

# Оценка и мониторинг процессов в социотехнических системах и связанные с ними задачи

Рыжов А. П.

В работе представлены основные проблемы разработки систем оценки и мониторинга процессов в социотехнических системах. Рассмотрены связанные с ними задачи и технологии. Приведены примеры их решения. Затронуты перспективные направления персонализации взаимодействия человека с цифровым миром и дополненного интеллекта (augmented intelligence). Статья подготовлена по результатам выступления автора на кафедральном семинаре кафедры Математической теории интеллектуальных систем механико-математического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова «Теория автоматов» под руководством профессора В. Б. Кудрявцева 21 марта 2018 года.

**Ключевые слова:** Социотехнические системы, оценка и мониторинг сложных процессов, нечеткие множества, персонализация.

## 1. Введение

Системы оценки и мониторинга сложных процессов — специализированные человеко-компьютерные интеллектуальные информационные системы, предназначенные для оценки состояния некоторого процесса на базе фрагментарной, ненадежной, возможно недостоверной и противоречивой информации о нем и моделирования возможных сценариев его развития.

Социотехнические системы (СТС) — системы, включающие в себя две взаимодействующие компоненты: техническую и социальную. На языке кибернетики СТС — это система управления развитием организации [1]. Ниже организация нами будет пониматься достаточно широко: не столько как формальная структура, сколько как любая группа людей, взаимодействующая с технической компонентой для решения определен-

ной задачи (например, проектная команда или человек со смартфоном что-то ищущий в интернет).

Моделирование процессов в социотехнических системах отличается от моделирования процессов в физических системах. Три главных отличия представлены в табл. 1.

Физические процессы	Социальные процессы
Есть модели процессов в виде уравнений (например, уравнение теплопроводности)	Есть описания процессов на естественном языке или в виде параметрических зависимостей
Информация о значениях параметров измерима и однозначно интерпретируема (есть приборы)	Информация о значениях параметров доступна в виде оценок (измерительный прибор — человек), оценки одного и того же параметра могут не совпадать.
Повторяемость процессов. Возможно проведение экспериментов (например, для оценки вероятностей)	Уникальность процессов. Провести серию независимых экспериментов невозможно

Таблица 1. Отличия в моделировании физических и социальных процессов

Широкое распространение СТС, связанное с развитием интернета, автоматизации в обучении, медицине и других областях (см., например, [2]–[5]), делает задачу их изучения и анализа актуальной и осмысленной.

## 2. Основные проблемы разработки систем оценки и мониторинга процессов в социотехнических системах

Системы оценки и мониторинга изучаются автором с начала 90-х годов и достаточно широко представлены в научной литературе. В качестве обзорной работы можно порекомендовать [6], детали представлены в [7]. Основными проблемами разработки таких систем являются:

- Проблема 1. Можно ли, учитывая некоторые особенности восприятия человеком объектов реального мира и их описания, сформули-

ровать правило выбора оптимального множества значений признаков, по которым описываются эти объекты? Возможны два критерия оптимальности:

Критерий 1. Под оптимальными понимаются такие множества значений, используя которые человек испытывает минимальную неопределенность при описании объектов.

Критерий 2. Если объект описывается некоторым количеством экспертов, то под оптимальными понимаются такие множества значений, которые обеспечивают минимальную степень рассогласования описаний.

- Проблема 2. Можно ли определить показатели качества поиска информации в нечетких (лингвистических) базах данных и сформулировать правило выбора такого множества лингвистических значений, использование которого обеспечивало бы максимальные показатели качества поиска информации?
- Проблема 3. Можно ли предложить процедуры выбора операторов агрегирования информации в нечетких иерархических динамических системах, минимизирующих противоречивость модели процесса в системах оценки и мониторинга?

Эти проблемы обсуждаются в упомянутых выше работах. Детали представлены в работах [8] (Проблема 1), [9] (Проблема 2) и [10] (Проблема 3). Учитывая доступность перечисленных работ, мы позволим себе не останавливаться на них. Отметим лишь, что системы оценки и мониторинга эффективны, когда нет (нельзя построить) математической модели процесса в виде уравнений, автоматов, и т.п. Разработка таких систем возможна, когда можно построить «семантическую модель» процесса в виде набора понятий и их взаимосвязей, и когда поступает и анализируется реальная информация (возможно обучение или настройка). Возможна разработка оптимальных систем с точки зрения удобства ввода информации аналитиком, согласованности мнений аналитиков, информационного обеспечения ввода информации, и моделирования.

На основе описанных методов разработаны системы оценки и мониторинга процессов создания странами специальных видов технологий и материалов в интересах управления гарантий Международного Агентства по Атомной Энергии [11], риска развития сердечно-сосудистых заболеваний в РФ [12], создания изделий микроэлектроники (оценка технологических стартапов) в интересах компании Cadence Design Systems [13]. Воз-

возможности применения подобных систем в оценке и мониторинге кризисных ситуаций и в стратегическом управлении компаниями описаны в [14] и [15] соответственно. Уникальные аналитические возможности систем оценки и мониторинга обсуждаются в [6] и суммированы на рис. 1. Те-

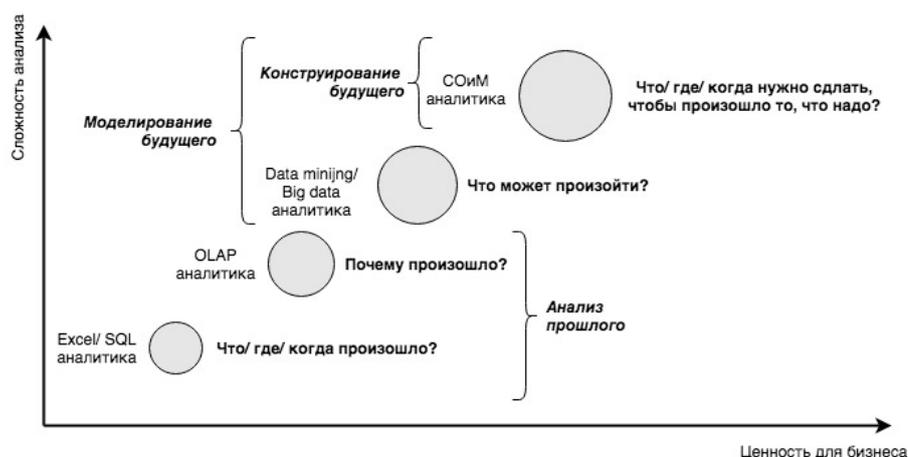


Рис. 1. Эволюция аналитических инструментов.

кущий уровень почти всех компаний – OLAP аналитика; лишь немногие компании используют Big Data аналитику; аналитические инструменты систем оценки и мониторинга используются в единичных международных и правительственных организациях, а также в крупном международном высокотехнологическом бизнесе. Использование аналитических возможностей систем оценки и мониторинга – это естественный эволюционный этап развития аналитических инструментов.

Модели и методы, полученные в ходе решения перечисленных проблем, находят свое применение в ряде приложений, имеющих самостоятельное значение. Описание таких связанных с данными проблемами задач и приложений обсуждалось в докладе и суммировано в разделе 3 настоящей работы.

### 3. Связанные задачи

Для решения проблемы 1 была предложена модель описания человеком объектов как процедура измерения в нечеткой лингвистической шкале. Предложенная мера неопределённости множества шкальных значений

нечёткой лингвистической шкалы позволяет выбирать такой набор значений качественных признаков, в рамках которого возможна оптимизация по критериям 1 и 2 (раздел 2). Это позволяет поставить вопрос о персонализации взаимодействия человека с цифровым миром и сделать такое взаимодействие максимально удобным для всех. Решение этой задачи представлено в [16]. Применение персонализации для социальных сетей описано в [17], для компьютерных обучающих систем — в [18, 19], для систем медицинского мониторинга — в [20], для персонализации новостных лент — в [21]. Подобные дополнения могут сделать более персонализированными (а, следовательно, и более эффективными) любые коммуникации с клиентами, включая рекомендации, рекламные компании и т.п. Соответствующие примеры из розничной торговли, телекоммуникаций, энергетики, банковского и страхового бизнеса были представлены в докладе. К связанным задачам можно отнести и оценку влияния в социальных сетях [22].

Для решения проблемы 2 была предложена модель поиска информации в нечетких базах данных. Введены показатели качества поиска информации и установлена их связь с качеством описания объектов (мерой неопределенности). Эта связь позволила так выбирать множество значений качественных признаков, чтобы обеспечить максимально эффективный поиск информации. Оказалось, что можно ввести качество распознавания нечетко описанных объектов и установить его связь с качеством их описания [23]. Этот факт позволил поставить более общую задачу: как описывать объекты, чтобы обеспечить максимальное качество решения задачи пользователя? Решение этой задачи представлено в [24].

Агрегирование информации в нечетких и дискретных динамических системах (проблема 3) изучено в работах [25, 26], составивших основу кандидатской диссертации. В частности, были получены следующие результаты:

- Для решения задачи выбора операторов агрегирования по экспертным описаниям введена и изучена новая управляющая система – граф нечеткого условия.
- Сформулирована и решена задача устойчивости для иерархических систем в дискретном и нечетком случаях:

– Доказана NP-полнота задачи в общем случае;

- Выделены частные случаи задачи, допускаемые разрешимость за полиномиальное время;
- Получены эффективные алгоритмы выделения этих частных случаев;
- Рассмотрена задача оптимального распределения ресурсов для иерархических систем в различных метриках:
  - Доказана NP-полнота задачи в общем случае;
  - Выделены частные случаи задачи, допускаемые разрешимость за полиномиальное время;
  - Получены эффективные алгоритмы выделения этих частных случаев;
- Для решения последних двух задач введено и изучено новое понятие для ориентированных ациклических графов – вершина-сверхдоминатор.

Для автоматического построения модели процесса нами также использовались методы углубленного анализа данных, которые показали свою эффективность [27]. Часть методов обучения для операторов агрегирования информации хорошо себя проявила в задачах проектирования микроэлектроники [28] и также была защищена как кандидатская диссертация. Общий стек используемых нами технологий в зависимости от наличия данных и/или экспертизы представлен на рис. 2.

В заключение отметим, что в последнее время интерес к подобным человеко-компьютерным системам проявляют университеты [29] и крупные компании такие как Google [30] и IBM [31]. Последние даже вводят новый термин – дополненный интеллект (Augmented Intelligence) – “В IBM мы руководствуемся термином «Дополненный интеллект», а не «Искусственный интеллект». Это критическое различие между системами, которые расширяют и дополняют человеческий опыт, а не те, которые пытаются копировать человеческий интеллект” [31]. В этой терминологии системы оценки и мониторинга и есть дополненный интеллект для широкого класса практически важных задач. Полученные нами результаты позволяют разрабатывать оптимальные по ряду важных критериев системы дополненного интеллекта.

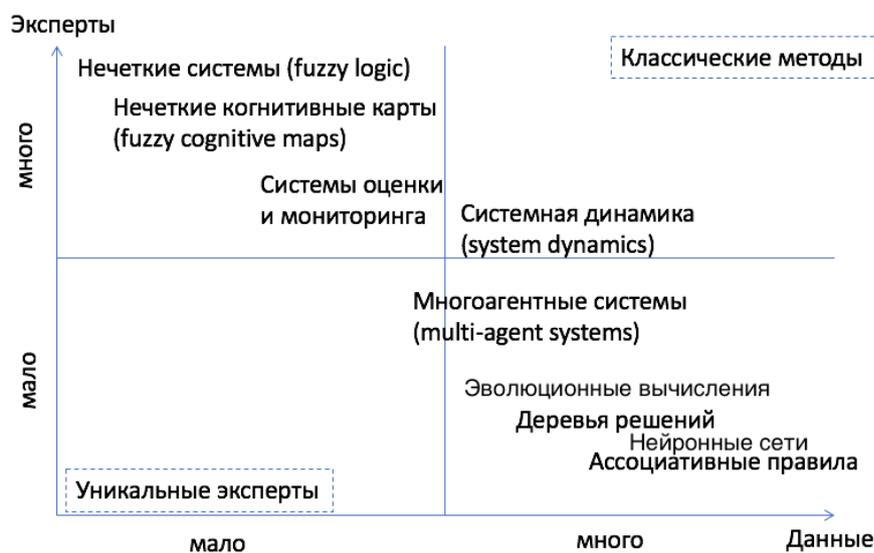


Рис. 2. Стек используемых технологий.

## Список литературы

- [1] Караткевич С.Г., Добрынин В.Н., Окладникова Е.А., Ульянов С.В. Социально-экономическое и интеллектуальное управление в социотехнических системах. — М.: ВНИИгеосистем, 2011 — 398 с.
- [2] James Manyika, Michael Chui, Jacques Bughin, Richard Dobbs, Peter Bisson, Alex Marrs. Disruptive technologies: Advances that will transform life, business, and the global economy. McKinsey Global Institute (MGI), May 2013, 176 p. — [http://www.mckinsey.com/insights/business\\_technology/disruptive\\_technologies](http://www.mckinsey.com/insights/business_technology/disruptive_technologies)
- [3] Eric Mack. There are now more gadgets on Earth than people — <https://www.cnet.com/news/there-are-now-more-gadgets-on-earth-than-people/>
- [4] Мобильных телефонов — больше, чем людей на планете — <http://apps4all.ru/post/10-09-14-mobilnyh-telefonov-bolshe-chem-lyudej-na-planete>

- [5] Количество мобильных телефонов по странам мира. 30-04-2017. — <http://total-rating.ru/1970-kolichestvo-mobilnyh-telefonov-po-stranam-mira.html>
- [6] Рыжов А.П. Математические задачи систем оценки и мониторинга сложных процессов. Обзор постановок и результатов. Интеллектуальные системы. Т. 19, Вып. 1, 2015, с. 5–20.
- [7] Рыжов А.П. Информационный мониторинг сложных процессов: технологические и математические основы. Интеллектуальные системы, Том 11, вып. 1-4, 2008, с. 101–136.
- [8] Рыжов А.П. Элементы теории нечетких множеств и измерения нечеткости. Москва, Диалог-МГУ, 1998, 116 с. — <http://www.intsys.msu.ru/staff/ryzhov/FuzzySetsTheoryApplications.htm>
- [9] Рыжов А.П. Модели поиска информации в нечеткой среде. Москва, Издательство Центра прикладных исследований при механико-математическом факультете МГУ, 2004, 96 с. — <http://www.intsys.msu.ru/staff/ryzhov/FuzzyRetrieval2010.htm>
- [10] Рыжов А.П. Об агрегировании информации в нечетких иерархических системах. Интеллектуальные системы, Том 6, Вып. 1-4, 2001, с. 341–364. — [http://www.intsys.msu.ru/magazine/archive/v6\(1-4\)/ryzhov.pdf](http://www.intsys.msu.ru/magazine/archive/v6(1-4)/ryzhov.pdf)
- [11] Ryjov, A., Belenki, A., Hooper, R., Pouchkarev, V., Fattah, A. and Zadeh, L.A., Development of an Intelligent System for Monitoring and Evaluation of Peaceful Nuclear Activities (DISNA), IAEA, STR-310, Vienna, 1998, 122 p.
- [12] Ахмеджанов Н.М., Жукоцкий А.В., Кудрявцев В.Б., Оганов Р.Г., Расторгуев В.В., Рыжов А.П., Строгалов А.С. Информационный мониторинг в задаче прогнозирования риска развития сердечно-сосудистых заболеваний. Интеллектуальные системы, Т.7, вып. 1-4, 2003, с. 5–38.
- [13] Лебедев А.А., Рыжов А.П. Оценка и мониторинг проектов разработки высокотехнологических изделий микроэлектроники. Известия ГРТУ, Тематический выпуск «Интеллектуальные САПР», ISBN 5-8327-0249-2, 2006, № 8 с. 93–99.

- [14] Ryjov A. Basic principles and foundations of information monitoring systems. In: *Monitoring, Security, and Rescue Techniques in Multi-Agent Systems*. Springer, 2005. ISBN 3-540-23245-1, ISSN 16-15-3871. p.147–160.
- [15] Ryjov A. Information Monitoring Systems as a Tool for Strategic Analysis and Simulation in Business. *International Conference on Fuzzy Sets and Soft Computing in Economics and Finance FSSCEF 2004 Proceedings*, Saint-Petersburg, Russia, June 17-20, 2004, ISBN 968-489-028-1, VOLUME II pp. 511–520.
- [16] Рыжов А.П. Некоторые задачи оптимизации и персонализации социальных сетей. Saarbrucken, LAP, 2015, 88 с. (ISBN: 978-3-659-68661-0)
- [17] Alexander Ryjov. Personalization of Social Networks: Adaptive Semantic Layer Approach. In: *Social Networks: A Framework of Computational Intelligence*. Witold Pedrycz and Shyi-Ming Chen (Eds.). Springer International Publishing Switzerland 2014, pp. 21–40.
- [18] Рыжов А. П., Журавлев А. Д., Вахов А. Н., Кривцов В. В. Об одном подходе к персонализации обучения в рамках компьютерных обучающих систем. *Интеллектуальные Системы. Теория и приложения*. Т. 20, Вып. 3, 2016, с. 180–185.
- [19] A. Ryjov, A. Vakhov, V. Krivtsov, and A. Zhuravlev. Personalization and optimization of learning based on technology for evaluation and monitoring of complex processes: Uchi.ru case study. *The 2016 International Conference on Computational Science & Computational Intelligence*. Ed. by: Hamid R. Arabnia, Leonidas Deligiannidis, and Mary Yang. Las Vegas, Nevada, USA, 15-17 December 2016, pp. 378–381.
- [20] Alexander Ryjov. Disruptive technologies: transforming health care, education, and government. *CIO and Digital Innovation. IAC Online Journal*, N1, 2017, pp. 54–57.
- [21] Рыжов А.П., Новиков П.А. Об одной модели цифровых привычек. *Интеллектуальные Системы Теория и приложения*. Т. 21 Вып. 3, 2017, с. 91–102.

- [22] Рыжов А.П., Ильин И.Ю. Об одной модели влияния в социальных сетях. *Интеллектуальные Системы Теория и приложения*. Т. 21 Вып. 3, 2017, с. 51–66.
- [23] Рыжов А.П. О качестве классификации объектов на основе нечетких правил. *Интеллектуальные системы*, Т.9, вып. 1-4, Москва, МНЦ КИТ, 2005, с. 253 – 264.
- [24] Alexander Ryjov. Towards an optimal task-driven information granulation. In: *Information Granularity, Big Data, and Computational Intelligence*. Witold Pedrycz and Shyi-Ming Chen (Eds.). Springer International Publishing Switzerland 2015, pp. 191–208.
- [25] А.А. Лебедев задачах оптимального распределения ресурсов и проверки устойчивости для схем функциональных элементов в  $k$ -значной логике. *Интеллектуальные Системы Теория и приложения*. Т. 18, выпуск 4, 2014, с. 107–130 — [http://intsysjournal.ru/articles/is04/08\\_lebedev.pdf](http://intsysjournal.ru/articles/is04/08_lebedev.pdf)
- [26] Лебедев А.А. Синтез операторов агрегирования информации по экспертным описаниям. *Интеллектуальные Системы Теория и приложения*. Том 14, выпуск 1-4, 2012, с. 25–48 — [http://www.intsys.msu.ru/magazine/archive/v16\(1-4\)/levedev-025-048.pdf](http://www.intsys.msu.ru/magazine/archive/v16(1-4)/levedev-025-048.pdf)
- [27] Рыжов А.П., Расторгуев В.В. Методы извлечения нечетких ассоциативных правил в системах информационного мониторинга. Труды международных научно-технических конференций «Интеллектуальные системы» и «Интеллектуальные САПР», 3-10 сентября 2006 г., Дивноморское, Россия, Том 1, Москва, Физматлит, 2006, с. 70–81.
- [28] Мелик-Адамян А.Ф., Рыжов А.П. Задача вариации длин транзисторов в стандартной ячейке при многокритериальной оптимизации нанометровых СБИС. Всероссийская научно-техническая конференция «Проблемы разработки перспективных микро- и наноэлектронных систем» МЭС 2010. с. 102–109.
- [29] Human-machine super-intelligence may tackle world's problems. *The economic times./ Science*. Jan 01, 2016 — <https://economictimes.indiatimes.com/news/science/human-mac>

hine-super-intelligence-may-tackle-worlds-problems/article  
show/50404783.cms?intenttarget=no

- [30] Глава Google: дополненный интеллект важнее огня или электричества. Вести/Hi-tech, 22.01.2018 — <https://hitech.vesti.ru/article/748187/>
- [31] Preparing for the Future of Artificial Intelligence. — <http://research.ibm.com/cognitive-computing/ostp/rfi-response.shtml>

**Evaluation and monitoring of processes  
in sociotechnical systems  
and related tasks  
Rylov A. P.**

The paper presents description the main problems of the development of systems evaluation and monitoring of processes in socio-technical systems. The tasks and technologies associated with them are considered, too. Solutions of the problems are discussed. The perspective directions of personalization of human interaction with the digital world and augmented intelligence are considered in the paper. The article is prepared based on the results of the author's speech at the cathedral seminar of the Department of Mathematical Theory of Intelligence Systems of the Faculty of Mechanics and Mathematics of the Lomonosov Moscow State University «Theory of Automata» under the supervision of Professor V.B. Kudryavtsev on March 21, 2018.

*Keywords:* Socio-technical systems, evaluation and monitoring of complex processes, fuzzy sets, personalization.