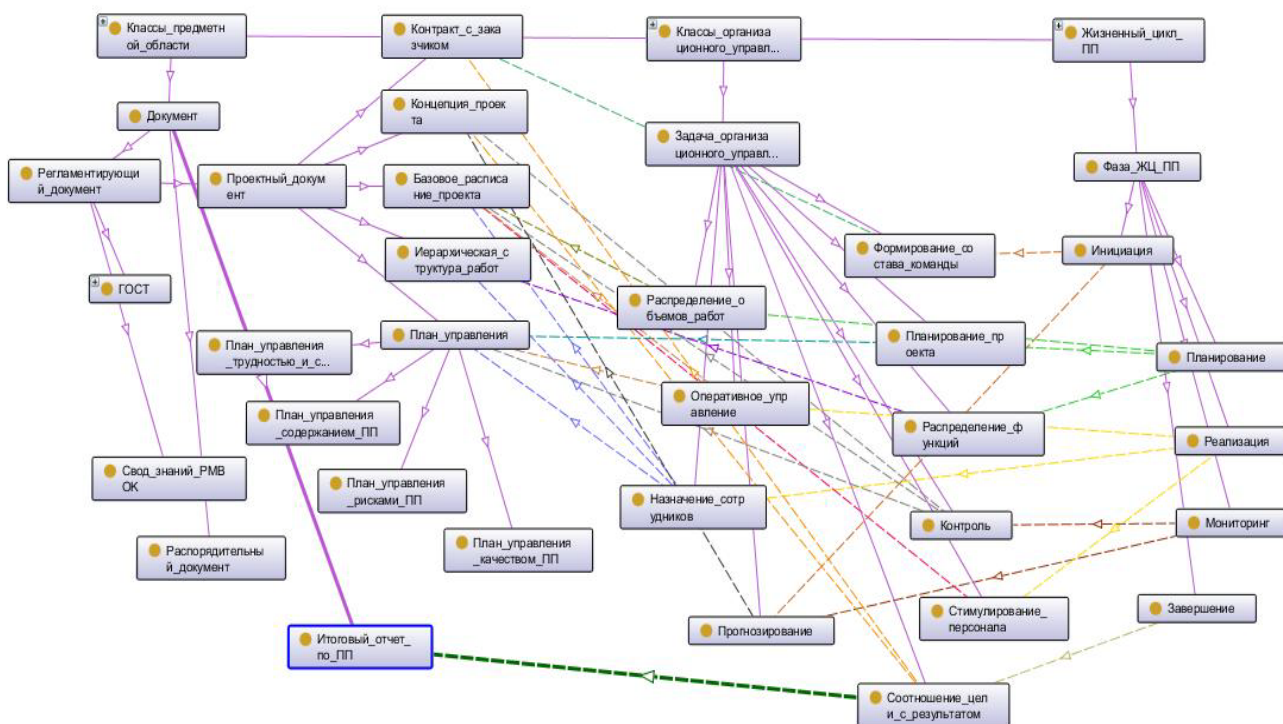


Рисунок 2 – Фрагмент онтологии поддержки принятия решений

Основным преимуществом использования онтологий в организационном управлении является целостный подход к управляемым процессам. При этом достигаются: системность (онтология представляет целостный взгляд на предметную область), единообразие (материал, представленный в единой форме, гораздо лучше воспринимается), комплексность (построение онтологии позволяет восстановить недостающие логические связи) [2, 6].

Структура разработанной онтологии поддержки принятия решений может быть представлена в виде

$$(1) \quad \text{Onto} = \langle \text{Onto}^{\text{meta}}, \text{Onto}^{\text{app}}, \text{Onto}^{\text{org}}, \text{InfF} \rangle,$$

где *InfF* – модели машин выводов, ассоциированных с онтологической системой *Onto*.

Метаонтологию *Onto^{meta}* составляют общие понятия области управления знаниями такие, как «объект», «атрибут», «значение», «отношение» и т.п.

Предметная онтология *Onto^{app}* содержит понятия, характерные для предметной области управления разработкой программных проектов, структурированные в соответствии с иерархией, установленной для конкретного объекта. Наполненная предметная онтология *Onto^{app}*

может использоваться для разработки и рассматриваться как компонент базы знаний при работе с конкретной предметной областью. Она включает в себя такие понятия как «программный проект», «требование», «участник команды разработки», «фаза жизненного цикла проекта» и т.п.

Онтология *Onto^{org}* включает в себя понятия из области организационного управления; а также задачи, модели и методы принятия решений. Она включает такие классы, как «задача», «проблемная ситуация», «решение», «область знаний» и другие.

В некоторых системах предусматривается проверка непротиворечивости категорий, т.е. того, являются ли выполнимыми критерии принадлежности к категории с точки зрения логики. Возможности онтологического редактора Protégé 4.3 позволяют провести проверку правильности построения таксономии T с применением встроенной машины логического вывода, например, *HermiT*. Машина логического вывода автоматически создает иерархию понятий, анализ которой позволяет установить противоречия в таксономии T .

3 Проверка соответствия базы знаний интеллектуальной системы поддержки принятия решений предъявляемым требованиям

Разработанная онтология служит основой базы знаний ИСППР и обеспечивает интеллектуальную поддержку принятия решений в условиях детерминированного управления программными проектами. Вместе с тем, анализ основных задач организационного управления программными проектами показал, что принятие управленческих решений, как правило, происходит в условиях неопределенности, присутствующей при реализации программных проектов. Значительная доля информации доступна в виде эвристических описаний процессов функционирования, поэтому она может быть нечёткой и неопределенной. Кроме того, знания экспертов, которые служат основой для построения правил в базе знаний, зачастую выражены нечётко в виде лингвистических переменных, на естественном языке отражая опыт экспертов по управлению программными проектами.

Использование правил осуществляется через механизм логического вывода. Логическое управление означает, что логика эксперта представляется в виде нечётких правил и разнообразным предпосылкам сопоставляется некоторое действие. Для разработки базы нечётких правил на основе интеллектуального анализа данных можно применить модифицированный метод формирования нечётких правил [4], применение которого позволяет сформировать в онтологии множество классов нечётких сущностей $\tilde{C} = C \cup C_F$; множество нечётких свойств $\tilde{Pr} = Pr \cup Pr_F$; множество представленных лингвистическими переменными нечётких значений свойств $\tilde{V} = V \cup V_F$; множество экземпляров $\tilde{I} = I \cup I_F$ классов $C_F \in \tilde{C}$; множество бинарных нечётких отношений между концептами $\tilde{R} = R \cup R_F$.

Таким образом, можно говорить о разработке на основе онтологии базы нечётких правил, строящихся на основе понятия лингвистической переменной L , которая может быть описана набором вида

$$(2) \quad L = \langle W, T, X, G, M \rangle,$$

где W – наименование лингвистической переменной; T – множество ее значений (термножество), представляющих собой наименования нечётких переменных, областью определения каждой из которых является множество X ; множество T называется базовым термножеством лингвистической переменной; G – синтаксическая процедура, позволяющая оперировать элементами термножества T , в частности, генерировать новые термы (значения); M – семантическая процедура, позволяющая превратить каждое новое значение лин-

гвистической переменной, образуемое процедурой G , в нечёткую переменную, т.е. сформировать соответствующее нечёткое множество [7].

Для формализации знаний в условиях неопределенности применена модель нечёткого вывода, в основе которой содержится нечёткая база знаний с правилами нечёткого управления. Совокупность условий и выводов в нечёткой базе знаний определяет продукционное нечёткое правило (fuzzy rule) в модели *Takagi-Sugeno-Kang (TSK)* [8].

Для систем с n входами и одним выходом множество высказываний, представляющих знания предметной области, может быть описано совокупностью *TSK* нечётких правил вида

$$(3) \quad R_i : \text{Если } x_1 \text{ есть } A_1^i \text{ и } x_2 \text{ есть } A_2^i \text{ и } \dots \text{ и } x_n \text{ есть } A_n^i \text{ то } y^i = f(x_1^i, \dots, x_n^i),$$

где R_i ($i = 1, 2, \dots, K$) – i -е правило; x_j – ($j = 1, 2, \dots, n$) – входные переменные; A_j^i – нечёткие подмножества, определенные при помощи принадлежностей (треугольных, трапециевидных или гауссовых); y^i – выход i -го правила.

Совокупность нечётких продукционных правил образует нечёткую базу правил $\{R_i\}_{i=1}^K$. Допустим, функция принадлежности множества A_j^i имеет вид гауссовой функции, который можно описать с использованием его центра a^i и ширины c^i : $A^i = (a^i, c^i)$. Классическое представление чёткой функции выхода -

$$(4) \quad y^i = f(x_1^i, \dots, x_n^i) = p_0^i + \sum_{j=1}^n p_j^i x_j^i,$$

где p_0^i, \dots, p_n^i – цифровые веса.

Выход нечёткой системы может быть записан в форме

$$(5) \quad y = \sum_{i=1}^K \frac{w^i}{\sum_{j=1}^K w^j} y_i = \sum_{i=1}^K w^i y^i,$$

где w^i определяется как

$$(6) \quad w^i = T_{j=1}^n (A_j^i(x_j)),$$

где T_j^n – оператор t норм.

В соответствии с принципами инженерии знаний к базе знаний ИСППР сформированы следующие требования: семантическая целостность знаний; непротиворечивость, полнота и непрерывность знаний; корректность взаимодействия пользователей с интеллектуальной системой поддержки принятия решений [3].

Семантическая целостность знаний достигается за счёт представления классов объектов и отношений между ними в онтологии поддержки принятия решений на языке OWL DL, в соответствии с дескрипционной логикой. Непротиворечивость, полнота и непрерывность знаний обеспечиваются в процессе построения правил в базе знаний.

Для того чтобы определить непрерывность $\{R_i\}_{i=1}^K$ используются следующие понятия: упорядоченная совокупность нечётких множеств; прилегающие нечёткие множества, определенные в [8].

Совокупность нечётких множеств $\{A_i\}$ называется упорядоченной, если для них задано отношение порядка, например:

$$(7) \quad \text{“<”}: A_1 < \dots < A_{i-1} < A_i < A_{i+1} < \dots$$

Если $\{A_i\}$ упорядочена, тогда множества A_{i-1} и A_i , A_i и A_{i+1} называются прилегающими. Здесь предполагается, что эти нечёткие множества являются неперекрывающимися.

База правил $\{R_i\}_{i=1}^K$ называется непрерывной, если для правил вида

$$(8) \quad R_i: \text{если } x_I=A_{I_i} \text{ и } x_{I'}=A_{I'_i}, \text{ тогда } y=c_i \text{ и } i' \neq i,$$

имеем:

- $A_{I_i} = A_{I_i} \wedge A_{2i}$ и A_{2i} являются прилегающими;
- $A_{2i} = A_{2i} \wedge A_{I_i}$ и A_{I_i} являются прилегающими;
- c_i и $c_{i'}$ являются прилегающими.

Непротиворечивость обеспечиваются за счёт исключения правил, имеющих одинаковые предпосылки и разные заключения; из группы противоречивых правил необходимо оставить только одно.

Полнота $\{R_i\}_{i=1}^K$ используется как мера, указывающая на полноту знаний, которые содержатся в базе правил. Неполная база правил имеет так называемые «пустые места» для определенных ситуаций (на семантическом уровне), т.е. не определены связи между входами и выходами. Этот эффект обусловлен свойствами нечётких множеств, которые используются в условиях правил.

В качестве меры полноты $CM(x)$ используется критерий

$$(9) \quad CM(x) = \sum_{i=1}^{N_r} \left\{ \prod_{j=1}^{N_x} \mu_{A_{ik}}(x) \right\},$$

где x – физическая переменная входных данных (основание лингвистической переменной); N_x – число условий в правиле; N_r – число правил в базе правил.

Численные значения, которые принимает критерий $CM(x)$, позволяют классифицировать базы правил по полноте знаний: $CM(x) = 0$ – «неполная» база правил; $CM(x) = 1$ – «незначительно полная» база правил; $CM(x) > 0$ – «точно полная» база правил; $CM(x) > 1$ – «сверхполная (избыточная)» база правил.

Таким образом, проверка нечёткой базы правил на непрерывность, непротиворечивость и полноту позволяет повысить точность решений, получаемых с применением базы правил.

Следующим этапом формирования нечётких правил является адаптация параметров правил с применением нейро-нечёткой сети ANFIS [9].

Корректность взаимодействия пользователя с ИСППР контролируется в результате сопоставления решений, рекомендованных ИСППР, с решениями, принимаемыми управляющими – пользователями системы, и оценками экспертов, полученными в ходе имитационного моделирования.

В проводимых исследованиях было проведено имитационное моделирование основных задач, возникающих в ходе организационного управления программными проектами в программном пакете Bizagi BPMN Suit. На имитационной модели представлены правила принятия решений, на основе которых воспроизведено множество реализаций процесса организационного управления программным проектом. Имитационная модель позволяет корректировать базу знаний в соответствии с решениями, принимаемыми лицами, принимающими решения (ЛПР), в проблемных ситуациях. При этом на имитационной модели было учтено количество обращений к системе за заданный период времени с учетом квалификации и опыта ЛПР. ЛПР имеет возможность оценить предложенные рекомендации и прокомментировать принятое им решение. На основе данных комментариев, с учетом опыта и квалификации ЛПР, эксперт принимает решение о корректировке правил в онтологической базе знаний.

Другим результатом применения имитационной модели является оценка ее влияния на оперативность принятия решений. С помощью аналитических средств имитационной модели выполнен анализ частоты возникновения и времени решения основных задач. Результаты

анализа показали, что поддержка принятия решений позволяет повысить оперативность принятия решения по отдельным задачам организационного управления программными проектами. Оценка эффективности предлагаемой ИСППР на имитационной модели показала достижение следующих качественных результатов: повышение степени эффективности коммуникации между ЛПР в процессе принятия решений на основе разработанной онтологии; обеспечение возможности обучения ЛПР, а также активизацию распространения знаний экспертов в корпоративной среде.

Заключение

В проводимых исследованиях поставлена и решена научно-техническая задача, актуальная для организационного управления программными проектами – интеллектуальная поддержка принятия решений на основе онтологического анализа и базы знаний. В ходе проведенных теоретических и экспериментальных исследований была обоснована необходимость оказания интеллектуальной поддержки принятия решений в организационном управлении программными проектами.

Разработана концепция интеллектуальной поддержки принятия управленческих решений, основанная на принципах управления знаниями, включающая проведение онтологического анализа процесса управления программными проектами и разработки базы знаний, встроенной в онтологию, что позволяет накапливать и применять знания и опыт экспертов по управлению проектами в проблемных ситуациях.

Проведен контроль соответствия базы нечетких правил требуемым свойствам непрерывности, непротиворечивости и полноты, что позволяет проводить адаптацию параметров правил на основе обучения нейро-нечеткой сети, а также обеспечить объективизацию знаний и повышение оперативности и точности принимаемых решений в организационном управлении программными проектами.

Список источников

- [1] ГОСТ Р 53894-2010. Менеджмент знаний. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2011. – 11 с.
- [2] *Гаврилова, Т.А.* Интеллектуальные технологии в менеджменте: инструменты и системы: Учеб. пособие, 2-е изд./ Т.А. Гаврилова, Д.И. Муромцев. – СПб.: Изд-во «Высшая школа менеджмента»; Издат. Дом С.-Петербур. гос. ун-та, 2008. – 488 с.
- [3] *Бадамшин, Р.А.* Проблемы управления сложными динамическими объектами в критических ситуациях на основе знаний / Р.А. Бадамшин, Б.Г. Ильясов, Л.Р. Черняховская. – М.: Машиностроение, 2003. – 240 с.
- [4] *Черняховская, Л.Р.* Формирование правил принятия решений в управлении проектами по результатам онтологического анализа / Л.Р. Черняховская, А.И. Малахова // Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XV международной конф. (25-28 июня 2013 г. Самара, Россия). – Самара: СамНЦ РАН, 2013. - С. 343–350.
- [5] *Gruber, T.* A translation approach to portable ontology specifications / T. Gruber // Knowledge Acquisition. 1993. V 5. – P. 199–220.
- [6] *Смирнов, С.В.* Онтологический анализ предметных областей моделирования / С.В. Смирнов // Известия Самарского научного центра РАН. 2001. Т.3. №1. – С. 62–70.
- [7] *Заде, Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976.- 165 с.
- [8] Методы робастного, нейро-нечеткого и адаптивного управления: Учебник / Под ред. Н.Д. Егупова; издание 2-ое, стереотипное. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э Баумана, 2002. - 744 с.
- [9] *Рутковский, Л.* Методы и технологии искусственного интеллекта: Пер. с польск. / Л. Рутковский. – М.: Горячая линия–Телеком, 2010. – 520 с.

DEVELOPMENT OF INTELLECTUAL DECISION SUPPORT MODELS AND METHODS BASED ON ONTOLOGY OF SOFTWARE PROJECTS ORGANIZATION MANAGEMENT

L.R. Chernyakhovskaya¹, A.I. Malakhova²

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia

¹lrchern@yandex.ru ²aimalakhova@gmail.com

Abstract

This paper considers the question of using the intellectual decision support models and methods in software projects organization management. The idea of intellectual decision support based on the principles of knowledge management, including ontological analysis of the software projects management process and knowledge base development, is offered. Requirements to the intellectual decision support system knowledge base are formulated. The knowledge base correspondence control to the presented requirements is carried out.

Key words: organization management, software project, knowledge management, ontology, decision support.

References

- [1] GOST R 53894-2010. Menedzhment znaniy. Terminy i opredeleniya [State standard 53894-2010. Knowledge Management. Terms and definitions]. Moscow: Standartinform publ., 2011, 11 p. (In Russian)
- [2] *Gavrilova T.A., Muromtsev D.I.* Intellektual'nye tekhnologii v menedzhmente: instrumenty i sistemy: Ucheb. Posobie [Intelligent Technologies in Management: Tools and Systems, textbook], second edition. St. Petersburg: St. Petersburg State University publ., 2008, 488 p. (In Russian)
- [3] *Badamshin R.A., Il'yasov B.G., Chernyakhovskaya L.R.* Problemy upravleniya slozhnymi dinamicheskimi ob'ektami v kriticheskikh situatsiyakh na osnove znaniy [Problems of managing complex dynamic objects in critical situations on the basis of knowledge]. Moscow: Mashinostroenie publ., 2003, 240 p. (In Russian)
- [4] *Chernyakhovskaya L.R., Malakhova A.I.* Formirovanie pravil prinyatiya reshenij v upravlenii proektami po rezul'tatam ontologicheskogo analiza [Formation of decision rules in project management based on the results of the ontological analysis]. Problemy upravleniya i modelirovaniya v slozhnykh sistemakh: Trudy XV mezhdunarodnoj konferentsii (25-28 iyunya 2013 g. Samara, Rossiya). [Issues of control and modeling in complex systems: Proceedings of the XV International Conference (25 June 28, 2013, Samara, Russia)]. Samara: SAM NC RAS, 2013, pp. 343–350. (In Russian)
- [5] *Gruber, T.* A translation approach to portable ontology specifications. Knowledge Acquisition, 1993, vol. 5, pp. 199–220.
- [6] *Smirnov S.V.* Ontologicheskij analiz predmetnykh oblastej modelirovaniya [Ontological analysis in the modeling domain]. Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN [Proceedings of the Samara Scientific Center, RAS], 2001, vol. 3, no. 1, pp. 62–70. (In Russian)
- [7] *Zade L.A.* Ponyatie lingvisticheskoy peremenoj i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh reshenij [Concept of linguistic variable and its application to the approximate decision making]. Moscow: Mir, 1976, 165 p. (In Russian)
- [8] *Egupov N.D.* ed. Metody robustnogo, nejro-nechytokogo i adaptivnogo upravleniya [Robust methods, neuro-fuzzy and adaptive control. Textbook], second edition. Moscow: MSTU. in honor of NE Bauman publ., 2002, 744 p. (In Russian)
- [9] *Rytkovsky L.* Metody i tekhnologii iskusstvennogo intellekta [Methods and techniques of artificial intelligence]. Moscow: Hotline-telecom publ., 2010, 520 p. (In Russian)

Сведения об авторах



Черняховская Лилия Рашитовна, 1947 г. рождения. Окончила Уфимский авиационный институт в 1970 г., д.т.н. (2004). Профессор кафедры технической кибернетики Уфимского государственного авиационного технического университета. В списке научных трудов около 150 работ в области системного анализа, интеллектуальных информационных систем и систем поддержки принятия решений.

Liliya Rashitovna Chernyakhovskaya (b.1947) graduated from the Ufa aviation Institute in 1970, Dr. of Tech. Sci. (2004). Professor of Ufa State Aviation Technical University (Technical cybernetics department). Co-author of about

150 publications in the field of system analysis, intellectual information systems and decision support systems.



Малахова Анна Ивановна, 1987 г. рождения. Окончила Уфимский государственный авиационный технический университет (2009). Защитила кандидатскую диссертацию по системному анализу, управлению и обработке информации (2013). Ассистент кафедры автоматизированных систем управления Уфимского государственного авиационного технического университета. В списке научных трудов 17 работ в области построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений.

Anna Ivanovna Malakhova (b. 1987) graduated from the Ufa State Aviation Technical University in 2009. Defended a Ph.D. thesis in the field of system

analysis, control and information processing (2013). Assistant of Ufa State Aviation Technical University (Automated management systems department). Co-author of 17 scientific publications in the field of intellectual decision support systems development.

УДК 519.5

ПРОГРЕССИВНОСТЬ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ АЛЬТЕРНАТИВ

С.А. Пиявский

Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Самара, Россия
spiyav@mail.ru

Аннотация

Обсуждается понятие прогрессивности многокритериальных альтернатив на фоне контекста. Предлагаются три суждения относительно прогрессивности альтернатив, согласие с которыми лица, принимающего решения, позволяет ему осуществить наилучший выбор.

Ключевые слова: многокритериальная оптимизация, принятие решений, ЛПР, прогрессивность альтернативы, контекст.

Введение

Понятийный аппарат, используемый в процессе принятия оптимальных решений, непрерывно растет. Это вызвано увеличением сложности решаемых практических задач и связанным с этим расширением фронта теоретических исследований. В [1] нами предложено дополнить онтологию теории принятия решений двумя новыми понятиями: *расширенной Парето-оптимальности прогрессивных решений* и *уверенных суждений ЛПР*. Показано, что первое из них позволяет сузить пространство выбора, а второе – осуществить выбор наилучшей из многокритериальных альтернатив при минимально возможном включении субъективизма лица, принимающего решение. В настоящей статье в русле тех же идей вводится еще одно новое понятие: *уровня прогрессивности* как комплексной скалярной характеристики многокритериальных альтернатив. Оно позволяет предложить убедительный и, главное, доступный пониманию ЛПР любого уровня подготовки, метод выбора наилучшей альтернативы.

1 Прогрессивность как вектор

Классически принятие многокритериальных решений рассматривается как задача выбора «наилучшей» из n альтернатив (решений) $Y = \{y_i\}_{i=1,\dots,n}$, описываемых m -мерным вектором критериев $f = \{f^j\}_{j=1,\dots,m}$. Мы предлагаем взглянуть на ту же математическую модель шире, что более адекватно описывает взгляд лица, принимающего решение (ЛПР). Никогда, по крайней мере, в технико-экономической сфере, ЛПР не рассматривает подлежащие выбору альтернативы автономно, изолированно от общей ситуации в соответствующей отрасли, без сопоставления с аналогами и прототипами. Такой расширенный взгляд на проблему позволяет при той же математической модели предложить новые методы выбора решений, более органичные для ЛПР. Достаточно лишь иметь в виду, что множество Y является не множеством *вариантов* решений, а *контекстом*, на фоне которого происходит принятие решения. Контекст может включать, помимо аналогов и прототипов, и воображаемые идеальные объекты, которые введены лишь для того, чтобы охарактеризовать на языке критериев состояние той сферы реальности, в которой происходит принятие решения. Альтернативы, т.е. варианты решения, из которых должен быть произведен непосредственный выбор, являются лишь

частью контекста. Чтобы подчеркнуть это различие, будем говорить об *объектах* и *альтернативах* как о сущностях одной природы, характеризуемых значениями вектора критериев f и различающихся лишь тем, что *выбор* осуществляется ЛПР-ом исключительно из числа альтернатив.

Примем для определенности, что значения критериев количественны, а желательным является минимальное значение каждого критерия. Тогда контекст задачи принятия решений задается совокупностью чисел $F = \{f_i^j\}_{i=1,\dots,n; j=1,\dots,m}$, где n - число объектов.

Исходя из того, что контекст характеризует состояние области принятия решений, естественно использовать единообразное нормирование критериев в пределах от 0 до 1, которое указывает достижимые пределы их изменения в данном контексте. Будем впредь полагать, что критерии нормированы именно таким образом.

Совокупность эффективных по Парето объектов задает *границу эффективности*, разделяющую все критериальное пространство на два подпространства: точки одного из них эффективны по Парето, другого – неэффективны. При добавлении новой Парето-оптимальной точки эта граница как бы продвигается в сторону большей эффективности решений. Это дает основания оценивать каждую Парето-оптимальную точку с позиций того, насколько далеко она продвигает «в лучшую сторону» границу эффективности. Как предложено в [1], назовем характеристику этого продвижения *прогрессивностью* соответствующего Парето-оптимального объекта (или соответствующей ему Парето-оптимальной точки в критериальном пространстве) относительно совокупности всех остальных Парето-оптимальных объектов. Предлагается характеризовать прогрессивность каждого Парето-оптимального объекта минимальными отклонениями «в худшую» сторону значений каждого из его критериев, при котором это решение становится неэффективным, т.е. перестает влиять на границу эффективности. Таким образом, прогрессивность отражает тот вклад, который внесет принятое решение в общий технический прогресс. Естественно, что при «равноправии» эффективных по Парето альтернатив ЛПР должен стремиться выбрать ту из них, которая обладает «большей» прогрессивностью. В этом и состоит содержание предложенного нами в [1] *расширенного принципа прогрессивности Парето*.

Первое *уверенное суждение ЛПР о прогрессивности решения* состоит в согласии с использованием этого принципа. ЛПР должен понимать, что использование любого формализованного метода выбора наилучшей из многокритериальных альтернатив предполагает, что он согласился с гипотезами, лежащими в основе этого метода, и что все они обладают некоторой мерой условности. Мы полагаем, что гипотеза прогрессивности в достаточном числе случаев будет для ЛПР достаточно приемлемой.

Второе *уверенное суждение ЛПР о векторе прогрессивности* относится к способу оценки прогрессивности объектов. Его мы также предложили в [1].

Если не вводить никаких дополнительных соображений, прогрессивность объекта можно рассматривать как m -мерный вектор, каждая компонента которого показывает, на какую величину следует минимально ухудшить (увеличить) значение соответствующего критерия, чтобы решение стало неэффективным. Назовем его *вектором прогрессивности* решения. Отметим, что, в отличие от вектора критериев эффективности, вектор прогрессивности решения определяется не только им самим, но и другими рассматриваемыми с ним в одном контексте объектами. Поэтому будем обозначать вектор прогрессивности объекта u_i как $p_i(F)$.

Переход к совокупности векторов прогрессивности исходных объектов позволяет уменьшить неопределенность в принятии окончательного решения, а иногда и привести к

единственной наилучшей альтернативе, за счет того, что некоторые альтернативы оказываются доминируемыми по прогрессивности, как это видно на Примере.

Пример. Таблица 1 определяет простейшую задачу многокритериального выбора. Как видно из рисунка 1, эффективными по Парето являются лишь объекты 1–5.

Таблица 1 – Эффективность объектов в Примере

| i | f_i^1 | f_i^2 |
|-----|---------|---------|
| 1 | 0 | 1 |
| 2 | 0,1 | 0,5 |
| 3 | 0,4 | 0,4 |
| 4 | 0,5 | 0,1 |
| 5 | 0,7 | 0 |
| 6 | 0,8 | 0,1 |
| 7 | 1 | 0,3 |
| 8 | 0,3 | 0,6 |

Таблица 2 – Прогрессивность объектов в Примере

| i | $p_i^1(F)$ | $p_i^2(F)$ |
|-----|------------|------------|
| 1 | 0,1 | 0 |
| 2 | 0,3 | 0,5 |
| 3 | 0,1 | 0,1 |
| 4 | 0,2 | 0,3 |
| 5 | 0,3 | 0,1 |
| 6 | -0,1 | -0,1 |
| 7 | -0,5 | -0,3 |
| 8 | -0,2 | -0,1 |

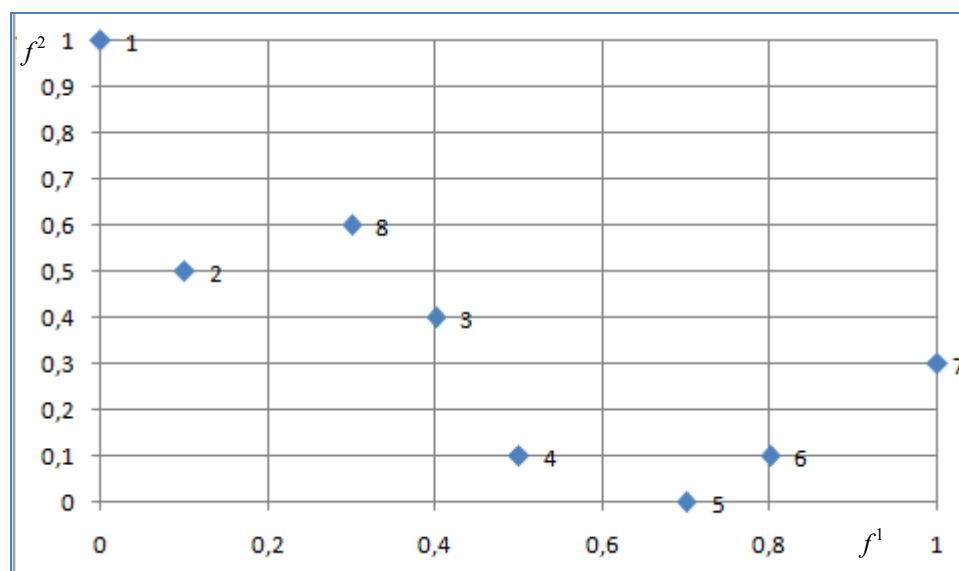


Рисунок 1 – Эффективность объектов в Примере

В таблице 2 показан результат расчета прогрессивности объектов из таблицы 1.

Например, для объекта 2 $p_2^1(F) = 0.3$, так как при увеличении значения первого критерия минимально на эту величину объект перестает быть эффективным (доминируется объектом 5). Аналогично, $p_2^2(F) = 0.5$ (достигает максимально допустимого значения критерия 2).

Напомним, что чем больше компонента вектора прогрессивности, тем «лучше» объект. Соответственно, из рисунка 2 видно, что наиболее прогрессивным является объект 2. За ним следуют несравнимые между собой объекты 4 и 5, каждый из которых доминирует по прогрессивности все остальные объекты. Полная схема доминирования приведена на рисунке 3. Из него следует, что если объект 2 является альтернативой, ЛПР уверенно должен выбрать именно его. Если же он альтернативой не является, то выбор должен быть осуществлен из альтернатив, расположенных выше других на рисунке 3.

В [1] предложена математическая модель, позволяющая рассчитать векторы прогрессивности для каждого объекта из контекста при любом числе критериев.

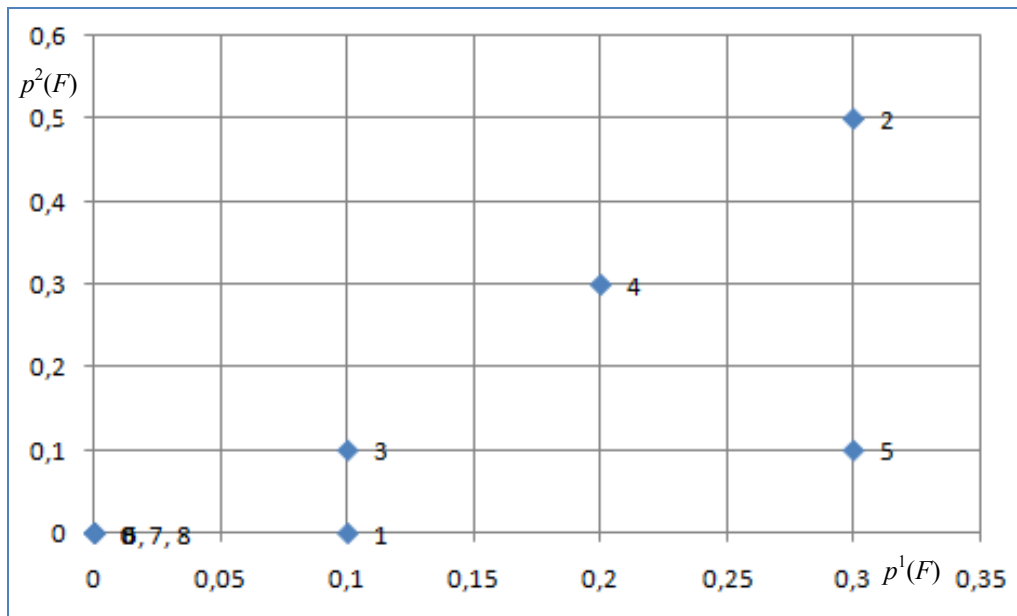


Рисунок 2 – Прогрессивность объектов в Примере

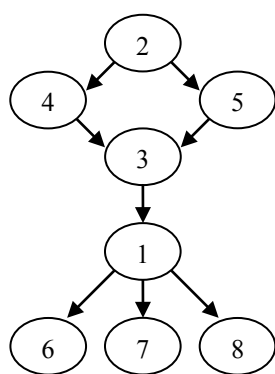


Рисунок 3 – Схема доминирования по прогрессивности объектов в Примере

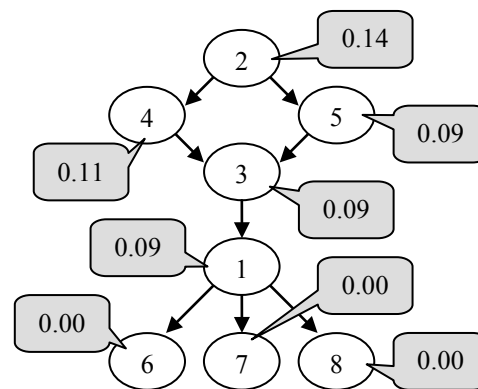


Рисунок 4 – Уровень прогрессивности объектов в Примере

2 Уровень прогрессивности

Безусловно, расширенный принцип прогрессивности Парето не гарантирует полной упорядоченности альтернатив, поэтому заманчиво предложить *числовую* характеристику степени прогрессивности объектов в контексте. Большинство существующих методов сравнения многокритериальных альтернатив решает подобную задачу, используя различные свертки частных критериев в некоторую комплексную эффективность. При этом правило свертывания включает ряд числовых параметров, отражающих специфику задачи. Уязвимым местом такого подхода является необходимость «привязать» типовую структуру свертки к специфике конкретной задачи. Предполагается, что это делает ЛПР, тем или иным способом назначая настроечные параметры. Так, при линейной свертке это весовые коэффициенты, которые показывают сравнительную важность различных частных критериев с точки зрения ЛПР.

Покажем, что понятие прогрессивности позволяет предложить алгоритм расчета единственной адекватной числовой характеристики эффективности объекта в конкретном контексте, не привлекая дополнительных сведений от ЛПР, поскольку сам контекст достаточно полно характеризует проблему.

Выберем структуру свертки частных критериев $f = \{f^j\}_{j=1,\dots,m}$ в форме Гермейера [2], поскольку она, в отличие от более широко распространенной линейной свертки, позволяет идентифицировать *любую* Парето-оптимальную альтернативу:

$$(1) \quad \begin{aligned} z_i(x) &= \max_{j=1,\dots,m} x^j f_i^j, \\ x &= (x^1, \dots, x^m), \quad x^j > 0, \quad j = 1, \dots, m, \quad \max_{j=1,\dots,m} x^j = 1. \end{aligned}$$

В соотношении (1) вектор весовых коэффициентов x отражает сравнительные предпочтения ЛПР в отношении отдельных критериев эффективности. Обозначим через $z_{-k}(x)$ значение свертки, отвечающее при данном векторе весовых коэффициентов x лучшему объекту из множества Y при условии, что объект k не рассматривается:

$$z_{-k}(x) = \min_{\substack{i=1,\dots,n \\ i \neq k}} z_i(x).$$

Тогда характеристика прогрессивности объекта k , обозначаемая как $h_k(x)$, определяется формулой

$$(2) \quad h_k(x) = z_{-k}(x) - z_k(x),$$

т.е. как величина, на которую нужно ухудшить (у нас – увеличить), значение комплексного критерия для объекта k , чтобы этот объект не оказалось лучшим во множестве Y при данном векторе весовых коэффициентов. Эта величина показывает, насколько данный объект превосходит остальные объекты, в совокупности определяющие границу эффективности контекста, с позиций комплексного критерия при текущих значениях вектора x .

При других значениях вектора x наиболее прогрессивным может оказаться этот же или иной объект. Назовем **уровнем прогрессивности объекта** долю случаев, в которых он оказывается наиболее прогрессивным, при переборе (например, с некоторым шагом) элементов $x \in X$, т.е. при «любых» допустимых взглядах на сравнительную важность частных критериев оптимальности.

Учет частичного упорядочения объектов по прогрессивности позволяет сузить исходное множество X , введя ограничения на допустимые значения весовых коэффициентов вида

$$z_p(x) \geq z_q(x),$$

если объект q доминирует объект p .

На рисунке 4 показана рассчитанная прогрессивность объектов в Примере (указана в выноске рядом с объектом).

Как видно, прогрессивность объектов, являясь числовой характеристикой, позволяет упорядочить их. Наиболее прогрессивным является объект 2, затем следует объект 4, затем – объекты 5, 3 и 1 с близкой прогрессивностью и далее не являющиеся эффективными по Парето объекты 6 – 8.

Как отмечалось, предложенный метод хорош тем, что не требует от ЛПР никакой дополнительной информации кроме согласия с тем, что чем в большем числе случаев объект оказывается наилучшим по комплексной оценке свертки Гермейера, тем он более перспективен. В этом состоит третья **уверенное суждение ЛПР об уровне прогрессивности**.

3 Простая оценка уровня прогрессивности

Наряду с изложенным выше способом расчета уровня прогрессивности объекта может быть предложен более простой и понятный ЛПР способ его оценки. Любой элемент пространства критериев находится в одном из трех состояний:

- А) доминируется одним из объектов контекста;
- Б) доминируется только объектом, уровень прогрессивности которого оценивается;
- В) не доминируется никаким объектом.

Естественно считать, что чем большую долю элементов критериального пространства доминирует исключительно данный объект, т.е. чем на большую величину он распространяет зону доминируемых объектов, тем выше его прогрессивность. В этом состоит простая версия третьего *уверенного суждения ЛПР об уровне прогрессивности*. В соответствии с ней, уровень прогрессивности есть отношение меры объектов типа Б к мере всего критериального пространства.

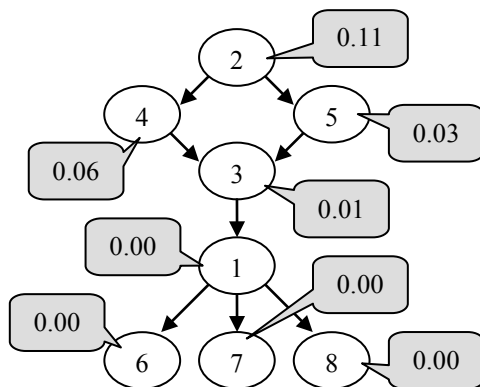


Рисунок 5 – Уровень прогрессивности объектов в Примере при простой оценке

На рисунке 5 показан уровень прогрессивности объектов в Примере при простой оценке.

Численно он отличается от расчета с использованием свертки Гермейера, потому что исходит из иного понимания уровня прогрессивности, однако приоритетность объектов по прогрессивности сохраняется и полностью соответствует взаимному доминированию эффективных альтернатив по приоритетности. Более того, он позволяет более подробно их оценить, что отражает известную «неуклюжесть» свертки Гермейера.

Заключение

Любая сколь-нибудь серьезная задача принятия решений в технике, экономике, социальной сфере основана на глубоком анализе предшествующего опыта и перспектив. Поэтому введение в классическую постановку математической задачи понятия контекста и связанного с ним понятия прогрессивности альтернативы позволило предложить новый взгляд на проблему. С этих позиций оказалось не только возможным установить отношение доминирования между Парето-оптимальными альтернативами, но и предложить приемлемую для ЛПР скалярную оценку перспективности многокритериальных альтернатив, не требуя от него дополнительной информации (которую, по самому смыслу задачи многокритериального выбора, он не мог бы дать, потому что, если бы мог, то дал бы *до* ее постановки). Позиция ЛПР при этом заключается в том, что наилучшей является альтернатива, обладающая большей прогрессивностью, т.е. в наибольшей степени опережающая контекст, на фоне которого принимается решение.

Список источников

- [1] *Пиявский, С.А.* Два новых понятия верхнего уровня в онтологии многокритериальной оптимизации / С.А. Пиявский // Онтология проектирования. – 2013. - №1(7). – С. 65-85.
- [2] *Гермейер, Ю.Б.* Введение в теорию исследования операций / Ю.Б. Гермейер. - М.: Наука, 1971. – 383 с.

PROGRESSIVITY OF MULTICRITERIA ALTERNATIVES

S.A. Piyavsky

Samara State University of Architecture and Civil Engineering, Samara, Russia
spiyav@mail.ru

Abstract

The paper describes the concept of multicriteria alternatives progressivity in a particular context background. Three judgments about the alternatives progressivity are proposed. Acceptance of those judgments allows the decision-maker to carry out the best choice

Keywords: *multicriteria optimization, decision making, DMP, progressivity of alternatives, context.*

References

- [1] *Piyavsky S.A.* Dva novykh ponyatiya verkhnego urovnya v ontologii mnogokriterial'noj optimizatsii [Two new top-level concepts in the ontology of multiobjective optimization]. *Ontologiya proektirovaniya* [Ontology of designing], 2013, no. 1(7), pp. 65-85. (In Russian)
- [2] *Germejer YU.B.* Vvedenie v teoriyu issledovaniya operatsij [Introduction to Operations Research]. Moscow: Nauka, 1971, 383 p. (In Russian)

Сведения об авторе



Пиявский Семен Авраамович. Окончил факультет летательных аппаратов Куйбышевского авиационного института в 1964 году, аспирантуру при кафедре Динамики полета Московского авиационного института им. С.Орджоникидзе в 1967 году. Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой прикладной математики и вычислительной техники Самарского государственного архитектурно-строительного университета. Почетный работник высшей школы РФ, академик Академии наук о Земле и Академии нелинейных наук. Опубликовал более 350 научных работ в области системного анализа, методов оптимизации и принятия решений, математического моделирования, образовательных систем и технологий. Основные научные результаты: онтологии образовательного процесса, методы многоэкстремальной оптимизации, решения краевых задач для систем обыкновенных дифференциальных уравнений, принятия решений в условиях неустранимой неопределенности, теория многоцелевых систем, компьютерная технология технического творчества и др.

Semen Avraamovich Piyavsky. Graduated from aircraft Kuibyshev Aviation Institute in 1964 and the graduate school at the Flight Dynamics Department at the Moscow Aviation Institute Ordzhonikidze in 1967. Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Mathematics and Computer Science at Samara State University of Architecture and Civil Engineering. Honored Worker of Higher School of Russia, Academician of the Academy of Earth Sciences and Academy of Nonlinear Sciences. He has published over 350 scientific papers in field of system analysis, optimization techniques and decision-making, mathematical modeling, education systems and technologies. Basic scientific results: education ontologies, Multiple-optimization techniques, solution of boundary value problems for systems of ordinary differential equations, decision making under fatal uncertainty, computer technology of engineering creation, etc.

УДК 681.3

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ НА ОСНОВЕ МЕТОДОВ, ИНСПИРИРОВАННЫХ ПРИРОДНЫМИ СИСТЕМАМИ

В.М. Курейчик

*Южный федеральный университет, Таганрог, Россия
kur@tgn.sfedu.ru*

Аннотация

Рассматривается новая технология решения оптимизационных и комбинаторно-логических задач искусственного интеллекта (гибридных и параллельных) на графовых моделях на основе эволюционных, роевых, квантовых и генетических алгоритмов. Это позволяет получать наборы локально-оптимальных решений и строить эвристические алгоритмы с полиномиальной скоростью роста количества операций в зависимости от объема входных данных и частично решать проблему преждевременной сходимости.

Ключевые слова: эволюционные, квантовые, роевые, генетические алгоритмы, бионический поиск, графовые модели

Введение

При решении оптимизационных и комбинаторно-логических задач проектирования, конструирования и искусственного интеллекта эффективно используются стратегии, концепции, методы, механизмы эволюционного моделирования бионического поиска и методов, инспирированных природными системами [1-6]. Бионика – решение инженерных и технических задач на основе изучения структуры и жизнедеятельности живых организмов. Бионический поиск с точки зрения преобразования информации при решении задач на графах – это последовательное преобразование одного конечного нечеткого множества альтернативных решений в другое. Само преобразование называется алгоритмом поиска, в основе которого можно использовать генетические, квантовые, муравьиные, пчелиные и др. алгоритмы. В основе генетического алгоритма (ГА) лежит случайный, направленный или комбинированный поиск. Такие алгоритмы эффективно используют информацию, накопленную в процессе эволюции, для получения квазиоптимальных и оптимальных решений. Использование идей квантовой механики позволяет при поиске решений в задачах оптимизации использовать подходы параллельных вычислений. Согласно известному принципу суперпозиции система может одновременно находиться во всех возможных состояниях. Производя над одним состоянием произвольные действия, мы производим это одновременно над заданным множеством состояний [7-10]. При решении оптимизационных задач на графах предлагается новая технология на основе совместного бионического, квантового и роевого поиска. Описаны новые архитектуры и принципы такого поиска. Это позволяет расширить область поиска решений без увеличения времени работы и сократить преждевременную сходимость алгоритмов, повысить эффективность и качество получаемых решений.

1 Генетические алгоритмы

Генетические алгоритмы отличаются от других оптимизационных и поисковых методов и алгоритмов [2-6]:

- анализируют и преобразуют закодированное множество исходных параметров;
- осуществляют поиск из части популяции или множества популяций (множества альтернативных решений), а не из одного решения;
- используют целевую функцию (функцию пригодности или приспособленности), а не ее различные приращения для оценки качества альтернативных решений;
- используют детерминированные, вероятностные и комбинированные правила анализа оптимизационных задач.

Генетические алгоритмы манипулируют популяцией хромосом на основе механизма натуральной эволюции. Приведем формальное определение ГА:

$$ГА = (P_i^o, N, P_{i,k}^T, T, L_j, A, (\text{ЦФ, ОГР, ГУ}), \text{ГО}, t),$$

где P_i^o – исходная популяция хромосом альтернативных решений, $P_i^o = (P_{i1}^o, P_{i2}^o, \dots, P_{in}^o)$, $P_{i1}^o \in P_i^o$ – хромосома (альтернативное решение), принадлежащее i -ой исходной популяции; N – мощность популяции, т.е. число входящих в нее хромосом, $N = |P_i^T|$; $P_{ik}^T \in P_i^T$ – k -я хромосома, принадлежащая i -ой популяции, находящейся в T поколении эволюции; $T = 0, 1, 2, \dots$ – номер поколения, проходящего популяцией во время эволюции, иногда число поколений связывают с числом генераций генетического алгоритма, обозначаемых буквой G ; L_j – длина i -ой хромосомы (альтернативного решения), т.е. число генов (элементов, входящих в закодированное решение, представленное в заданном алфавите), например, $|P_i^T| = L_j$; A – произвольный абстрактный алфавит, в котором, кодируются хромосомы, например, $A_1 = \{0, 1\}$, $A_2 = \{0, 1, 2, \dots, 10\}$, $A_3 = \{0, 1, 2, *\}$, $A_4 = \{A, B, C, D\}$, здесь $*$ – метка, означающая любой символ в алфавите A_3 из $0, 1, 2$; (ЦФ, ОГР, ГУ) – целевая функция, ограничения и граничные условия, которые определяются на основе заданной модели исходной решаемой задачи; ГО – генетические операторы, t – критерий окончания работы ГА.

2 Квантовые алгоритмы

В последнее время появились новые подходы решения NP – полных проблем, основанные на методах квантового поиска [7-10]. Квантовый поиск анализирует неструктурированные проблемы, которые в общем виде формулируются следующим образом [7]. Задана функция $f(x)$, аргументы x – целые числа, $x = 1, 2, \dots, N$, причем $f(x)$ принимает значение ноль во всех случаях, кроме $x = w$. Необходимо найти значение w , используя наименьшее число запросов к $f(x)$. Задачи такого типа при небольшом $x < 100$ решаются на основе полного перебора (исчерпывающего поиска) или методом проб и ошибок.

Идею и структуру квантового алгоритма предложил Л. Гровер [7,8]. Согласно [8] при решении неструктурированной проблемы поиска существует «оракул», определяющий является ли рассматриваемое решение искомым. Л. Гровер рассматривает N целых чисел индекса $x = 1, 2, \dots, N$ как набор ортогональных векторов $\vec{x} = \vec{1}, \vec{2}, \dots, \vec{k}$ в N -размерном пространстве Хильберта. Этот шаг алгоритма на языке вычисления кванта ставит в соответствие каждому возможному индексу уникальный собственный вектор. Первоначально готовится пространство,

$$\vec{S} = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{x=1}^N \vec{x},$$

т.е. квантовый регистр памяти, содержащий определенное количество суперпозиций, равное количеству всех N [7,8].

Для реализации поиска это квантовое пространство развивается в общую суперпозицию, которая концентрируется в \vec{t} векторе, определяющем путь до цели поиска. Предлагается процедура квантового кругооборота U . Другими словами, если имеется отличное от нуля

совпадение между стартовым пространством \vec{S} и целевым \vec{t} , то есть $\vec{t} |U| \vec{S} \neq 0$, тогда можно использовать унитарную процедуру U для выполнения классического поиска цели. Л. Гровер предлагает использовать U и $f(x)$, чтобы построить увеличивающий амплитуду оператор Q , который изменяет амплитуду вероятности от «не-цели» векторов $\vec{S} \neq \vec{t}$ в цель $\vec{S} = \vec{t}$ [7]. Поведение «оракула» в алгоритме квантового поиска моделируется возвратной функцией $f(x) = 0$, для всех x , w и $f(x) = 1$, для $x = w$.

Для решения NP -полных проблем на графах предлагается анализировать структуру графа чтобы «выращивать» полные решения, рекурсивно расширяя последовательные частичные решения.

Приведем модифицированный алгоритм квантового поиска [11-13].

- 1) Начало.
- 2) Ввод исходных данных.
- 3) Проверка условий существования инвариантных частей в графе.
- 4) Анализ математической модели и на его основе построение дерева частичных решений.
- 5) Суперпозиция частичных решений на основе жадной стратегии и квантового поиска.
- 6) В случае наличия тупиковых решений – последовательный поиск с пошаговым возвратом.
- 7) Если набор полных решений построен, то переход к 8, если нет, то к 5.
- 8) Лексикографический перебор полных решений и выбор из него оптимального или квази-оптимального решения.
- 9) Конец работы алгоритма.

Алгоритмы квантового поиска весьма чувствительны к изменениям и перестановкам входных параметров исходной модели. Это говорит о том, что, например, для одного вида модели объекта, представленного матрицей, можно получить решение с одним локальным оптимумом. Для этой же матрицы с переставленными строками и столбцами можно получить другое решение с лучшим локальным оптимумом. Следует отметить, что, изменяя параметры, алгоритмы и схему квантового поиска, в некоторых случаях можно выходить из локальных оптимумов. Эта проблема продолжает оставаться одной из важнейших во всех методах оптимизации.

3 Муравьиный алгоритм

Данный класс алгоритмов разрабатывался в рамках научного направления, которое можно назвать «природные вычисления» [13]. Исследования в этой области начались в середине 90-х годов XX века, автором идеи является Марко Дориго [13, 14]. В основе этой идеи лежит моделирование поведения колонии муравьев. Колония муравьев представляет собой систему с очень простыми правилами автономного поведения особей. Однако, несмотря на примитивность поведения каждого отдельного муравья, поведение всей колонии оказывается достаточно разумным. Основой поведения муравьиной колонии служит низкоуровневое взаимодействие, благодаря которому, в целом, колония представляет собой разумную много-агентную систему. Взаимодействие определяется через специальное химическое вещество – феромон, откладываемый муравьями на пройденном пути. При выборе направления движения муравей исходит не только из желания пройти кратчайший путь, но и из опыта других муравьев, информацию о котором получает непосредственно через уровень феромонов на каждом пути. Концентрация феромона определяет желание особи выбрать тот или иной путь. В работе [14] подробно описаны применения муравьиного алгоритма, его модификации и результаты экспериментальных исследований.

4 Пчелиный алгоритм

Данный алгоритм моделирует поведение пчел в естественной среде. Идея пчелиного алгоритма заключается в том, что все пчёлы на каждом шаге будут выбирать как элитные участки для исследования, так и участки в окрестности элитных, что позволит, во-первых, разнообразить популяцию решений на последующих итерациях, во-вторых, увеличить вероятность обнаружения решений, близких к оптимальным [15]. Приведем основные понятия пчелиного алгоритма: источник нектара (цветок, участок); фуражиры (рабочие пчелы); пчелы-разведчики.

Источник нектара характеризуется значимостью, определяемой различными параметрами. Фуражиры закреплены за источниками нектара. Количество всех пчел в этих участках больше, чем на остальных. Среднее количество разведчиков в рое составляет 5-10%. Вернувшись в улей, пчелы «обмениваются информацией» посредством танцев на, так называемой, закрытой площадке для танцев [16]. Если разведчики нашли лучшие источники нектара, то за ними могут быть закреплены фуражиры.

Приведём словесное описание алгоритма пчёл. Условия остановки алгоритма определяется пользователем и зависит от требуемого времени получения результата.

- 1) Генерация участков для поиска нектара.
- 2) Оценка полезности участков.
- 3) Выбор участков для поиска в их окрестности.
- 4) Отправка фуражиров.
- 5) Поиск в окрестностях источников нектара.
- 6) Отправка пчёл-разведчиков.
- 7) Случайный поиск.
- 8) Оценка полезности новых участков.
- 9) Если условие останова не выполняется, то п. 2.
- 10) Конец работы алгоритма.

Таким образом, ключевой операцией алгоритма пчёл является совместное исследование перспективных областей и их окрестностей. В конце работы алгоритма популяция решений будет состоять из двух частей: пчелы с лучшими значениями целевой функции (ЦФ) элитных участков, а также группы рабочих пчёл со случайными значениями ЦФ. Зависимость временной сложности пчелиного алгоритма от числа вершин – $O(n^2)$.

5 Метод роя частиц

Метод роя частиц (МРЧ, Particle Swarm Optimization - PSO) - метод численной оптимизации, для использования которого не требуется знать точного градиента оптимизируемой функции. МРЧ был доказан Кеннеди, Эберхартом и Ши [17] и изначально предназначался для имитации социального поведения. МРЧ оптимизирует функцию, поддерживая популяцию возможных решений, называемых частицами, и перемещая эти частицы в пространстве решений согласно простой формуле. Перемещения подчиняются принципу наилучшего найденного в этом пространстве положения, которое постоянно изменяется при нахождении частицами более выгодных положений. В основу метода положен тот факт, что частицы стремятся к некоторому центру «притяжения», постепенно замедляя свое движение. В методе оптимизации роем частиц агентами являются частицы в пространстве параметров задачи оптимизации. В каждый момент времени частицы имеют в этом пространстве некоторое положение и вектор скорости. Для каждого положения частицы вычисляется соответствующее значение целевой функции, и на этой основе по определенным правилам частица меняет свое положение и скорость в пространстве поиска.

6 Алгоритмы решения задач на графах

Для решения NP -полных проблем на графах предлагается анализировать структуру графа, чтобы «выращивать» полные решения, рекурсивно расширяя последовательные частичные решения. В задачах на графах важным является нахождение инвариантов. Инвариант графа $G = (X, U)$, где $|X| = n$, а $|U| = m$, это число, связанное с G , которое принимает одно и то же значение на любом графе, изоморфном G . Очевидно, что число вершин n и ребер m являются простейшими инвариантами графа. Полный набор инвариантов определяет граф с точностью до изоморфизма [18]. Основными инвариантами графа являются следующие числа: цикломатическое, хроматическое, внешней и внутренней устойчивости, клик, полноты, ядер, планарности и т.д.

Покажем на примере графа (рисунок 1) определение числа клик на основе квантового алгоритма [7]. Клика – это полный подграф, содержащий наибольшее число ребер. Соответственно число полноты – это наибольшее число вершин в клике.

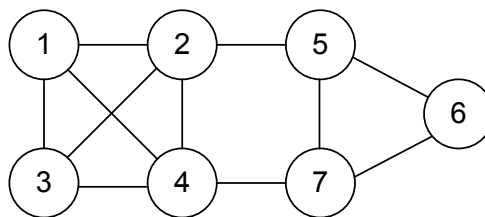


Рисунок 1 - Граф G

При определении клик графа найдем частичные решения, для каждой вершины графа рекурсивно расширяя «хорошие» решения и устраняя тупиковые. На первом шаге квантового поиска для вершины 1 получим следующие частичные решения:

- $\{1, 2\}, \{1, 3\}, \{1, 4\}$ - 1 уровень,
- $\{1, 2, 3\}, \{1, 2, 4\}, \{1, 3, 4\}$ - 2 уровень,
- $\{1, 2, 3, 4\}$ - 3 уровень.

В результате после суперпозиции частичных решений получим клику $Q_1 = \{1, 2, 3, 4\}$, $|Q_1| = 4$. На втором шаге для вершины 2 получим: $\{2, 5\}$, $Q_2 = \{2, 5\}$, $|Q_2| = 2$. Для третьей вершины частичных решений нет. Для четвертой вершины имеем $\{4, 7\}$, $Q_3 = \{4, 7\}$, $|Q_3| = 2$.

Для пятой вершины получим следующие частичные решения:

- $\{5, 6\}, \{5, 7\}$ - 1 уровень,
- $\{5, 6, 7\}$ - 2 уровень.

После суперпозиции частичных решений получим клику $Q_4 = \{5, 6, 7\}$, $|Q_4| = 3$.

Итак, для графа G (рисунок 1) построено семейство клик $Q = \{Q_1, Q_2, Q_3, Q_4\}$. Причем число полноты графа равно 4.

Рассмотрим решение раскраски графа на основе квантового поиска. Раскраской графа $G = (X, U)$ называется разбиение графа на такие непересекающиеся подмножества вершин $X_1 \cap X_2 \cap \dots \cap X_e = \emptyset$, $X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_e = X$, что вершины внутри каждого подмножества несмежны. Наименьшее число подмножеств X_i при раскраске называется хроматическим числом графа.

Алгоритм основан на нахождении частичной раскраски для подмножеств вершин. Для определения полной раскраски производится рекурсивно расширение частичных окрасок с возвратом назад в случае тупиковых решений. Элементарный способ состоит в рассмотрении дерева поиска частичных решений заданной глубины. Решение по раскраске находится на «ветвях и листьях» этого дерева.

Например, пусть задан граф $G = (X, U)$ из [3], где $|X| = 7$ (рисунок 2).

Построим дерево частичной раскраски (рисунок 3).

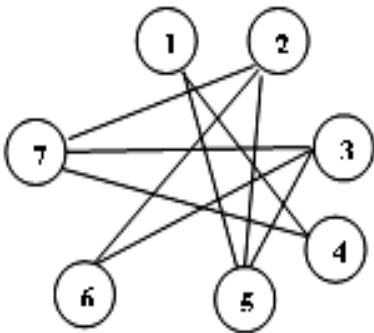


Рисунок 2 - Граф G из [3]

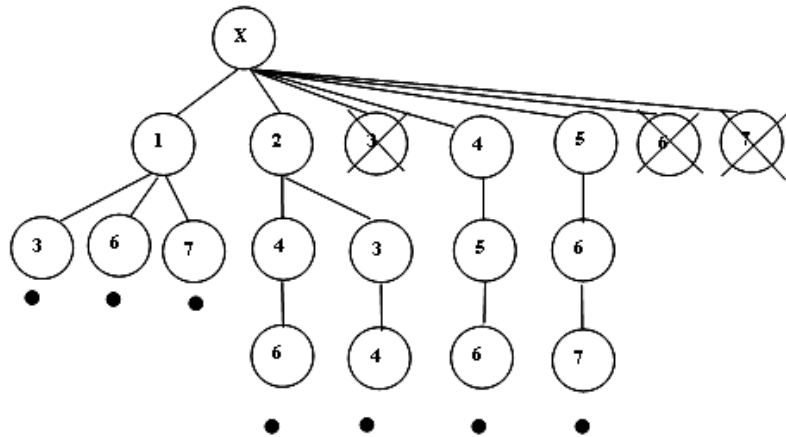


Рисунок 3 - Дерево раскраски графа G из [3]

Корневая вершина дерева содержит все вершины X графа G . На первом уровне дерева располагаются все вершины графа. Отметим, что возможно случайное и упорядоченное расположение вершин. Наиболее вероятным кажется упорядоченность вершин по уменьшению локальных степеней. Хотя, конечно, требуются экспериментальные исследования на графах различного вида. Выбираем на первом уровне вершину 1 и определяем возможные частичные решения по раскраске, включающие эту вершину. Следуя по дереву вниз, видно, что имеем три частичных решения $\{1, 3\}$, $\{1, 6\}$, $\{1, 7\}$. Дальнейшее расширение этих частичных решений невозможно. Это отмечено знаком « \times ». Переходим к вершине 2 и строим два новых частичных решения $\{2, 4, 6\}$ и $\{2, 3, 4\}$. Вершина 3 частичных решений не дает. Вершина 4 дает частичное решение $\{4, 5, 6\}$ и вершина 5 - $\{5, 6, 7\}$. Вершины 6 и 7 частичных решений не дают. Для получения альтернативных раскрасок предлагается операция суперпозиции. Суть операции в объединении n частичных решений в одно с исключением повторяющихся элементов. Например:

$$\{1, 2\} \mathbf{S} \{3, 4, 5\} \mathbf{S} \{1, 3, 7\} = [\{1, 2\}, \{3, 4, 5\}, \{7\}].$$

Здесь \mathbf{S} – знак суперпозиции. Задача - выбрать решение с наименьшим числом подмножеств, что позволит найти раскраску с наименьшим числом цветов.

Для графа G (см. рисунок 2) на основе дерева частичных решений выполним следующие операции суперпозиции.

1) Суперпозиция:

$$\{1, 3\} \mathbf{S} \{2, 4, 6\} \mathbf{S} \{4, 5, 6\} - 2 \text{ общих элемента;}$$

$$\{1, 3\} \mathbf{S} \{2, 4, 6\} \mathbf{S} \{5, 6, 7\} - 1 \text{ общий элемент.}$$

Выбираем решение с одним общим элементом. Получим первую раскраску с 3 цветами A, B и C : $\{1, 3\} - A$; $\{2, 4, 6\} - B$, $\{5, 7\} - C$.

2) Суперпозиция:

$$\{1, 6\} \mathbf{S} \{2, 3, 4\} \mathbf{S} \{4, 5, 6\} - 2 \text{ общих элемента;}$$

$$\{1, 6\} \mathbf{S} \{2, 4, 6\} \mathbf{S} \{5, 6, 7\} - 1 \text{ общий элемент.}$$

Выбираем решение с одним общим элементом. Получим вторую раскраску также с 3 цветами D, E и F : $\{1, 6\} - D$, $\{2, 3, 4\} - E$, $\{5, 7\} - F$.

3) Суперпозиция:

$$\{1, 7\} \mathbf{S} \{2, 3, 4\} \mathbf{S} \{5, 6, 7\} - 1 \text{ общий элемент;}$$

$$\{1, 7\} \mathbf{S} \{2, 3, 4\} \mathbf{S} \{4, 5, 6\} - 1 \text{ общий элемент.}$$

Выберем любое решение с 1 общим элементом. Получим третью раскраску, также с 3 цветами H, I, K : $\{1, 7\} - H$, $\{2, 3, 4\} - I$, $\{5, 6\} - K$.

На рисунке 4 показаны три возможных раскраски графа G (см. рисунок 2). Соответственно хроматическое число данного графа равно трем.

Приведем эвристическое правило.

При наличии нескольких возможных альтернатив суперпозицию в квантовом алгоритме выполнять для подмножеств, имеющих наименьшее число совпадающих элементов.

Для решения оптимизационных задач в последнее время применяются жадные алгоритмы, которые являются различными модификациями алгоритмов динамического программирования, но жадные алгоритмы проще и быстрее [6]. Основой жадного алгоритма является локально-оптимальный выбор на каждом шаге, с прогнозом, что окончательное решение будет оптимальным. Очевидно, что в общем случае жадный алгоритм может привести в локальный минимум, который далек от оптимального. Хотя для многих задач эти алгоритмы дают возможность получать оптимум искомой целевой функции [4, 6].

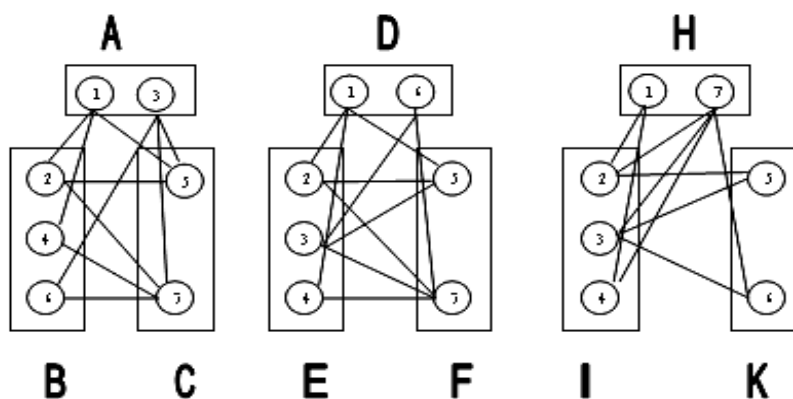


Рисунок 4 - Три возможных раскраски

Приведем ряд эвристик жадного выбора:

- Э1 – жадный выбор на первом и последующих шагах не должен закрывать путь к оптимальному решению;
- Э2 – для упрощения жадного выбора и повышения скорости подзадача, вытекающая после жадного выбора на первом шаге, должна быть аналогична исходной;
- Э3 – задачи, решенные на основе жадных алгоритмов, должны обладать свойством оптимальности для подзадач.

7 Архитектуры поиска

На рисунке 5. приведены схемы взаимодействия квантовых и генетических алгоритмов. Очевидно, что данные схемы можно взять как строительные блоки и наращивать иерархически. При этом возможно построить схему последовательного или параллельного совместного поиска любой сложности. Здесь МА – муравьиный, КА – квантовый, ГА – генетический, ПА – пчелиный, РА – роя частиц алгоритмы. На правой схеме (рисунок 5) возможны различные случаи взаимодействия. Например, сначала выполняется генетический алгоритм, а затем квантовый, муравьиный, пчелиный и роя частиц.

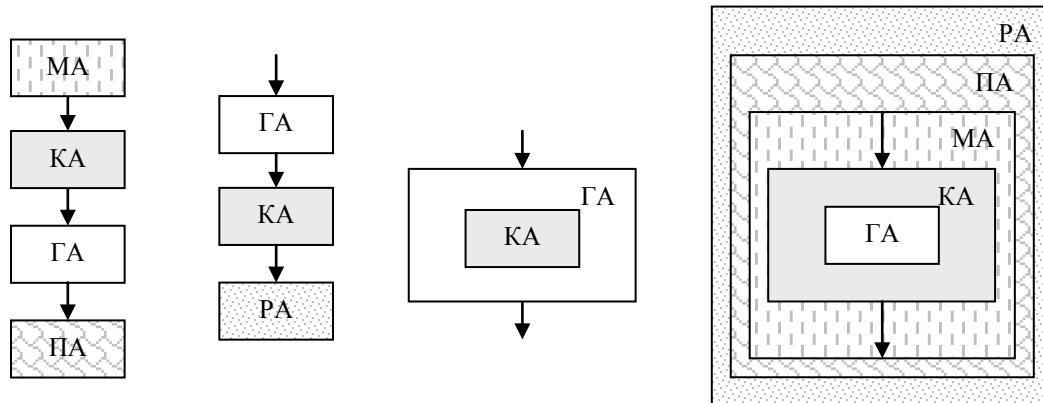


Рисунок 5 - Схемы взаимодействия генетических и квантовых алгоритмов

Отметим также, что квантовый поиск может ускорить классический случайный алгоритм, создавая суперпозиции частотных решений, увеличивая пространство поиска искомого решения.

Предлагается модифицированная схема совместного поиска, состоящая из трех основных блоков (рисунок 6). Первый блок назовем препроцессором. Здесь выполняется создание одной или некоторого множества начальных популяций. Второй блок состоит из 1, 2, ..., n уровней. Каждый уровень состоит из четырех этапов: выбор представления решения; разработка операторов случайных, направленных и комбинированных изменений; определение законов выживания решения; рекомбинация. Третий блок назовем постпроцессором. Здесь реализуются принципы эволюционной адаптации к внешней среде (лицу, принимающему решение) и самоорганизации. Отметим, что строительные блоки совместного квантового и генетического поиска (рисунок 5) могут эффективно работать в составе процессора и постпроцессора. Преимущество такой архитектуры совместного поиска состоит в том, что в ней все уровни связаны с уровнем внешней среды и могут общаться между собой.

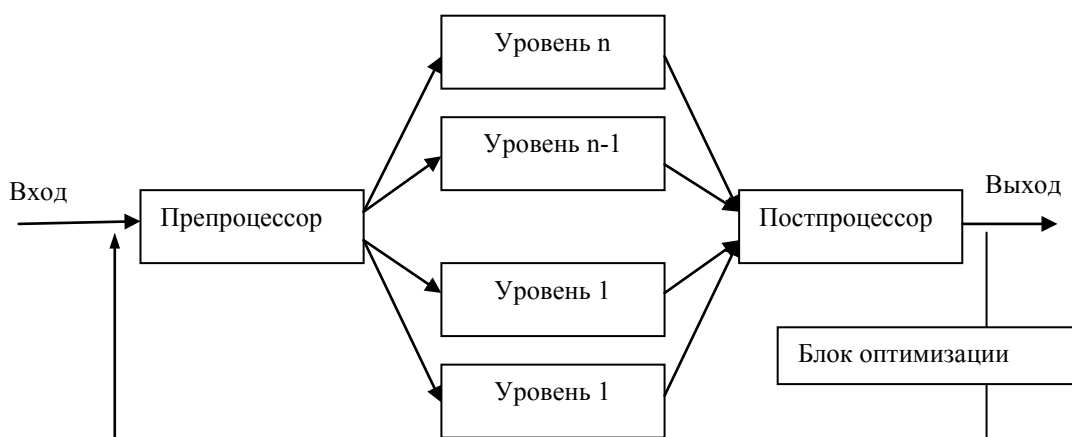


Рисунок 6 - Горизонтальная архитектура совместного поиска

Для управления и реализации процессом совместного поиска используются следующие принципы [6]:

- Принцип синергетики (целостности). В квантовых и генетических алгоритмах значение целевой функции альтернативного решения не сводится к сумме целевых функций частных решений.

- Принцип чувствительности к начальным условиям. Результат работы квантовых и генетических алгоритмов зависит от представления входных данных исследуемой модели.
- Принцип дополнительности. При решении оптимизационных задач возникает необходимость использования различных не совместимых и взаимодополняющих моделей эволюции и исходных объектов.
- Принцип неточности. При росте сложности анализируемой задачи уменьшается возможность построения точной модели.
- Принцип управления неопределенностью. Необходимо вводить различные виды неопределенности в квантовые и генетические алгоритмы.
- Принцип соответствия. Язык описания исходной задачи должен соответствовать наличию имеющейся о ней информации.
- Принцип «007». Используй только те входные данные, которые необходимы для решения задачи.
- Принцип единства и противоположности порядка и хаоса. «Хаос не только разрушителен, но и конструктивен», т.е. в хаосе области допустимых решений обязательно содержится порядок, определяющий искомое решение.
- Принцип иерархичности. Квантовые и генетические алгоритмы могут подстраиваться сверху вниз и снизу вверх.
- Принцип «Бритвы Оккама». Нежелательно увеличивать сложность архитектуры поиска без необходимости.
- Принцип гомеостаза. Квантовые и генетические алгоритмы конструируются таким образом, чтобы любое полученное альтернативное решение не выходило из области допустимых.

Заключение

Отметим, что можно организовать различное количество связей внутри схемы совместного поиска между блоками по принципу полного графа, по принципу звезды и т.д. Такие схемы в случае наличия большого количества вычислительных ресурсов могут быть доведены до N блоков. Причем $N-1$ блоков могут параллельно осуществлять эволюционную адаптацию и через блоки миграции обмениваться лучшими представителями решений. Последний блок, собирая лучшие решения, может окончить результат работы или продолжить оптимизацию. Такие стратегии решения задач позволяют учитывать влияние внешней среды и знания о решаемых задачах и в отличие от существующих методов позволяют во многих случаях выходить из локальных оптимумов.

В настоящее время одной из основных проблем является параллельное выполнение биоинспирированных методов. Существует пять основных методов распараллеливания [3-6]:

- производить параллельно заданное количество запусков алгоритма;
- выполнять сначала один запуск алгоритма. Далее на этапе вычисления целевой функции эта задача распределяется по вспомогательным удаленным компьютерам. В литературе этот метод известен как Хозяин-Раб (Master-Slave);
- исполнить несколько запусков различных алгоритмов (или их частей) с различными операторами селекции кроссинговера, мутации, инверсии и др. с миграцией альтернативных решений (AP), т.е. особей из одного алгоритма в другой;
- выполняется один запуск алгоритма, в котором этап вычисления ЦФ анализируется в несколько потоков на одной ЭВМ. Часто здесь могут анализироваться вопросы размножения, инициализации, селекции и др.;

- выполняется один запуск алгоритма с процедурой селекции, предполагающий, что особи (AP) записаны в параллельный массив на векторном или многоядерном компьютере. Такие модели называются мелкозернистыми или пространственно вложенными;
- выполняется раздельные запуски алгоритма или его частей, между которыми в заданное или случайно выбранное время производится обмен выбранным AP. В [3] это называется «распространением добра» или островной моделью;
- различные комбинации первых шести методов с блоками адаптации и экспертной системы.

Вышеописанные алгоритмы были разработаны и реализованы в среде разработки Code Gear C++ Builder, Microsoft Visual Studio для решения следующих задач: разбиение графа; раскраска графа; задача коммивояжера; маршрутизация автотранспорта; планирование СБИС; задача о назначениях. Экспериментальные исследования показали эффективность алгоритмов роевого интеллекта по сравнению с генетическими и эволюционными алгоритмами. Для решения задачи были реализованы следующие алгоритмы: итерационный, эволюционный, генетический, муравьиный, пчелиный.

Отметим, что автор специально не рассматривал место и положение нейрокомпьютерных систем в данной области, в связи с тем, что они подробно изложены в существующей литературе.

В заключение отметим, что наряду с роевыми алгоритмами, перспективными представляются методы моделирования «принципов стаи». Совместное выполнение роевых алгоритмов и алгоритмов стаи, по мнению автора, позволит повысить качество и эффективность полученных решений.

Благодарности

Автор благодарен членам своей научно-педагогической школы в области эволюционного моделирования и искусственного интеллекта профессорам В.В. Курейчику, Б.К. Лебедеву, Е.В. Нужнову, В.И. Родзину; доцентам Л.А. Гладкову, Ю.А. Кравченко; кандидатам наук В.В. Гудилову, А.А. Кажарову за совместные научные исследования, позволившие поднять рейтинг нашей школы в России и за рубежом, а также докторантам, аспирантам, магистрантам и студентам за разработку новых программно – аппаратных средств и проведение большого количества эффективных экспериментальных исследований. С особой теплотой хочу поблагодарить свою супругу доктора педагогических наук, профессора Веронику Игоревну Писаренко за поддержку всех моих начинаний, а также за лингвистическую помощь в исследованиях.

Список источников

- [1] *Люггер, Дж.Ф.* Искусственный интеллект: стратегии и методы решения сложных проблем / Дж.Ф. Люггер. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003.- 864 с.
- [2] *Holland, J.H.* Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence / J.H. Holland. - Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975. - 211 p.
- [3] *Goldberg, D.E.* Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning / D.E. Goldberg. - Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1989. – 412 p.
- [4] *Гладков, Л.А.* Биоинспирированные методы в оптимизации / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик, П.В. Сороколетов. - М.: ФИЗМАЛИТ, 2009. – 384 с.
- [5] *Курейчик, В.М.* Генетические алгоритмы и их применение / В.М. Курейчик. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2002.- 244 с.
- [6] *Гладков, Л.А.* Генетические алгоритмы / Л.А. Гладков, В.В. Курейчик, В.М. Курейчик: под ред. В.М. Курейчика. 2-ое изд. исправл. и доп. – М.: .: ФИЗМАТЛИТ, 2010.- 366 с.

- [7] **Grover, L.K.** A Fast Quantum Mechanical Algorithm for Data-base Search / L.K. Grover // Proc. 28th Ann. ACM Press, New York, 1996. - P. 212-219.
 - [8] **Grover, L.K.** Synthesis of Quantum Superpositions by Quantum Computation / L.K. Grover // Physical Rev. Letters. 2000. Vol 85. No.6. - P. 1334-1337.
 - [9] **Williams, C.P.** Quantum Search Algorithms in Sciences and Engineering / C.P. Williams // Computing in sciences and engineering. 2001. March April. - P. 44-51.
 - [10] **Курейчик, В.М.** Новый подход к решению графовых задач на основе квантовых алгоритмов / В.М. Курейчик // Перспективные информационные технологии и интеллектуальные структуры. 2004. №2(18).
 - [11] **Курейчик, В.М.** Совместные методы квантового и бионического поиска / В.М. Курейчик // Труды конференций IEEE AIS'04, CAD-2004. - М.: Физматлит, 2004. - С. 12-19.
 - [12] **Курейчик, В.М.** Новый подход к раскраске и определению клик графа на основе квантовых алгоритмов / В.М. Курейчик // Известия ТРТУ. 2004. №3. - С. 29-34.
 - [13] *New Ideas in Optimization* / Eds.: D. Corne, M. Dorigo, F. Glover/ - N.-Y.: McGraw-Hill. 1999.
 - [14] **Дориго, М.** Web-сайт Марко Дориго по оптимизации с помощью колонии муравьев - <http://iridia.ulb.ac.be/dorigo/ACO/ACO.html> (актуально 20.10.2013)
 - [15] **Курейчик, В.В.** Эволюционная оптимизация на основе алгоритма колонии пчёл / В.В. Курейчик, Е.Е. Полупанова // Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. №12. – С.41-46.
 - [16] **Кажаров, А.А.** Применение пчелиного алгоритма для раскраски графов / А.А. Кажаров, В.М. Курейчик // Известия ЮФУ. Технические науки. 2010. №12. – С.30-37.
 - [17] **Mendes, R.** Watch thy neighbor or how the swarm can learn from its environment / R. Mendes, J. Kennedy, J. Neves // Proc. of Swarm Intelligence Symposium 2003. – IEEE, 2003. - P. 88-94.
 - [18] **Курейчик, В.В.** Концепция эволюционных вычислений, инспирированных природными системами / В.В. Курейчик, В.М. Курейчик, С.И. Родзин // Известия ЮФУ. Технические науки. 2009. №4. – С.16-25.
-

PERSPECTIVE INFORMATION TECHNOLOGIES BASED ON THE METHODS INSPIRED BY NATURAL SYSTEMS

V.M. Kureychik

Southern Federal University, Taganrog, Russia

kur@tgn.sfedu.ru

Abstract

The new technology of solving the optimization and combinatorial logic problems of an artificial intellect, hybrid and parallel, on graph models based on integrated evolutionary, hive, quantum and genetic algorithms is considered. It allows to receive sets of local and optimum solutions and to build heuristic algorithms with polynomial growth rate of amount of operations, depending on volume of entrance data and, partially, to solve a problem of premature convergence.

Key words: *evolutionary, quantum, plenty, genetic algorithms, bionical search, graph models.*

References

- [1] **Lugger J.F.** *Iskusstvennyj intellekt: strategii i metody resheniya slozhnykh problem* [Artificial Intelligence: Strategies and methods for solving complex problems] Moscow: «Vil'yams» publ., 2003, 864 p. (In Russian)
- [2] **Holland J.H.** *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence.* Ann Arbor: University of Michigan Press, 1975, 211 p.
- [3] **Goldberg D.E.** *Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning.* Boston: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., 1989, 412 p.
- [4] **Gladkov L.A., Kurejchik V.V., Kurejchik V.M., Sorokoletov P.V.** *Bioinspirovannye metody v optimizatsii* [Bio-inspired methods in optimization]. Moscow: FIZMATLIT publ., 2009, 384 p. (In Russian)
- [5] **Kurejchik V.V.** *Geneticheskie algoritmy i ikh primenenie* [Genetic algorithms and their applications]. Taganrog: TRTU publ., 2002, 244 p. (In Russian)
- [6] **Gladkov L.A., Kurejchik V.V., Kurejchik V.M.** *Geneticheskie algoritmy* [Genetic algorithms], second edition. Moscow: FIZMATLIT publ., 2010, 366 p. (In Russian)

- [7] **Grover L.K.** A Fast Quantum Mechanical Algorithm for Data-base Search. Proc. 28th Ann. New York: ACM Press, 1996, pp. 212-219.
- [8] **Grover L.K.** Synthesis of Quantum Superpositions by Quantum Computation. Physical Rev. Letters. 2000. Vol 85. No.6, pp. 1334-1337.
- [9] **Williams C.P.** Quantum Search Algorithms in Sciences and Engineering. Computing in sciences and engineering. 2001, March April, pp. 44-51.
- [10] **Kurejchik V.M.** Novyj podkhod k resheniyu grafovyykh zadach na osnove kvantovykh algoritmov [A new approach to solving problems based on graph of quantum algorithms]. Perspektivnye informatsionnye tekhnologii i intellektual'nye struktury [Advanced information technology and intellectual structures], 2004, no. 2(18). (In Russian)
- [11] **Kurejchik V.M.** Sovmestnye metody kvantovogo i bionicheskogo poiska [Participatory methods of quantum and bionic search]. Proc. IEEE AIS'04, CAD-2004. - Moscow: FIZMATLIT, 2004, pp. 12-19. (In Russian)
- [12] **Kurejchik V.M.** Novyj podkhod k raskraske i opredeleniyu klik grafa na osnove kvantovykh algoritmov [A new approach to color and definition of cliques of the graph based on quantum algorithms]. TRTU [TRTU journal], 2004, no. 3, pp. 29-34. (In Russian)
- [13] **Corne D., Dorigo M., Glover F.** eds. New Ideas in Optimization New York: McGraw-Hill publ., 1999.
- [14] **Dorigo M.** Marco Dorigo Web-site on optimization using ant colony <http://iridia.ulb.ac.be/dorigo/ACO/ACO.html> (accessed 20.10.2013)
- [15] **Kurejchik V.V., Polypanova E.E.** Evolyutsionnaya optimizatsiya na osnove algoritma kolonii pchylol [Evolutionary optimization algorithm based on bee colony. Izvestiya UFY. Tekhnicheskie nauki [UFY journal, technical sciences], 2009, no. 12, pp. 41-46. (In Russian)
- [16] **Kazharov A.A., Kurejchik V.M.** Primenenie pchelinoogo algoritma dlya raskraski grafov [Application of bee algorithm for graph coloring]. Izvestiya UFY. Tekhnicheskie nauki [UFY journal, technical sciences], 2010, no. 12, pp. 30-37. (In Russian)
- [17] **Mendes R., Kennedy J., Neves J.** Watch thy neighbor or how the swarm can learn from its environment. Proc. of Swarm Intelligence Symposium 2003. – IEEE, 2003, pp. 88-94.
- [18] **Kurejchik V.V., Kurejchik V.M., Rodzin S.I.** Kontseptsiya ehvolyutsionnykh vychislenij, inspirirovannykh prirodnyimi sistemami [The concept of evolutionary computation inspired by natural systems]. Izvestiya UFY. Tekhnicheskie nauki [UFY journal, technical sciences], 2009, no. 4, pp. 16-25. (In Russian)

Сведения об авторе



Курейчик Виктор Михайлович, 1945 г. рождения. Окончил Таганрогский радиотехнический институт в 1967 г., к.т.н. (1971), д.т.н. (1978), профессор (1982). Заведующий кафедрой дискретной математики и методов оптимизации факультета автоматизации и вычислительной техники Южного федерального университета. Заслуженный деятель науки РФ (1995). В списке научных трудов около 400 работ, включая 15 монографий в области интеллектуальных САПР, эволюционного моделирования и искусственного интеллекта.

Viktor Mikhailovich Kurejchik, (b. 1945). Has graduated from the Taganrog Radio Engineering Institute in 1967, Cand. of Eng. Sc., (1971), Dr. of Eng. Sc. (1978), Professor (1982). The Honored Worker of Science of the Russian Federation (1995). Chairman of Discrete Mathematics And Optimization Methods Department of College of Automation and Computer Science of Southern Federal University. He has written more than 400 works, including 15 monographies in the field of intellectual CAD, evolutionary modeling and an artificial intellect.

УДК 519.61

ИНТЕРВАЛЬНАЯ ПРОИЗВОДНАЯ И НАЧАЛА НЕДЕТЕРМИНИСТСКОГО ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ИСЧИСЛЕНИЯ

В.И. Левин

Пензенский государственный технологический университет, Пенза, Россия
vilevin@mail.ru

Аннотация

Показана возможность обобщения классического дифференциального исчисления на функции с интервальной неопределенностью переменных. Введено понятие производной от такой функции. Получены формулы, представляющие в явном виде интервальные производные любого порядка.

Ключевые слова: интервал, интервальная функция, интервальная производная, интервальные вычисления, недетерминистское дифференциальное исчисление.

Введение

Проектирование и исследование свойств разнообразных систем обычно опирается на тот или иной подходящий математический аппарат. К настоящему времени создано большое число различных видов математического аппарата. Однако при всем их различии почти все они обладают одним общим свойством – применимостью только к полностью определенным (детерминированным) системам. В то же время встречающиеся на практике системы обычно характеризуются той или иной степенью неопределенности (недетерминированы). С целью построения и исследования таких систем чаще всего применяют математический аппарат теории вероятностей [1], теории нечетких множеств [2], интервальной математики [3]. В настоящей работе впервые предлагается новый математический аппарат для исследования недетерминированных систем – недетерминистское дифференциальное исчисление. Этот аппарат, в отличие от трех названных выше, нацеленных, в основном, на исследование статических систем, применим также к изучению динамических систем.

1 Вспомогательные математические сведения

Мы будем использовать в качестве вспомогательных сведений, прежде всего, основные математические сведения из алгебры интервальных чисел [3, 4]. В этой алгебре в качестве операндов берутся замкнутые вещественные интервалы, определяемые как множества всех вещественных чисел между нижней и верхней границами интервала, включая сами эти границы

$$(1) \quad \tilde{a} \equiv [a_1, a_2] \equiv \{a \mid a_1 \leq a \leq a_2\}.$$

Эти операнды естественно называть интервальными числами. Операции \circ над интервальными числами $\tilde{a} = [a_1, a_2]$, $\tilde{b} = [b_1, b_2]$ вводятся как прямые теоретико-множественные обобщения соответствующих операций над вещественными числами a, b , т.е.

$$(2) \quad \tilde{a} \circ \tilde{b} = \{a \circ b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}.$$

Таким образом, основные алгебраические операции над интервальными числами определяются следующими формулами

$$(3) \quad \begin{aligned} \tilde{a} + \tilde{b} &= \{a + b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}, & \tilde{a} - \tilde{b} &= \{a - b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}, \\ k \cdot \tilde{a} &= \{k \cdot a \mid a \in \tilde{a}\}, \\ \tilde{a} \cdot \tilde{b} &= \{a \cdot b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}, & \tilde{a} / \tilde{b} &= \{a / b \mid a \in \tilde{a}, b \in \tilde{b}\}. \end{aligned}$$

На основе определений (3) операций над интервальными числами можно вывести следующие формулы для вычисления результатов этих операций [3]

$$(4) \quad \begin{aligned} \tilde{a} + \tilde{b} &\equiv [a_1, a_2] + [b_1, b_2] = [a_1 + b_1, a_2 + b_2], \\ \tilde{a} - \tilde{b} &\equiv [a_1, a_2] - [b_1, b_2] = [a_1 - b_2, a_2 - b_1], \\ k \cdot \tilde{a} &\equiv k \cdot [a_1, a_2] = \begin{cases} [ka_1, ka_2], & k > 0, \\ [ka_2, ka_1], & k < 0, \end{cases} \\ \tilde{a} \cdot \tilde{b} &\equiv [a_1, a_2] \cdot [b_1, b_2] = [\min_{i,j}(a_i \cdot b_j), \max_{i,j}(a_i \cdot b_j)], \\ \tilde{a} / \tilde{b} &\equiv [a_1, a_2] / [b_1, b_2] = [a_1, a_2] \cdot [1/b_2, 1/b_1]. \end{aligned}$$

Также в качестве вспомогательного нам потребуется понятие интервальной функции [5], которая вводится как однозначное отображение множества замкнутых вещественных интервалов $\{\tilde{x}\}, \tilde{x} = [x_1, x_2]$ вида (1) на множество замкнутых вещественных интервалов $\{\tilde{y}\}, \tilde{y} = [y_1, y_2]$ этого же вида. Символически интервальная функция записывается в виде

$$(5) \quad \tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x}),$$

где, аналогично числовым функциям, \tilde{x} называется интервальной независимой переменной (интервальным аргументом), \tilde{y} – интервальной зависимой переменной, \tilde{f} – интервальной функцией.

Введем теперь понятие предела интервальной функции (5). Рассмотрим независимую переменную $\tilde{x} = [x_1, x_2]$ этой функции. Будем говорить, что переменная \tilde{x} в процессе своего изменения неограниченно приближается к некоторому предельному интервалу $\tilde{x}_0 = [x_{01}, x_{02}]$, если в указанном процессе x_1 неограниченно приближается к x_{01} , а x_2 неограниченно приближается к x_{02} . Символически неограниченное приближение \tilde{x} к \tilde{x}_0 показывается как

$$(6) \quad (\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0) \equiv (x_1 \rightarrow x_{01}, x_2 \rightarrow x_{02}) \equiv (\lim x_1 = x_{01}, \lim x_2 = x_{02}).$$

Совершенно аналогично независимой переменной \tilde{x} зависимая переменная \tilde{y} интервальной функции (5) в процессе своего изменения может неограниченно приближаться к некоторому предельному интервалу $\tilde{y}_0 = [y_{01}, y_{02}]$, т.е.

$$(7) \quad (\tilde{y} \rightarrow \tilde{y}_0) \equiv (y_1 \rightarrow y_{01}, y_2 \rightarrow y_{02}).$$

При этом если неограниченное приближение зависимой переменной \tilde{y} интервальной функции (5) к \tilde{y}_0 вызвано неограниченным приближением независимой переменной \tilde{x} этой функции к \tilde{x}_0 , будем говорить, что предел интервальной функции (5) при \tilde{x} , стремящемся к \tilde{x}_0 , равен интервалу \tilde{y}_0 . Символически это записывается в виде

$$(8) \quad \lim_{\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0} \tilde{y} = \tilde{y}_0 \quad \text{или, по-другому,} \quad \lim_{\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0} \tilde{f}(\tilde{x}) = \tilde{y}_0.$$

Если интервальная функция (5) непрерывная, т.е. как нижняя, так и верхняя границы интервала \tilde{y} (зависимой переменной) являются непрерывными функциями нижней и верхней границ интервала \tilde{x} (независимой переменной), то предел функции (5) равен значению функции от предельного значения аргумента, или, в символической записи,

$$(9) \quad \lim_{\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0} \tilde{f}(\tilde{x}) = \tilde{f}(\tilde{x}_0).$$

2 Интервальная производная функция

Рассмотрим теперь произвольную интервальную функцию (5). Будем считать ее непрерывной. Зафиксируем некоторое значение $\tilde{x}_0 = [x_{01}, x_{02}]$ независимой переменной. Этому значению, в силу непрерывности нашей функции, будет соответствовать фиксированное значение функции $\tilde{y}_0 = \tilde{f}(\tilde{x}_0)$. Определим теперь приращения независимой и зависимой переменных нашей функции относительно их указанных фиксированных значений

$$(10) \quad \Delta\tilde{x} = \tilde{x} - \tilde{x}_0, \quad \Delta\tilde{y} = \tilde{y} - \tilde{y}_0 = \tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x}_0)$$

и составим отношение второго приращения к первому

$$(11) \quad \frac{\Delta\tilde{y}}{\Delta\tilde{x}} = \frac{\tilde{y} - \tilde{y}_0}{\tilde{x} - \tilde{x}_0} = \frac{\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x}_0)}{\tilde{x} - \tilde{x}_0}.$$

Возьмем предел отношения (11) при неограниченном приближении независимой переменной \tilde{x} к ее фиксированному значению \tilde{x}_0 :

$$(12) \quad \lim_{\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0} \frac{\Delta\tilde{y}}{\Delta\tilde{x}}.$$

Предел (12), если он существует, будем называть производной интервальной функцией от исходной интервальной функции (5) в точке \tilde{x}_0 или, коротко, интервальной производной от функции (5) и обозначать $\tilde{y}'_{\tilde{x}_0}$ или $\tilde{f}'_{\tilde{x}_0}(\tilde{x})$. Таким образом,

$$(13) \quad \tilde{y}'_{\tilde{x}_0} = \tilde{f}'_{\tilde{x}_0}(\tilde{x}) = \lim_{\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0} \frac{\Delta\tilde{y}}{\Delta\tilde{x}}.$$

Условие существования интервальной производной интервальной функции определяется следующей теоремой.

Теорема 1. Для того чтобы в точке \tilde{x}_0 существовала интервальная производная от интервальной функции (5), определяемая формулами (10)–(13), необходимо и достаточно, чтобы в некоторой окрестности этой точки, включая ее саму, все значения независимой переменной \tilde{x} функции были невырожденными интервалами (т.е. интервалами с несовпадающими верхней и нижней границами).

Доказательство. Из выражения (11) интервальной функции, предел которой есть интервальная производная в точке \tilde{x}_0 , видно, что эта производная существует только тогда, когда в некоторой окрестности указанной точки, включая ее саму, все возможные значения знаменателя выражения (11) не равны нулю. Но знаменатель выражения (11), согласно формуле (4) разности интервалов, равен интервалу

$$\tilde{x} - \tilde{x}_0 = [x_1, x_2] - [x_{01}, x_{02}] = [x_1 - x_{02}, x_2 - x_{01}].$$

Правый интервал равен нулю (нулевому интервалу $[0,0]$) только при условии

$$x_1 = x_{02}, \quad x_2 = x_{01},$$

равносильном следующему

$$x_1 = x_{01} = x_2 = x_{02}$$

или

$$\tilde{x} = \tilde{x}_0 = [x, x],$$

что означает вырожденность интервалов \tilde{x}, \tilde{x}_0 .

Ввиду произвольности выбранной точки \tilde{x}_0 , последнее означает, что для существования интервальной производной в точке \tilde{x}_0 необходимо и достаточно, чтобы в некоторой окрестности этой точки, включая ее саму, все возможные значения независимой переменной функции \tilde{x} были невырождены. Что и требовалось доказать. •

Интервальная производная от интервальной функции (5), определяемая для произвольной точки \tilde{x}_0 формулами (10)–(12) в виде предела, может быть выражена также в конечном виде через значения независимой \tilde{x} и зависимой $\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x})$ переменных этой функции в указанной точке. А именно, справедлива следующая теорема.

Теорема 2. Интервальная производная от непрерывной интервальной функции (5), определяемая для произвольной точки \tilde{x}_0 формулами (10)–(13) в виде предела, может быть выражена в конечном виде через значения независимой \tilde{x} и зависимой $\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x})$ переменных этой функции в указанной точке следующим образом

$$(14) \quad \tilde{y}'_{\tilde{x}_0} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}_0}(\tilde{x}) = \frac{\tilde{f}(\tilde{x}_0) - \tilde{f}(\tilde{x}_0)}{\tilde{x}_0 - \tilde{x}_0}.$$

Примечание 1. При первом взгляде выражение (14) может показаться неопределенностью вида $0/0$. Но это впечатление неверно, поскольку, согласно теореме 1, у любой существующей в точке \tilde{x}_0 интервальной производной интервал \tilde{x}_0 невырожден и потому, в соответствии с формулой (4) для разности интервалов, разность $\tilde{x}_0 - \tilde{x}_0$ не равна нулю (нулевому интервалу $[0,0]$). Точно также не равна нулю разность $\tilde{f}(\tilde{x}_0) - \tilde{f}(\tilde{x}_0)$.

Доказательство. Согласно определению интервальной производной в точке \tilde{x}_0 (10)–(13) она может быть записана в виде предела

$$(15) \quad \tilde{y}'_{\tilde{x}_0} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}_0}(\tilde{x}) = \lim_{\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0} \frac{\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x}_0)}{\tilde{x} - \tilde{x}_0}.$$

В процессе предельного перехода в правой части равенства (15) \tilde{x} неограниченно приближается к \tilde{x}_0 , а $\tilde{f}(\tilde{x})$, в силу непрерывности интервальной функции \tilde{f} – к $\tilde{f}(\tilde{x}_0)$. Таким образом, предел в правой части (15) равен

$$(16) \quad \lim_{\tilde{x} \rightarrow \tilde{x}_0} \frac{\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x}_0)}{\tilde{x} - \tilde{x}_0} = \frac{\tilde{f}(\tilde{x}_0) - \tilde{f}(\tilde{x}_0)}{\tilde{x}_0 - \tilde{x}_0}.$$

Подставив полученное значение предела из равенства (16) в выражение (15), будем иметь формулу (14). Что и требовалось доказать. •

Итак, выражение интервальной производной функции (14) представляет ее через исходную (первообразную) интервальную функцию (5). При этом, поскольку в указанном выражении точка \tilde{x}_0 , в которой определяется производная, произвольна, выражение это можно переписать в общем виде следующим образом:

$$(17) \quad \tilde{y}'_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = \frac{\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x})}{\tilde{x} - \tilde{x}},$$

где \tilde{x} – произвольное значение независимой переменной непрерывной интервальной функции (5) из ее области определения, при котором интервальная производная этой функции существует. Как видно из формулы (17), интервальная производная выражается непосредственно через исходную (первообразную) интервальную функцию простой алгебраической формой, что, конечно, упрощает процесс вычисления производной. Этот эффект отсутствует при нахождении обычных производных, фигурирующих в традиционном дифференциальном исчислении детерминированных функций [6].

3 Интервальные производные высших порядков

Производная $\tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ от интервальной функции $\tilde{f}(\tilde{x})$, введенная выше в пункте 2, также является интервальной функцией, притом зависящей от того же самого интервального аргумента \tilde{x} . Это позволяет продолжить процесс взятия интервальных производных функций, получив сначала вторую производную $\tilde{f}''_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ (производную от первой производной $\tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x})$)

$$(18) \quad \tilde{y}''_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}''_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = [\tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x})]'_{\tilde{x}},$$

затем третью производную $\tilde{f}'''_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ (производную от второй производной $\tilde{f}''_{\tilde{x}}(\tilde{x})$)

$$(19) \quad \tilde{y}'''_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'''_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = [\tilde{f}''_{\tilde{x}}(\tilde{x})]'_{\tilde{x}}$$

и т.д., вплоть до интервальной производной любого n -го порядка, определяемой как производная от производной $n-1$ порядка

$$(20) \quad \tilde{y}^{(n)}_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}^{(n)}_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = [\tilde{f}^{(n-1)}_{\tilde{x}}(\tilde{x})]'_{\tilde{x}}.$$

Условие существования интервальной производной любого n -го порядка определяется следующей теоремой.

Теорема 3. Для того чтобы в точке \tilde{x}_0 существовала интервальная производная n -го порядка ($n = 2, 3, \dots$) от интервальной функции (5), определяемая формулами (18)–(20), необходимо и достаточно, чтобы в некоторой окрестности этой точки, включая ее саму, все значения независимой переменной \tilde{x} функции были невырожденными интервалами.

Доказательство. По теореме 1, для существования в точке \tilde{x}_0 производной 1-го порядка от функции (5) необходимо и достаточно невырожденности всех интервалов, служащих значениями независимой переменной \tilde{x} этой функции в некоторой окрестности точки \tilde{x}_0 . Но производная 1-го порядка от функции (5) имеет ту же независимую переменную \tilde{x} , что и сама функция. Поэтому, согласно теореме 1, для существования в точке \tilde{x}_0 производной от производной 1-го порядка функции (5) (т.е. производной 2-го порядка от интервальной функции (5)) необходимо и достаточно выполнения того же условия, что и для существования в точке \tilde{x}_0 производной 1-го порядка от функции (5), т.е. невырожденности всех интервалов, являющихся значениями независимой переменной \tilde{x} функции (5) в некоторой окрестности точки \tilde{x}_0 . Продолжая по цепочке наши рассуждения, придем к необходимым и достаточным условиям существования в точке \tilde{x}_0 производной n -го порядка от функции (5) в той форме, в которой они сформулированы в теореме 3. Что и требовалось доказать. •

Интервальная производная любого n -го порядка от интервальной функции (5), определяемая формулами (18)–(20) итеративно, может быть выражена также в конечном виде, аналогично выражению в конечном виде (17) интервальной производной 1-го порядка. Такие выражения основываются на следующей теореме.

Теорема 4. Интервальная производная n -го порядка ($n = 2, 3, \dots$) от интервальной функции (5) может быть выражена в конечном виде через интервальную производную $(n-1)$ -го порядка от этой функции (если она непрерывная) и независимую переменную \tilde{x} в следующем виде

$$(21) \quad \tilde{y}_{\tilde{x}}^{(n)} \equiv \tilde{f}_{\tilde{x}}^{(n)}(\tilde{x}) = \frac{\tilde{f}_{\tilde{x}}^{(n-1)}(\tilde{x}) - \tilde{f}_{\tilde{x}}^{(n-1)}(\tilde{x})}{\tilde{x} - \tilde{x}}, \quad n = 2, 3, \dots$$

Доказательство теоремы получается с помощью формулы (17) если подставить в нее в качестве функции $\tilde{f}(\tilde{x})$ производную $(n-1)$ -го порядка $\tilde{f}_{\tilde{x}}^{(n-1)}(\tilde{x})$ и учесть еще, что производная 1-го порядка от $\tilde{f}_{\tilde{x}}^{(n-1)}(\tilde{x})$ согласно определению (20) есть производная n -го порядка $\tilde{f}_{\tilde{x}}^{(n)}(\tilde{x})$.

С помощью теорем 2 и 4 можно последовательно получить конечные выражения для интервальной производной 2-го порядка

$$(22) \quad \tilde{y}_{\tilde{x}}'' \equiv \tilde{f}_{\tilde{x}}''(\tilde{x}) = \frac{\tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x}) - \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x})}{\tilde{x} - \tilde{x}} = \frac{\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x})}{\tilde{x} - \tilde{x}} - \frac{\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x})}{\tilde{x} - \tilde{x}};$$

для интервальной производной 3-го порядка

$$(23) \quad \tilde{y}_{\tilde{x}}''' \equiv \tilde{f}_{\tilde{x}}'''(\tilde{x}) = \frac{\tilde{f}_{\tilde{x}}''(\tilde{x}) - \tilde{f}_{\tilde{x}}''(\tilde{x})}{\tilde{x} - \tilde{x}} = \frac{\frac{\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x})}{\tilde{x} - \tilde{x}} - \frac{\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x})}{\tilde{x} - \tilde{x}}}{\tilde{x} - \tilde{x}} - \frac{\frac{\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x})}{\tilde{x} - \tilde{x}} - \frac{\tilde{f}(\tilde{x}) - \tilde{f}(\tilde{x})}{\tilde{x} - \tilde{x}}}{\tilde{x} - \tilde{x}}$$

и т.д. Отметим, что все эти выражения аналогичны конечному выражению (17) для интервальной производной 1-го порядка.

Примечание 2. Выражения (22), (23),... интервальных производных высших порядков кажутся с первого взгляда суперпозициями неопределенностей вида $0/0$, однако, по причине, указанной в примечании 1, не являются таковыми. Заметим также, что эти выражения не могут быть преобразованы к более простому виду с помощью эквивалентных преобразований, поскольку в алгебре интервальных чисел [3] не выполняются эквивалентности типа

$$(24) \quad (\tilde{a} \pm \tilde{b})\tilde{c} = \tilde{a}\tilde{c} \pm \tilde{b}\tilde{c}; \quad \frac{\tilde{a} \pm \tilde{b}}{\tilde{c}} = \frac{\tilde{a}}{\tilde{c}} \pm \frac{\tilde{b}}{\tilde{c}}.$$

4 Вычисление интервальных производных

Доказанные выше выражения интервальных производных (17)–(23) являются аналитическими выражениями, имеющими вид суперпозиций операций над интервальными переменными. Эти выражения удобны для теоретического изучения интервальных производных. Что касается вычисления таких производных, то использование здесь выражений (17)–(23) оказывается неудобным, поскольку оно предполагает объемную работу с весьма громоздкими формулами интервальной математики (4), которые и позволяют выразить, в конце концов, интервальную производную в виде интервального числа с явно выраженными в числовой

форме нижней и верхней границами. Однако гораздо удобнее вычислять интервальные производные по формуле, выражающей сразу в явном виде нижнюю и верхнюю границы интервального числа, служащего значением интервальной производной. Эта формула выводится ниже.

Теорема 5. Интервальная производная от непрерывной интервальной функции (5), выражаемая для произвольной точки \tilde{x} формулой (17) в виде суперпозиции операций над интервальными переменными, может быть также представлена явно в виде интервала, нижняя и верхняя границы которого выражены через нижнюю и верхнюю границы интервальных независимой $\tilde{x} = [x_1, x_2]$ и зависимой $\tilde{y} = [y_1, y_2]$ переменных этой функции в точке \tilde{x} следующим образом

$$(25) \quad \tilde{y}'_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = \left[-\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right].$$

Доказательство. Будем исходить из выражения интервальной производной от интервальной функции (5) формулой (17). Представим указанную функцию в явном виде интервала

$$(26) \quad \tilde{f}(\tilde{x}) = [f_1(\tilde{x}), f_2(\tilde{x})] \equiv [y_1, y_2] \equiv \tilde{y}.$$

Здесь

$$(27) \quad y_1 = f_1(\tilde{x}), \quad y_2 = f_2(\tilde{x})$$

есть соответственно нижняя и верхняя границы интервальной зависимой переменной функции (5). Аналогично представим интервальную независимую переменную \tilde{x} :

$$(28) \quad \tilde{x} = [x_1, x_2].$$

После проведения необходимых подстановок выражение (17) интервальной производной от интервальной функции (5) примет вид

$$(29) \quad \tilde{y}'_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = \frac{\tilde{y} - \tilde{y}}{\tilde{x} - \tilde{x}} = \frac{[y_1, y_2] - [y_1, y_2]}{[x_1, x_2] - [x_1, x_2]}.$$

Разности интервалов в числителе и знаменателе выражения (29) по формуле (4) представим в виде интервального числа

$$(30) \quad [y_1, y_2] - [y_1, y_2] = [y_1 - y_2, y_2 - y_1], \quad [x_1, x_2] - [x_1, x_2] = [x_1 - x_2, x_2 - x_1].$$

Подставив выражения (30) в (29), получим представление интервальной производной в виде частного двух интервалов

$$(31) \quad \tilde{y}'_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = \frac{[y_1 - y_2, y_2 - y_1]}{[x_1 - x_2, x_2 - x_1]}.$$

В свою очередь, выражение (31) можно, согласно формуле (4), представить в виде следующего произведения двух интервалов

$$(32) \quad \tilde{y}'_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = [y_1 - y_2, y_2 - y_1] \cdot [1/(x_2 - x_1), 1/(x_1 - x_2)].$$

Перемножая интервалы в правой части (32) по соответствующему правилу (4), получим

$$(33) \quad \tilde{y}'_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = \left[\begin{array}{l} \min \left(\frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1}, \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}, \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \frac{y_2 - y_1}{x_1 - x_2} \right), \\ \max \left(\frac{y_1 - y_2}{x_2 - x_1}, \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2}, \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \frac{y_2 - y_1}{x_1 - x_2} \right) \end{array} \right]$$

Одинаково подчеркнутые члены в выражении (33) равны. Оставив из каждых двух равных членов по одному, представим выражение (33) в более простом виде

$$(34) \quad \tilde{y}'_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = \left[\min \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \frac{y_2 - y_1}{x_1 - x_2} \right), \max \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \frac{y_2 - y_1}{x_1 - x_2} \right) \right].$$

Два члена в круглых скобках формулы (34) различаются лишь знаком, причем (с учетом того, что $x_2 > x_1, y_2 > y_1$) левый член положителен, а правый – отрицателен. Так, из (34) получается простейшее выражение интервальной производной от интервальной функции (5)

$$(35) \quad \tilde{y}'_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = \left[\frac{y_2 - y_1}{x_1 - x_2}, \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right].$$

С учетом того, что $x_1 - x_2 = -(x_2 - x_1)$, выражение (35) окончательно переписывается в виде

$$(36) \quad \tilde{y}'_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = \left[-\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right],$$

что и требовалось доказать. •

Аналогичное (25) явное выражение интервальной производной функции, дающее сразу в явном виде нижнюю и верхнюю границы интервального числа – значения этой функции – справедливо и для производных высших порядков. Это выражение приведено ниже.

Теорема 6. Интервальная производная любого n -го порядка от непрерывной интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x})$ вида (5), выражаемая для произвольной точки \tilde{x} формулой (21) в виде суперпозиции операций над интервальными переменными, может быть представлена в указанной точке также в явном виде интервала, нижняя и верхняя границы которого выражены через нижнюю и верхнюю границы интервальной независимой переменной $\tilde{x} = [x_1, x_2]$ и промежуточной переменной – производной $(n-1)$ -го порядка $\tilde{y}^{(n-1)} = [y_1^{(n-1)}, y_2^{(n-1)}]$ от интервальной функции (5) следующим образом

$$(37) \quad \tilde{y}^{(n)}_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}^{(n)}_{\tilde{x}}(\tilde{x}) = \left[-\frac{y_2^{(n-1)} - y_1^{(n-1)}}{x_2 - x_1}, \frac{y_2^{(n-1)} - y_1^{(n-1)}}{x_2 - x_1} \right].$$

Доказательство теоремы 6 аналогично доказательству теоремы 5, с той разницей, что в качестве исходного выражения искомой интервальной производной n -го порядка от интервальной функции (5) берется формула (21), тогда как в случае теоремы 5 исходным выражением искомой интервальной производной 1-го порядка от функции (5) служит такая же по форме формула (17).

Используя формулу (37), нетрудно получить простые явные выражения типа (25) для интервальных производных 2-го, 3-го и т.д. порядка от интервальной функции (5). Действительно, для интервальной производной 2-го порядка из (37) имеем

$$(38) \quad \tilde{y}_x'' \equiv \tilde{f}_x''(\tilde{x}) = \left[-\frac{y_2' - y_1'}{x_2 - x_1}, \frac{y_2' - y_1'}{x_2 - x_1} \right].$$

Подставляя в соотношении (38) значения нижней и верхней границ интервальной производной 1-го порядка из (25) в виде

$$(39) \quad y_1' = -\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \quad y_2' = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1},$$

с учетом необходимых эквивалентных преобразований, получим

$$(40) \quad \tilde{y}_x'' \equiv \tilde{f}_x''(\tilde{x}) = \left[-\frac{2(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^2}, \frac{2(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^2} \right].$$

Аналогично, для интервальной производной 3-го порядка из (37) имеем

$$(41) \quad \tilde{y}_x''' \equiv \tilde{f}_x'''(\tilde{x}) = \left[-\frac{y_2'' - y_1''}{x_2 - x_1}, \frac{y_2'' - y_1''}{x_2 - x_1} \right].$$

Как и в предыдущем случае, подставляя в формулу (41) значения границ интервальной производной 2-го порядка из (40) в виде

$$(42) \quad y_1'' = -\frac{2(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^2}, \quad y_2'' = \frac{2(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^2},$$

будем, после необходимых эквивалентных преобразований, иметь

$$(43) \quad \tilde{y}_x''' \equiv \tilde{f}_x'''(\tilde{x}) = \left[-\frac{4(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^3}, \frac{4(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^3} \right].$$

Продолжая этот процесс для интервальных производных 4-го, 5-го и последующих порядков, приходим к следующему общему результату.

Теорема 7. Интервальная производная любого n -го порядка от непрерывной интервальной функции $\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x})$ вида (5), выражаемая для произвольной точки \tilde{x} формулой (21) в виде суперпозиции операций над интервальными переменными, может быть представлена в указанной точке также в явном виде интервала с явно выраженными нижней и верхней границами вида (25), (40), (43)

$$(44) \quad \tilde{y}_x^{(n)} \equiv \tilde{f}_x^{(n)}(\tilde{x}) = \left[-\frac{2^{n-1}(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^n}, \frac{2^{n-1}(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^n} \right].$$

Здесь x_1, x_2 – нижняя и верхняя границы интервальной независимой переменной $\tilde{x} = [x_1, x_2]$ в точке взятия производной от функции $\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x})$, а y_1, y_2 – нижняя и верхняя границы интервальной зависимой переменной $\tilde{y} = [y_1, y_2]$ этой функции в той же точке.

Сводка полученных явных выражений интервальных производных функций различных порядков приведена в таблице 1.

5 Возможные применения

Предложенный в настоящей работе математический аппарат недетерминистского дифференциального исчисления может быть успешно применен к построению и количественному изучению свойств различных недетерминированных систем динамического типа, т.е. сис-

тем, количественные характеристики которых известны с той или иной степенью неопределенности и вдобавок изменяются во времени. Такие системы широко распространены в экономике, социологии и экологии. Они также встречаются в технике и технологиях. Методика применения указанного математического аппарата к названным системам основана на предположении о том, что все параметры изучаемой системы определяются с точностью до интервалов возможных значений. При этом статические звенья характеризуются постоянными интервалами возможных значений их параметров, а динамические звенья – переменными интервалами этих значений. В соответствии с этим для построения действующей математической модели изучаемой недетерминированной системы и последующего математического моделирования этой системы нужно:

- 1) взять (построить) математическую модель идеального (детерминированного) прообраза системы, которая получается в предположении, что все параметры системы заданы точно, соответственно чему статические звенья системы имеют постоянные точечные значения параметров, а динамические звенья – переменные точечные значения параметров; таким образом, в этой модели изучаемые характеристики системы принимают точечные постоянные и переменные значения и могут быть представлены в виде суперпозиции обычных алгебраических операций над точно известными постоянными и переменными значениями параметров звеньев системы;

Таблица 1 – Явные выражения интервальных производных

| Функция | Обозначение функции | Явное выражение функции |
|--|---|--|
| Исходная интервальная функция | $\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x}), \tilde{x} = [x_1, x_2], \tilde{y} = [y_1, y_2]$ | $[y_1, y_2] = \tilde{f}[x_1, x_2]$ или $[y_1, y_2] = [f_1(x_1, x_2), f_2(x_1, x_2)]$ |
| Интервальная производная функция 1-го порядка | $\tilde{y}'_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ или $\tilde{y}^{(1)}_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}^{(1)}_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ | $\left[-\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right]$ |
| Интервальная производная функция 2-го порядка | $\tilde{y}''_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}''_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ или $\tilde{y}^{(2)}_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}^{(2)}_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ | $\left[-\frac{2(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^2}, \frac{2(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^2} \right]$ |
| Интервальная производная функция 3-го порядка | $\tilde{y}'''_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}'''_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ или $\tilde{y}^{(3)}_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}^{(3)}_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ | $\left[-\frac{4(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^3}, \frac{4(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^3} \right]$ |
| ... | ... | ... |
| Интервальная производная функция n -го порядка | $\tilde{y}^{(n)}_{\tilde{x}} \equiv \tilde{f}^{(n)}_{\tilde{x}}(\tilde{x})$ | $\left[-\frac{2^{n-1}(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^n}, \frac{2^{n-1}(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)^n} \right]$ |

- 2) заменить в полученной на шаге 1 математической модели точечные значения параметров соответствующими интервалами возможных значений данных параметров; обычные производные в исходной детерминированной системе заменяются соответствующими интервальными производными, в результате получаем математическую модель собственно изучаемой системы, все параметры которой определяются с точностью до интервалов возможных значений; в этой модели изучаемые характеристики системы принимают интервальные значения и могут быть представлены в виде суперпозиции интервальных операций (3) над интервалами – значениями параметров звеньев системы;

- 3) используя соотношения (4), выражающие результаты элементарных преобразований интервалов, представляем интервальнозначные характеристики недетерминированной системы в явной форме интервала $\tilde{F} = [f_1, f_2]$, нижняя f_1 и верхняя f_2 границы которого являются обычными (детерминированными) функциями от нижних и верхних границ интервалов – параметров звеньев системы. После этого математическое моделирование изучаемой недетерминированной системы по любой ее интервальной характеристике $\tilde{F} = [f_1, f_2]$ сводится к анализу двух обычных детерминированных функций f_1, f_2 .

Пример. Рассмотрим простейшее применение предложенного математического аппарата в экономике. Пусть $y = f(x)$ – некоторая детерминированная функция, показывающая зависимость одного экономического показателя y от другого x [7]. Тогда эластичностью $E_x(y)$ этой функции называется предел относительного приращения функции y к относительному приращению аргумента (независимой переменной) x при $\Delta x \rightarrow 0$, т.е.

$$(45) \quad E_x(y) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta y}{y} / \frac{\Delta x}{x} \right) = \frac{x}{y} \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{x}{y} \cdot y'_x.$$

Здесь y'_x – производная от функции $y = f(x)$ по переменной x . Эластичность функции показывает приближенно, на сколько процентов изменится значение функции $y = f(x)$ при изменении значения аргумента x на 1%. Например, если функция $y = f(x)$ показывает зависимость спроса y на товар от его цены x , то эластичность этой функции $E_x(y)$ есть коэффициент, приближенно показывающий, на сколько процентов изменится спрос на товар при изменении его цены на 1%. Аналогично, если функция $y = f(x)$ показывает зависимость издержек производства y от объема выпускаемой продукции x , то эластичность этой функции $E_x(y)$ показывает приближенно, на сколько процентов изменятся издержки производства при изменении объема выпускаемой продукции на 1%. Наконец, если изучаемая нами функция $y = f(x)$ есть зависимость себестоимости единицы продукции y от стоимости всей выпускаемой продукции x , то эластичность данной функции $E_x(y)$ показывает приближенно, на сколько процентов изменится себестоимость единицы продукции при изменении стоимости всей продукции на 1% и т.д.

Положим теперь, что (как это часто бывает на практике) независимая x и зависимая y переменные рассматриваемой экономической функции $y = f(x)$ определяются не точно, а с точностью до интервалов возможных значений. Тогда эта функция из детерминированной превращается в недетерминированную (интервальную) функцию $\tilde{y} = \tilde{f}(\tilde{x})$ вида (5), где $\tilde{x} = [x_1, x_2]$ – независимая интервальная переменная (интервальный аргумент), а $\tilde{y} = [y_1, y_2]$ – зависимая интервальная переменная. Построим теперь математическую модель получившейся экономической системы, используя описанный выше трехшаговый алгоритм.

- 1) Исходная математическая модель идеальной (детерминированной) системы уже есть, она описывается функцией эластичности системы (45) с точными значениями переменных x и y .
- 2) Заменяем в математической модели, установленной на шаге 1, точные значения параметров x и y соответствующими интервалами их возможных значений $\tilde{x} = [x_1, x_2]$ и $\tilde{y} = [y_1, y_2]$, а детерминированную производную 1-го порядка y'_x – соответствующей интервальной производной $\tilde{y}'_{\tilde{x}}$, явное выражение которой в виде интервала дается формулой (25). В результате получаем математическую модель искомой недетерминированной

экономической системы – ее интервальную функцию эластичности – в виде следующей суперпозиции интервальных операций над интервалами – параметрами системы:

$$(46) \quad \tilde{E}_{\tilde{x}}(\tilde{y}) = \frac{\tilde{x}}{\tilde{y}} \cdot \tilde{y}'_{\tilde{x}} = \frac{[x_1, x_2]}{[y_1, y_2]} \cdot \left[-\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1}, \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right].$$

- 3) После вычисления выражения (46) по формулам (4) элементарных преобразований интервалов, с учетом положительности значений x_1, x_2, y_1, y_2 в экономических системах, получим окончательно следующую математическую модель искомой системы

$$(47) \quad \tilde{E}_{\tilde{x}}(\tilde{y}) = \left[-\frac{x_2(y_2 - y_1)}{y_1(x_2 - x_1)}, \frac{x_2(y_2 - y_1)}{y_1(x_2 - x_1)} \right].$$

Заключение

В настоящей статье показана возможность обобщения классического дифференциального исчисления на случай недетерминированных функций, в которых переменные задаются с точностью до интервалов возможных значений. Новое дифференциальное исчисление идейно близко к классическому дифференциальному исчислению, в частности, производная функция показывает скорость изменения первообразной функции относительно ее аргумента. Однако форма нового исчисления существенно иная. Главные отличия состоят в том, что, во-первых, производная любого порядка является интервальной функцией, в которой все переменные имеют вид интервалов и, во-вторых, производная любого порядка выражается в явном виде через значения независимой и зависимой переменных первообразной функции.

Список источников

- [1] *Гнеденко, Б.В.* Курс теории вероятностей: Учебник, 8-е изд. испр. и доп. / Б.В. Гнеденко. - М.: Эдиториал УРСС, 2005. — 448 с.
- [2] *Заде, Л.А.* Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976.- 165 с.
- [3] *Алефельд, Г.* Введение в интервальные вычисления / Г. Алефельд, Ю. Херцбергер. – М.: Мир, 1987.- 356 с.
- [4] *Левин, В.И.* Интервальные методы оптимизации систем в условиях неопределенности / В.И. Левин. – Пенза: Изд-во Пензенского технологического института, 1999. - 101 с.
- [5] *Левин, В.И.* Оптимизация в условиях интервальной неопределенности. Метод детерминизации / В.И. Левин // Автоматика и вычислительная техника. – 2012. – № 4. – С. 17-25.
- [6] *Фихтенгольц, Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т. 1. / Г.М. Фихтенгольц. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2001. -616 с.
- [7] *Кремер, Н.Ш.* Высшая математика для экономистов / Н.Ш. Кремер, Б.А. Путко, И.М. Тришин, М.Н. Фридман. – М.: ЮНИТИ, 2001.-471 с.

THE INTERVAL DERIVATIVE AND THE BASIS OF NONDETERMINISTIC DIFFERENTIAL CALCULUS

V.I. Levin

Penza State Technological University, Penza, Russia
vilevin@mail.ru

Abstract

The possibility of generalization of the classical differential calculus to functions which variables have interval uncertainty is shown. The concept of the derivative of such a function is introduced. The formulas explicitly representing interval derivatives of any order are given.

Keywords: *interval, interval function, function calculus, interval derivative, interval computing, nondeterministic differential calculus.*

References

- [1] **Gnedenko B.V.** Kurs teorii veroyatnostej: Uchebnik [Course on probability theory: Textbook], eighth edition. Moscow: Editorial URSS, 2005, 448 p. (In Russian)
- [2] **Zade L.A.** Ponyatie lingvisticheskoj peremennoj i ego primenenie k prinyatiyu priblizhennykh reshenij [Concept of linguistic variable and its application to the approximate decision making]. Moscow: Mir, 1976, 165 p. (In Russian)
- [3] **Alenfeld G., Hertzberger U.** Vvedenie v interval'nye vychisleniya [Introduction to interval computations]. Moscow: Mir, 1987, 356 p. (In Russian)
- [4] **Levin V.I.** Interval'nye metody optimizatsii sistem v usloviyakh neopredelennosti [Interval methods of optimization systems under uncertainty]. Penza: Penza Polytechnic University publ., 1999, 101 p. (In Russian)
- [5] **Levin V.I.** Optimizatsiya v usloviyakh interval'noj neopredelennosti. Metod determinizatsii [Optimization under interval uncertainty. Determinization method]. Avtomatika i vychislitel'naya tekhnika [Automation and Computer Engineering], 2012, no. 4 pp. 17-25. (In Russian)
- [6] **Fikhtengol'ts G.M.** Kurs differentsial'nogo i integral'nogo ischisleniya, T. 1 [Differential and integral calculus]. Moscow: FIZMATLIT, 2001, 616 p. (In Russian)
- [7] **Kremer N.Sh., Putko B.A., Trishin I.M., Fridman M.N.** Vysshaya matematika dlya ehkonomistov [Higher Mathematics for Economists]. Moscow: UNITY, 2001, 471 p. (In Russian)

Сведения об авторе



Левин Виталий Ильич окончил Каунасский политехнический ин-т, Открытый ун-т Израиля. Доктор технических наук, профессор, PhD, Full Professor, заведующий кафедрой математики (1975–2000), советник ректора по науке (2006–2011) Пензенского государственного технологического университета, профессор Московского университета им. С.Ю. Витте (с 2003 г.). В списке научных трудов 4000 работ (в том числе 80 монографий и 90 сборников трудов под редакцией) по логике; математическому моделированию в технике, экономике, социологии, истории; принятию решений; оптимизации; теории автоматов; теории надежности; распознаванию; истории науки; проблемам образования. Действительный член МАИ, ЕАИ, МАНЭБ и АСН, заслуженный деятель науки Российской Федерации, лауреат международных премий «Соросовский профессор», Международный эксперт в области социологии конфликта и рейтингования университетов.

Vitaly I. Levin graduated from Kaunas Politechnical Institute, Open University of Israel, Doctor of Engineering Science, Professor, PhD, Full Professor. Head of Mathematics Department (1975–2000), the scientific counselor of rector (2006–2011) of Penza State Technological University, professor of Moscow University named after S.J. Vitte (since 2003). He is the autor of 4000 publications (among them 80 monographs), in logic; mathematical modelling of engineering, economics, sociology, history; optimization; reliability, automata; history of science; education problems. The member of ИА, ЕАИ, IAELP, ASS. Honoured scientist of Russia, Laureate of International Prizes “Soros Professor”, Inter-national Reviewer in Sociology of conflicts and University ranking.

**XIV международная научная конференция им. Т.А.Таран
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ (ИАИ-2014)
14-16 мая 2014 г., Киев, Украина**

ОРГАНИЗАТОРЫ

- Министерство образования и науки, молодежи и спорта Украины
- Российская ассоциация искусственного интеллекта
- Национальный технический университет Украины «КПИ», факультет прикладной математики
- Институт прикладного системного анализа

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- интеллектуальный анализ данных;
- методы инженерии знаний;
- интеллектуальный поиск и анализ информации в локальных и глобальных сетях;
- интеллектуальный анализ данных в социальной сфере и гуманитарных исследованиях;
- интеллектуальные обучающие системы;
- интеллектуальные системы для дистанционного обучения и контроля знаний;
- прикладные системы интеллектуального анализа данных;
- интеллектуальные компьютерные средства;
- методы искусственного интеллекта при моделировании систем.

ОРГКОМИТЕТ

Председатель: д.т.н., проф. Дичка И.А. Заместитель председателя: к.т.н., доц. Чертов О.Р.

Секретариат: Копычко С.Н., Темникова Е.Л.

Адрес: 03056, Киев, пр. Перемоги, 37, НТУУ «КПИ», кафедра прикладной математики, корп. 14, комн. 60.

Тел.: (+38-044) 406-81-77, 454-99-30, Факс: (+38-044) 406-84-58, e-mail: iaikpi@ukr.net, temnikova_elena@ukr.net

**XVI Международная конференция
ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ
В СЛОЖНЫХ СИСТЕМАХ (ПУМСС-2014)
30 июня – 3 июля 2014 г., Самара, Россия**

ОРГАНИЗАТОР

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт проблем управления сложными системами Российской академии наук (ИПУСС РАН)

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- теория оптимального управления и её применения;
- интеллектуальные технологии в сложных системах;
- процессы управления в обществе (в социальных, экономических и политических системах);
- перспективные методы и средства управления космическими полётами;
- управление в сложных технических системах;
- эргатические системы;
- измерения, контроль и диагностика в экстремальных условиях.

КОНТАКТНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

443020, Самара, ул. Садовая, 61, ИПУСС РАН, E-mail cscmp@iccs.ru,

тел. (846) 333-26-77 – Боровик Сергей Юрьевич, ученый секретарь программного комитета,

тел/факс (846) 333-27-70 – Моисеева Татьяна Владимировна, ученый секретарь оргкомитета.

**XIX Байкальская Всероссийская конференция с международным участием
ИНФОРМАЦИОННЫЕ И МАТЕМАТИЧЕСКИЕ
ТЕХНОЛОГИИ В НАУКЕ И УПРАВЛЕНИИ
28 июня - 7 июля 2014 г., Иркутск–Байкал**

ОРГАНИЗАТОРЫ

- Президиум Иркутского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук
- Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН
- Институт динамики систем и теории управления СО РАН
- Иркутский государственный технический университет
- Иркутский государственный университет путей сообщения
- Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАБОТЫ КОНФЕРЕНЦИИ

- теоретические и методологические аспекты информационных и математических технологий;
- математическое моделирование в научных исследованиях, вычислительная математика, оптимизация;
- информационное и семантическое моделирование;
- параллельные и распределенные вычисления, GRID-технологии, облачные вычисления;
- интеллектуальные вычисления (Intelligent computing) и интеллектуальная поддержка принятия решений;
- ситуационные центры и системы поддержки принятия решений в управлении;
- корпоративные информационные, геоинформационные, интеллектуальные системы;
- методы, технологии и инструментальные средства создания Smart Grid;
- кибербезопасность (защита информационных систем объектов критически важных инфраструктур).

Адрес оргкомитета: 664033 Иркутск, Лермонтова, 130, ИСЭМ СО РАН, e-mail: imt@isem.sei.irk.ru, www.sei.irk.ru/sei34
Телефон: (3952) 500-646 доп. 406. Макагонова Надежда Николаевна, Курганская Ольга Викторовна



**8th International Conference on Formal
Ontology in Information Systems
(FOIS 2014)**

September, 22-25, 2014 in Rio de Janeiro, Brazil
<http://fois2014.inf.ufes.br/p/home.html>

The FOIS conference is designed to provide a meeting point for researchers from all disciplines with an interest in formal ontology. The conference encourages submission of high quality articles on both theoretical issues and concrete applications. As in previous years, FOIS 2014 is intended as a nexus of interdisciplinary research and communication. FOIS is the flagship conference of the **International Association for Ontology and its Applications (IAOA)**, website: <http://iaoa.org/>, which is a non-profit organization the purpose of which is to promote interdisciplinary research and international collaboration at the intersection of philosophical ontology, linguistics, logic, cognitive science, and computer science, as well as in the applications of ontological analysis to conceptual modeling, knowledge engineering, knowledge management, information-systems development, library and information science, scientific research, and semantic technologies in general.

Scope - Topics of Interest

We seek high-quality papers on a wide range of topics. Concerning scope, an ideal FOIS paper will address both content-related ontological issues and their formal modeling, as well as their impact and relevance for some aspects of information systems. Areas of particular interest to the conference include the following:

Foundational Issues: Kinds of entities, Formal relations, Vagueness and granularity, Space, time, and change;

Methodological issues: Role of reference ontologies, Top-level vs. domain-specific ontologies, Relationship with cognition, language and semantics, Formal comparison among ontologies, Ontology integration and alignment;

Domain-specific ontologies: Ontology of physical reality, biological reality, mental reality and agency, artifacts, functions and roles;

Applications: Ontology-driven information systems design, Ontological foundations for conceptual modeling, Knowledge management, Qualitative modeling, Computational linguistics, Information retrieval, Semantic Web, Web services, Business modeling, Ontologies for particular scientific disciplines, Ontologies for engineering: shape, form and function, artifacts, manufacturing, design, architecture, etc.



Smart Solutions
Living schedules - easy as 1-2-3

НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ КОМПАНИЯ
«РАЗУМНЫЕ РЕШЕНИЯ»
<http://www.smartsolutions-123.ru/>

Поздравляем с Новым годом и Рождеством!

Не правда ли, что в Новогоднюю ночь ветви украшенной Вами елочки, окутанной праздничными гирляндами огней и разноцветным серпантинном, иногда начинают напоминать нам онтологию нашей жизни?

Мы хотим пожелать, чтобы в семантической сети Вашей жизни на долгие годы поселился рой согласованно действующих агентов, способных оперативно, гибко и эффективно заботиться о Вашем здоровье, счастье и благополучии!

Искренне Ваша НПК "Разумные решения"

Разумные решения
Мультиагентные технологии для управления ресурсами

Предложения продукции и услуг от НПК «Разумные решения»

- Разработка и внедрение новой современной модели управления эффективным предприятием
- Проведение комплексного системного анализа предприятия для выяснения ключевых проблем в эффективности использования ресурсов предприятия и выработки мер по их разрешению
- Сбор требований и разработка технических заданий на адаптацию существующих интеллектуальных систем для управления ресурсами предприятий в реальном времени или создание новых специализированных систем
- Адаптация существующих или создание новых интеллектуальных систем для управления ресурсами в реальном времени
- Создание и ведение базы знаний предприятия
- Моделирование и оптимизация предприятия
- Дистанционный мониторинг и контроль работы предприятия

Вопросы, касающиеся разработок и услуг, просьба отправлять на электронный адрес sales@smartsolutions-123.ru

Главный конструктор НПК «Разумные решения»
Скобелев П.О., д.т.н., профессор ПГУТИ

Рекомендуемые издания 2013 года по тематике журнала



Philip Wilkinson

Great Design.

The world's best design explored & explained.

Dorling Kindersley, London, 2013. - 256 p.

Featuring DK's signature lush, visual style, *Great Design* provides a fascinating overview of the dynamic history of design from the 1860s onwards. It traces the development of modern design from all corners of the world, including product design, furniture, graphics, industrial design, and textiles.

With more than 100 of the best designs explored and explained, from Bauhaus posters and bubble chairs to the Citroën DS and the iPad, *Great Design* is a stunning visual guide to the icons of modern design.

Including profiles of influential designers, workshops, and movements, as well as highlighting the key characteristic elements, reading *Great Design* is like being taken on a tour of a design museum with a personal guide who points out what to look at, deciphers key points of style, and helps you understand what design is and how it works.



Новиков А.С.

Философия научного поиска

М.: ЛИБРОКОМ, 2013. - 336 с

Книга доктора философских наук А.С. Новикова посвящена анализу научного поиска. Этапы поисково-исследовательской активности, структура проблем, функции научного поиска, процессуальность и результативность поисковых устремлений, типы, структура, генезис научных открытий, вопросы приоритета, научный поиск в контексте функциональной асимметрии мозга - вот основной комплекс вопросов, рассматриваемый автором на основе обширного историко-научного материала.

Для методологов науки и тех, кто интересуется проблемами научного творчества.



Осипов Г.С.

Лекции по искусственному интеллекту.

М.: ЛИБРОКОМ, 2013. - 272 с.

В основе книги лежат лекции, прочитанные автором в МФТИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана и Российском университете дружбы народов. Рассматриваются методы представления знаний, методы моделирования рассуждений; подробно изложены методы планирования и моделирования целенаправленного поведения. Описаны методы автоматизации приобретения знаний, идеи машинного обучения и реляционно-ситуационный метод анализа текстов. Материал книги излагается с единых позиций, с привлечением

математических средств. Книга может быть использована студентами, аспирантами и специалистами в области прикладной математики, информатики и информационных технологий.



Солодова Е.А.

Новые модели в системе образования: Синергетический подход.

М.: ЛИБРОКОМ, 2013. - 344 с.

В последние десятилетия идеи синергетики завладели не только умами физиков и математиков, где они, собственно, и зародились, но и умами педагогов. Именно педагогика имеет своим предметом область канонически синергетическую, для исследования которой методы теории самоорганизации могут оказаться чрезвычайно плодотворными. В книге обсуждаются базовые синергетические модели различных иерархических уровней, позволяющие сформулировать перспективы развития системы

образования в России. Книга предназначена преподавателям вузов, аспирантам, исследующих педагогические проблемы, а также математикам, занимающимся проблемами моделирования социальных систем.

Индекс 29151

ЮБИЛЕЙНЫЙ ВЫПУСК

Созданный сообществом ученых России, Украины, Белоруссии, Казахстана и др. стран журнал «Онтология проектирования» отмечает свой первый юбилей - выпуск 10-го номера. Поздравляем всех причастных к этому событию!



*Онтологи и проектанты всех стран и предметных областей,
присоединяйтесь!*



Издательство «Новая техника»
443010, Самара, ул. Фрунзе, 145