

Т. Л. КАЧАНОВА, Б. Ф. ФОМИН, О. Б. ФОМИН
Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург

ВНУТРИСИСТЕМНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ОТКРЫТЫХ СИСТЕМАХ

Теория и технологии физики открытых систем (ФОС) охватывают все многообразие состояний систем, исходно заданных эмпирическими описаниями с сотнями и тысячами показателей. Задача ФОС – создать теорию состояний и закономерностей изменчивости любых естественных локаций открытой системы и всей системы в целом на основе знания ее общей онтологии. В докладе представлены результаты исследований базовых моделей двухчастичных внутрисистемных взаимодействий, возникающих в условиях неравновесия и метастабильности. Теория таких взаимодействий – важный раздел теории открытых систем, создаваемой ФОС.

Введение. Физика открытых систем (ФОС) возникла в середине 90-х. Она исследует открытые системы, исходно заданные эмпирическими описаниями, полученными из больших массивов многосортных полимодальных гетерогенных эмпирических данных. В рамках ФОС созданы научные методы и цифровые технологии познания, понимания, оформления и объяснения общей онтологии природных, антропогенных, киберфизических, технических и общественных открытых систем с сотнями и тысячами показателей [1].

Началом ФОС стало решение общей задачи реконструктивного анализа систем [2]–[6]. Это решение привело к преодолению фундаментальной сложности открытых систем и обеспечило познание их общей онтологии. Ключевое значение для становления ФОС имело создание языка систем. Благодаря языку был раскрыт внутренний код общей онтологии систем. Через язык реконструктивный анализ систем получил статус научной теории [7]–[9]. Принципиальную роль в развитии теории ФОС сыграло решение задачи дизайна состояний. Познанная (реконструктивный анализ), научно понятая (язык систем) общая онтология систем стала оформленным теоретическим знанием. Дизайн состояний дал научный ответ на вопрос, «каким образом общая онтология систем связана с ключевыми понятиями действительного мира систем – показателями, состояниями, свойствами показателей, свойствами состояний, изменчивостью показателей, изменчивостью состояний, изменчивостью свойств?» [10]. Шагом большой важности для утверждения теории ФОС стало создание квалитологии онтологического знания. Возникли методы анализа ценности (правильности, полноты, завершенности) онтологического знания. Были получены ресурсы системного знания (информационный, интеллектуальный, когнитивный, технологический) для исследовательской, аналитической и проектной деятельности в сложных предметных областях [11].

В рамках ФОС возникла многомерная знание-центрическая системная аналитика [1]. Онтология систем и ресурсы системного знания были подвергнуты предметной экспертизе и преобразованы в ресурсы решений общесистемных задач. На этой основе возникли научные методы многомерной аналитики для сложных предметных областей (солнечно-земная физика, геномика, безопасность (радиационная, химическая, социальная), экономика, бизнес) [12]–[20].

Созданный арсенал научных методов и цифровых технологий ФОС обеспечил возможность создания и исследования моделей открытых систем в их естественных масштабах и реальной сложности. Такие модели охватывают все многообразие равновесных состояний систем и множественные системообразующие механизмы, формирующие эти состояния в условиях неравновесных ограничений.

Уже в конце 90-х методом реконструктивного анализа были получены базовые модели внутрисистемных взаимодействий в условиях неравновесия, метастабильности и резонансов. Разработка научной теории базовых видов взаимодействий была отложена до построения основ теории равновесных состояний открытых систем. К настоящему времени работа над этой теорией завершена. Созданы необходимые условия для построения теории ФОС, способной раскрыть, понять и объяснить закономерности изменчивости естественных локаций открытой системы и всей системы в целом. Построение такой теории – сверхзадача ФОС. Создание основ этой теории связано с исследованием различных видов моделей внутрисистемных взаимодействий. Доклад посвящен решению этой задачи и обзору полученных результатов.

Закономерности изменчивости открытых систем. Согласно теории ФОС изменчивость открытых систем в условиях неравновесия характеризуют внутрисистемные взаимодействия: два вида базовых взаимодействий; четыре вида 2-двухчастичных взаимодействий; два вида 3-частичных взаимодействий [2], [4], [21]. Реальная изменчивость систем проявлена многочисленными взаимодействиями, представляющими собой всевозможные слияния различных видов, типов, форм, вариантов и способов реализации внутрисистемных взаимодействий. Результаты исследований 2-частичных взаимодействий даны общим обзором. Актуализацию выводов теории 2-частичных взаимодействий иллюстрирует пример из проекта «Социальная напряженность в округах и регионах Российской Федерации». Инновационную ценность сообщаемых результатов иллюстрирует проект «DAP OSEESO» Международной программы «EcoCleanOcean».

Взаимодействие по модели «Подобие» (модель SIM (англ. – similarity)). Есть три типа модели подобия. Два типа – взаимодействие по подобию, третий тип – взаимодействие по псевдоподобию. Первый тип взаимодействия по подобию имеет четыре формы, две из них отвечают подобию «Синхрония» (смысловое тождество участников взаимодействия), две другие – подобию «Асинхрония» (смысловое различие участников взаимодействия). Для второго типа модели подобия характерно отсутствие системных механизмов, детерминирующих совместную изменчивость центров порядка локаций системы. Такой тип модели устанавливает факт сходства частных аспектов системообразующих механизмов собственных качеств системы, участвующих во взаимодействии. Третий тип взаимодействия описывается моделью псевдоподобия, ее участники – псевдосинглеты. Во взаимодействие по псевдоподобию вовлечен третий участник. Центр порядка этого участника входит в среду проявления модели псевдоподобия. Функция каждого псевдосинглета определяется способами и вариантами включения модели псевдоподобия в локацию третьего участника. Взаимодействие порождает локальные системные механизмы, влияющие: на центры порядка участников по обратной связи; на псевдоособые величины участников модели; на деструкцию факторов третьего участника [22], [23]. На базе модели SIM при определенных условиях возникает 3-частичное взаимодействие по модели присоединения (модель ADD (англ. – addition)), проявляющее один из возможных системных механизмов блокировки [24].

Взаимодействие по модели «Переключение» (модель SWI (англ. – switching)). Теорией ФОС установлены три типа взаимодействия по переключению. Каждый тип имеет три формы проявления – Y, N, B [24]. Для первого типа характерны: предельно полная слитность участников взаимодействия (Y); неполная слитность участников взаимодействия (N); режим перестройки без переключения и с сохранением памяти о состояниях участников (B). Модель переключения первого типа выявляет характерное свойство центров порядка модели, проявляющееся в способности одного из них «скачком» изменять уровень своего значения при неизменном уровне значения другого центра. При втором типе взаимодействия по подобию его проявления определяются условиями «соприкосновения» участников. Теория взаимодействия третьего типа утверждает: вершины псевдобаз наделены особой смысловой активностью, играют роль локальных (глобальных) параметров системы; уровни значений псевдоособых вершин детерминирует совместная изменчивость вершин псевдобаз; среда проявления модели формирует механизм детерминации, реализуемый по модели первого типа; модели первого и третьего типов имеют согласованную совместную изменчивость всех величин; главным механизмом модели первого и третьего типов является переход от формы Y к форме N (и обратно) с сохранением (ослаблением) свойства слитности участников. В модели первого типа условия перехода определяют глобальные механизмы системы. В модели третьего типа условия перехода задают глобальные механизмы системы и параметры локального действия.

Другие 2-частичные взаимодействия. Внутрисистемные 2-частичные взаимодействия по модели «Разделение» (модель SEP (англ. – separation)) имеют четыре типа: YY – эталонный тип взаимодействия (проявляется в 2-х формах, 4 вариантах); OS, OO, BB – не эталонные типы. Каждый тип имеет 2 формы, каждая форма типа проявляется в 4-х, 2-х и 6-и вариантах соответственно. Структура модели SEP двойственна по отношению к дублетной структуре модели SWI. Частным случаем модели SEP является квазидублет ABS (англ. – absorption), характерной особенностью которого является активное участие центров порядка в формировании равнове-

ных состояний естественных локаций системы. Участники такой модели не равноправны, их взаимодействие – направленное, нацелено на «поглощение» одного участника другим.

Модель «Деление» (*модель DIV (англ. – division)*) является производной из модели SEP, имеет двойственную структуру и 4 типа: YY – эталонный тип; OS, OO, BB – не эталонные типы. Каждый тип проявляется в 2-х типичных и 2-х не типичных формах, каждая форма имеет 2 варианта. Все формы и варианты модели DIV вместе с формами и вариантами модели SEP определяют весь спектр механизмов внутрисистемных взаимодействий, устанавливающих детерминацию уровней значений показателей состояния системы на особых шкалах, локализацию экстремумов величин, неустойчивость значений, готовность к значительному изменению уровней значений.

Взаимодействия по модели «Смешение» (*модель MIX (англ. – mixture)*) имеют 2 формы, каждая из которых определяет один эталонный тип (собственное качество системы заблокировано) и четыре не эталонных типа. Не эталонный тип В имеет 2 формы и 12 вариантов (разрушение локаций системы); не эталонный тип S имеет 2 формы и 4 варианта (механизм сходства, аналогичный модели взаимодействия по подобию); не эталонный тип D имеет 2 формы и 4 варианта (взаимосвязь центров порядка системы по принципу сходства изменчивости величин); не эталонный тип O имеет 2 формы и 16 вариантов (отношение предпочтения между двумя конкретными системными механизмами). Двойственность структуры для модели MIX не типична.

Пример актуализации. В рамках проекта «Социальная напряженность в округах и регионах РФ» для каждого региона России актуализированы все виды, типы, формы, варианты и способы проявления внутрисистемных 2-частичных взаимодействий [25], [26]. Результаты актуализации взаимодействий в социальной системе региона «Санкт-Петербург»:

- модели SIM – 149 (первого типа – 38, второго типа – 22, третьего типа – 89);
- модели SWI – 57 (первого типа – 23, второго типа – 2, третьего типа – 32);
- модели SEP – 34 (двойные – 18 (вариант 1–3, вариант 2–4, вариант 3–6, вариант 4–5)); модели ABS – 20 (8 образуют пару с SEP);
- модели DIV – 31 (двойные – 24 (вариант 1–0, вариант 2–1, вариант 3–3, вариант 4–1, вариант 5–0, вариант 6 – 0, вариант 7 – 3, вариант 8 – 4), одинарные – 7 (вариант 1 – 0, вариант 2 – 0, вариант 3–1, вариант 4–3, вариант 5–1, вариант 6–0, вариант 7–2, вариант 8–0)), варианты 1, 2, 5, 6 (нетипичные) встречаются редко, структура модели для этих вариантов обычно 1-частичная;
- модели MIX – 19 ((вариант 1–6, вариант 2–1, вариант 3–9, вариант 4–3), двойные – 1).

Все актуализированные взаимодействия научно поняты и получили рациональное объяснение.

Инновационная ценность и прикладная значимость. Проект «DAP OSEESO» (*Digital Analysis Platform “Ontology, State, Evolution of Ocean Ecosystems”*) международной программы “Eco-CleanOcean” реализуется на базе ФОС. Цель проекта – создать цифровую аналитическую платформу, способную обеспечить познание океана в широком смысле, стать важным инструментом комплексных междисциплинарных научных исследований экосистем мирового океана. Задачи «DAP OSEESO»: автоматическое производство из больших массивов эмпирических данных научно-достоверного знания об онтологии, состояниях и изменчивости экосистем океана; создание и эксплуатация проактивной многопрофильной полиморфной многомерной знание-центрической аналитики экосистем; автоматическая генерация «умных моделей», «цифровых двойников» и «цифровых сервисов с искусственным интеллектом» [27].

Заключение. Объекты ФОС – открытые системы в их естественных масштабах и реальной сложности, заданные эмпирическими описаниями. Предмет ФОС – преодоление сложности открытых систем и познание их онтологии, создание теории открытых систем на основе онтологического знания, построение многомерной знание-центрической аналитики для системных исследований в сложных предметных областях, построение на основе знания «умных моделей», «цифровых двойников» и «цифровых сервисов с искусственным интеллектом». Прикладная цель ФОС – полная автоматизация системных исследований на базе программного комплекса платформенного уровня с искусственным интеллектом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kachanova T., Fomin B., Fomin O. Generating scientifically proven knowledge about ontology of open systems. Multidimensional knowledge-centric system analytics // *Ontology in Information Science, InTech, Rijeka*. 2018, pp. 169-204.
2. Качанова Т., Фомин Б. Основания системологии феноменального. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 1999. 180 с.

3. Качанова Т., Фомин Б. Метатехнология системных реконструкций. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2002. 336 с.
4. Качанова Т., Фомин Б. Технология системных реконструкций. СПб.: Политехника. 2003. 146 с
5. Kachanova T., Fomin B. Physics of open systems: Generation of system knowledge // J. Systemics, Cybernetics and Informatics. 2013. 11(2), pp. 73-82.
6. Kachanova T., Fomin B. Cognition of ontology of Open Systems // Procedia Computer Science Journal. 2017. 103, pp. 339-346.
7. Качанова Т., Фомин Б. Введение в язык систем. СПб.: Наука. 2009. 340 с.
8. Агеев В.О., Качанова Т.Л., Фомин Б. Ф., Фомин О.Б. Язык открытых систем и экспертиза системного знания // Труды VIII Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» (SICPRO'09). М.: ИПУ РАН, 2009. С. 144-190.
9. Fomin B.F., Turalchuk K.A., Kachanova T.L., Fomin O.B. Scientific understanding of ontological knowledge about open systems that is automatically mined from big data// Proceedings of the 33rd International Business Information Management Association Conference, IBIMA 2019, Granada 10-11 apr. 2019. Education Excellence and Innovation Management through Vision 2020. pp. 8870-8876.
10. Качанова Т., Фомин Б. Методы и технологии генерации системного знания. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2012. 132 с.
11. Качанова Т., Фомин Б. Квалитология системного знания. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2014. 132 с.
12. Fomin B., Kachanova T., Khodachenko M., Belisheva N., Lammer H., Hanslmeier A., Biernat H., Rucker H. Global system reconstructions of the models of solar activity and related geospheric and biospheric effect // Proc. of 39th ESLAB Symposium "Trends in Space Science and Cosmic Vision 2020". Noordwijk. 2006, pp. 73-82.
13. Ageev V., Fomin B., Fomin O., Kachanova T., Chen C., Spassova M., Kopylev L.: Physics of open systems: A new approach to use genomics data in risk assessment // The Continuum of Health Risk Assessments. InTech. 2012, pp. 135-160.
14. Ageev V., Kachanova T., Kopylev L., Spassova M., Fomin B., Fomin O., Chen W. Physics of Open Systems: Effects of the Impact of Chemical Stressors on Differential Gene Expression // Cybernetics and Systems Analysis. 2014. V. 50, Issue 2, March, pp. 218-227.
15. Агеев В.О., Арасланов А.В., Качанова Т.Л., Туральчук К.А., Фомин Б.Ф., Фомин О.Б. Генерация системного знания по проблемам социальной напряженности в регионах России //НТВ СПбГПУ, № 2-1, (147) 2012. С. 300-308.
16. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Системная онтология классов // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», № 7, 2015. С. 25-36.
17. Kachanova T.L., Turalchuk K.A., Fomin B.F. Class Reconstruction in the Space of Natural System Classification // XIII International Symposium Intelligent Systems 2018 (INTELS'18), October 22-24, 2018, Saint Petersburg, Russia. Procedia Computer Science, Volume 150, 2019, P. 140-146.
18. Качанова Т.Л. Естественная классификация острых отравлений фосфорорганическими веществами / Т.Л. Качанова, К.А. Туральчук, Б.Ф. Фомин и др. // Известия СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. Т. 8. С. 8-17.
19. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Системные эффекты многофакторных воздействий в открытых системах// Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», № 1, 2017. С. 28-38. // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», № 7, 2015. С. 25-36.
20. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Применение метода определения типологии системных эффектов многофакторных воздействий // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ», № 2, 2017. С. 19-29.
21. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Симметрии, взаимодействия в локальностях, компоненты поведения сложных систем/Издательско-полиграфический центр СПбГЭТУ. СПб. 1998. 126 с. (Препринт №2).
22. Fomin B.F., Kachanova T.L., Fomin O.B., Turalchuk K.A., "Intrasystem Interactions Based on the Model of Similarity". 2019 III International Conference on Control in Technical Systems (CTS), 30 Oct.-1 Nov. 2019, St. Petersburg, Russia. IEEE, 2020. P. 125-129.
23. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Внутрисистемные взаимодействия по модели «подобия» (теория) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 7. С. 70-79.
24. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Внутрисистемные взаимодействия по модели «переключения» (теория) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2020. № 6. (в печати).
25. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Внутрисистемные взаимодействия по модели «подобия» (актуализация) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2019. № 7. С. 18-31.
26. Качанова Т.Л., Фомин Б.Ф. Внутрисистемные взаимодействия по модели «переключения» (актуализация) // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2020. № 7. (в печати).
27. Fomin B.F., Kachanova T.L., Fomin O.B. Digital Twins of Open Systems. In: Arseniev D., Overmeyer L., Kälviäinen H., Katalinić B. (eds) Cyber-Physical Systems and Control. CPS&C 2019. St. Petersburg, Russia, 10-12 June 2019. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 95. Springer, Cham. 2019. pp. 305-314.

T.L. Kachanova, B.F. Fomin, O.B. Fomin (Saint Petersburg Electrotechnical University "LETI")
Intrasystem Interactions in Open Systems

Theory and technologies of physics of open systems (POS) cover all variety of states of the systems, initially defined by their empirical descriptions that include hundreds and thousands of variables. POS's task is to create a theory of states and variability regularities for any natural locations of open system as well as the system as a whole on the basis of knowing its general ontology. This report provides results of studying the basic models of two-particle intrasystem interactions that arise when non-equilibrium and metastability take place. Such interactions' theory is an important section of open systems' theory being created by POS.