

УДК 519.7+681.51

Т. Л. Качанова, Б. Ф. Фомин, О. Б. Фомин, В. О. Агеев  
Санкт-Петербургский государственный электротехнический  
университет «ЛЭТИ» им. В. И. Ульянова (Ленина)

## Научное понимание онтологии открытых систем

*Физика открытых систем преодолела сложность природных, антропогенных, общественных, технических и киберфизических систем с сотнями и тысячами показателей, заданных большими массивами полимодальных гетерогенных эмпирических данных, и решила проблему познания общей онтологии систем на основе реконструктивного анализа их эмпирических описаний. Этап научного понимания следует за этапом познания общей онтологии системы. Физика открытых систем создала язык систем. На его основе удалось раскрыть и понять внутренний код символизированного знания об общей онтологии системы, полученного в результате реконструктивного анализа ее эмпирического контекста. Благодаря языку метод реконструктивного анализа приобрел статус научной теории. Общая онтология систем стала доступна для научного понимания. Язык систем организовал и формализовал системное мышление, усилил междисциплинарное взаимодействие, привел к технологиям научного понимания онтологии систем и анализа ценности онтологического знания, полученного из эмпирических данных. Понятие смыслы систем стали одинаково доступны специалистам разных отраслей знания.*

### Физика открытых систем, производство знания, большие данные, технология системных реконструкций, язык систем, онтология систем

**Новое направление физики открытых систем (ФОС).** Научное понимание сущности сложности открытых систем и рациональное объяснение глубокой взаимосвязи сложности с законами природы исследует ФОС [1]. Открытые системы в ФОС – математические динамические модели непрерывного или дискретного времени. Открытость систем в ФОС – принцип, сложность системы – сложность движения, творческие активы – физика и математика, предмет – общие идеи теории сложности неравновесных термодинамических систем.

*Организованная сложность систем эмпирических данных* исследована в рамках проекта General Systems Problem Solver (GSPS) [2]. Системы в GSPS – «другое измерение реальности». Их сложность – результат взаимодействия исследователя с объектом при определении и описании исходной системы ограниченным числом измеримых характеристик. Определение исходной системы без данных, системы с данными, конкретной и общей систем – основной вопрос эм-

пирического исследования. Предмет проекта – определение параметрически инвариантных свойств, выбор порождающих систем различных типов и эпистемологических уровней, выявление категорий системных задач и методологических средств их автоматического решения.

В середине 90-х возникло новое направление физики открытых систем, в рамках которого идет становление киберфизической парадигмы системологии, нацеленной на исследование природных, общественных, антропогенных и сложных распределенных технических открытых систем в их естественных масштабах и реальной сложности, исходно заданных большими данными [3], [4]. В рамках этого направления удалось преодолеть сложность открытых систем и предложить адекватный аппарат научного познания, понимания и рационального объяснения феномена открытых систем. Методы ФОС воплотились в информационные и когнитивные технологии: извлечения достоверного онтологического знания об

открытых системах из больших полимодальных гетерогенных эмпирических данных; научного понимания и рационального объяснения онтологического знания; анализа ценности (правильности, полноты, завершенности) онтологического знания [5], [6]. На этой основе возникла многомерная знание-центрическая аналитика открытых систем с сотнями и тысячами показателей, действующая автоматически без обращения к экспертному знанию, субъективному анализу и интерпретациям [7].

**Реконструктивный анализ открытых систем.** Появление нового направления ФОС обусловлено решением общей задачи реконструктивного анализа открытых систем по их эмпирическим описаниям. Это решение положило начало новому подходу к извлечению из больших данных научно-достоверного знания об общей онтологии открытых систем. Идея и концепция реконструктивного анализа, обоснование модели *познания* онтологии открытых систем и воплощение этой модели в научном методе познания опубликованы в статье [8]. Метод реконструктивного анализа представил систему *во всех ее собственных качествах*, выявил *полные семейства моделей внутрисистемных взаимодействий*, образующих единое целое из всего множества собственных качеств системы. Полученное этим методом онтологическое знание воспринимается как *символ*, несет в себе отвлеченный чистый смысл системы-в-себе, представляет систему в целом через смысловые отношения, способные передать вовне все характерные внутрисистемные закономерности.

Метод реконструктивного анализа преодолел барьер сложности открытых систем и обеспечил возможность извлечения научно-достоверного знания об онтологии открытых систем из больших полимодальных массивов гетерогенных эмпирических данных с сотнями и тысячами переменных [9]–[15]. Методологической базой реконструктивного анализа являются: логически завершенная система понятий, раскрывающих смысл системогенеза; принципы ФОС; аксиомы систем; симметрии систем; модель познания открытых систем. На их основе порождаются: смысловые образующие системы; полное реконструктивное семейство системных моделей (СМ); семейства моделей взаимодействия (МВ). Смысловые образующие системы представлены *семействами формальных конструкторов с характерными симметриями форм системной организации*. Каждая СМ есть:

- глубинный структурный инвариант открытой системы;
- часть единого целого системы и все ее целое в условиях этой части;
- многоместное отношение с фиксированной структурой и морфологией, с главной осевой симметрией и центром порядка;
- уникальная особенность системы, абстрактная форма выражения какого-то одного ее собственного качества.

Семейства МВ суть 0-, 1-, 2-, 3-мерные симплексы с характерными симметриями, раскрывающие механизмы системогенеза. Метод реконструктивного анализа раскрывает многокачественность (сложность) системы, представляет ее *во всех собственных качествах*, выявляет полные семейства МВ, образующие единое целое из всего множества собственных качеств системы (СКС).

**Познание онтологии систем.** Образом технологии познания онтологии системы является ее ТехноКуб (рис. 1). Первое измерение ТехноКуба задает представления системы в целом, в частях, в элементах. Второе измерение определяет предметы познания (показатели, структуры отношений, состояния). Третье измерение раскрывает шаги познания (схема, тип, образ).

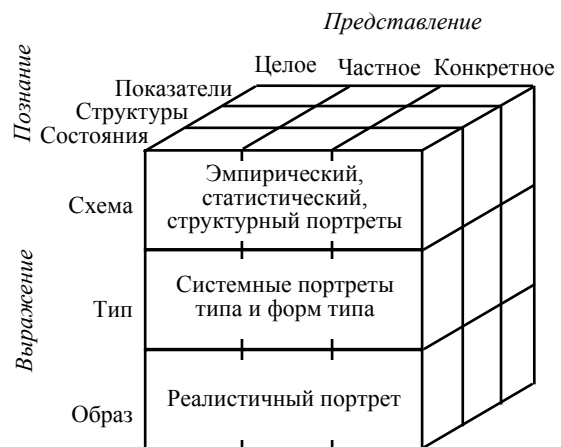


Рис. 1

Пространство ТехноКуба наполняют элементы онтологического знания, для которых установлены 6 нормативных форматов представления (портреты системы). Портреты систем содержат общее онтологическое знание о системе. Полученное знание воспринимается как *символ* (знание-в-себе). Иерархическая схема представляет это знание, выраженное через элементы символических форм (табл. 1). Первый уровень схемы выделяет главные выражающие моменты смыслов системы: *конститутивный* (законченный

общий вид системы в целом); *композиционный* (реконструкция целой системы из ее частей); *конструктивный* (элементарные смысловые образующие системы). Второй уровень задает форматы выражения сущности системы: *схема* (целое из частей); *тип* (качественное заполнение схемной формы); *образ* (идеальная качественная определенность системы). На третьем уровне выражение символических форм сущности системы представлено в категориях: *показатели* (внешняя символическая форма); *структуры отношений* (внешневнутренняя символическая форма, в которой внутренние смыслы системы получили непосредственное выражение в элементах онтологического знания); *состояния* (внутренняя символическая форма, прямо представляющая сущность системы).

**Язык систем.** В рамках ФОС был создан язык систем [16]. На его основе удалось раскрыть и понять внутренний код символизированного знания об общей онтологии системы, полученного реконструктивным анализом. Благодаря языку систем метод реконструктивного анализа приобрел статус научной теории. Общая онтология систем стала доступна для научного понимания. Понятые смыслы систем стали одинаково

доступны специалистам разных отраслей знания. Язык систем формализовал и организовал системное мышление, усилил междисциплинарное взаимодействие, привел к научному пониманию онтологии открытых систем и анализу ценности онтологического знания, полученного из эмпирических данных [17], [18].

**Метод понимания: переход к понятию знанию.** Образом технологии понимания онтологии системы как вещи-в-себе служит технокуб (рис. 2).

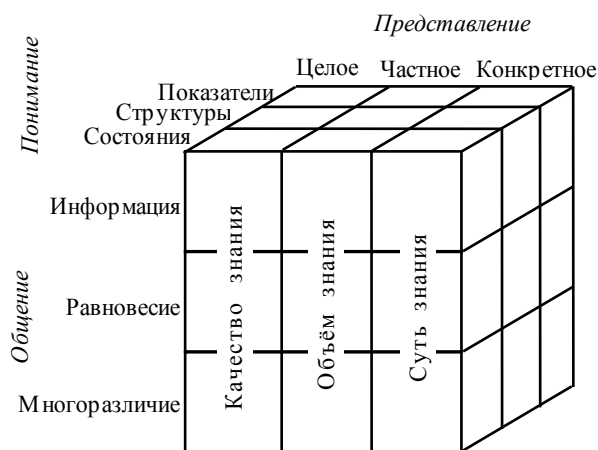


Рис. 2

Таблица 1

Уровень категории «Представление»	Уровни категории «Выражение»	Уровни категории «Познание»	Элементы символических форм
Целое	Схема	Показатели Структуры Состояния	Показатели Парные связи Таблица «Объект–свойство»
	Тип	Показатели Структуры Состояния	Синглеты Объединяющие структуры Компоненты поведения
	Образ	Показатели Структуры Состояния	Расслоенные графы Локальности Реалистические синглеты
Часть	Схема	Показатели Структуры Состояния	Показатели Парные связи Локальности
	Тип	Показатели Структуры Состояния	Показатели Объединяющие структуры Локальности
	Образ	Показатели Структуры Состояния	Кластеры объектов Приведенные треугольники Реалистичные макеты
Конкретное	Схема	Показатели Структуры Состояния	Факторы локальности Объединяющая структура Предметные описания
	Тип	Показатели Структуры Состояния	Факторы локальности Локальность Модели взаимодействия
	Образ	Показатели Структуры Состояния	Факторы эталонных моделей Компонент поведения Эталоны системы

Переход от символа к слову в процессе понимания определяется логикой отношений между координатами, категориями координат, сечениями и объектами техно-куба понимания онтологии. Процесс понимания осуществляется по категориям координаты «Представление», задающей темы понимания: всех смыслов целого («Качество знания»); всех смыслов целого, воссозданного из частей («Объем знания»); смыслов всех элементов онтологического знания («Суть знания»). Каждая тема содержит 3 рубрики. Все рубрики устроены одинаково. Каждая из них занимает область, заданную парой категорий, одна из которых принадлежит координате «Представление», другая – координате «Общение». Любая рубрика является полностью завершенной частью темы, отражающей определенный уровень понимания смысла системы, на котором этот смысл развернут по категориям координаты «Понимание». Каждое слово в составе рубрики является полностью завершенной частью соответствующей темы и уникальным объектом понимания. Этапы процесса понимания в пределах каждой темы разворачиваются по координате «Общение». Градации этой координаты выделяют в онтологии системы группы символических образов, выражающие со-

ответственно: *место* (символы, полагающие для себя границы выраженных в них смыслов; понимание символов сводится к освоению информационного аспекта их смысловых объемов); *организацию* (символы, утверждающие для себя равновесные структуры смысловых объемов); *заполненность* (символы, осознающие для себя свои смысловые объемы во всех их дифференциациях).

Логической схемой перехода от символа к слову служит иерархическая схема (табл. 2).

Онтологическое знание выражено иерархической схемой (см. табл. 1). Расшифровку символического кода онтологии системы осуществляет язык систем. Знание как символ переходит в понятое знание, выраженное словами языка (табл. 2). Совокупность слов языка обеспечивает полное понимание системы как фундаментальной категории.

В каждом слове система присутствует в каком-то одном определенном смысловом аспекте и воспринимается как идеальное понятие. Процесс понимания иллюстрирует рис. 3, а. Каждое слово выражено через 3 понятия, которые, в свою очередь, развернуты в триадах качеств понятий (рис. 3, б).

Качества определены в их содержании и оценках. Слова, понятия и качества понятий выражают базовые свойства системы, через которые

Таблица 2

Уровни категории «Представление»		Уровни категории «Общение»		Уровни категории «Понимание»	Слова языка систем
Градация	Тема	Градация	Рубрика		
Целое	Качество знания	Информация	Полнота проявления	Показатели Структуры Состояния	Представительность Коррелятивность Осуществленность
		Равновесие	Раскрываемость смыслов	Показатели Структуры Состояния	Системная обусловленность Выраженность смыслов Координированная раздельность
		Многоразличие	Завершенность выражения	Показатели Структуры Состояния	Многовидность изменчивости Завершенность устройства Опознание состояний
Часть	Объем знания	Информация	Детальность описания	Показатели Структуры Состояния	Представительность типичного и особенного Выражение внутрисистемных корреляций Акцентирование существенного
		Равновесие	Образность существенного	Показатели Структуры Состояния	Обособление существенного Контрастность выражения Фокусы существенного
		Многоразличие	Действительность существенного	Показатели Структуры Состояния	Предметные роли Области изменчивости Опознание эталонов
Конкретное	Сущность знания	Информация	Единство целого	Показатели Структуры Состояния	Системная различимость Оформленность Формулы механизмов
		Равновесие	Свойства целого	Показатели Структуры Состояния	Предпочтения Однородность Формулы взаимодействия
		Многоразличие	Формы изменчивости	Показатели Структуры Состояния	Нагруженность Системная определенность Предметная определенность

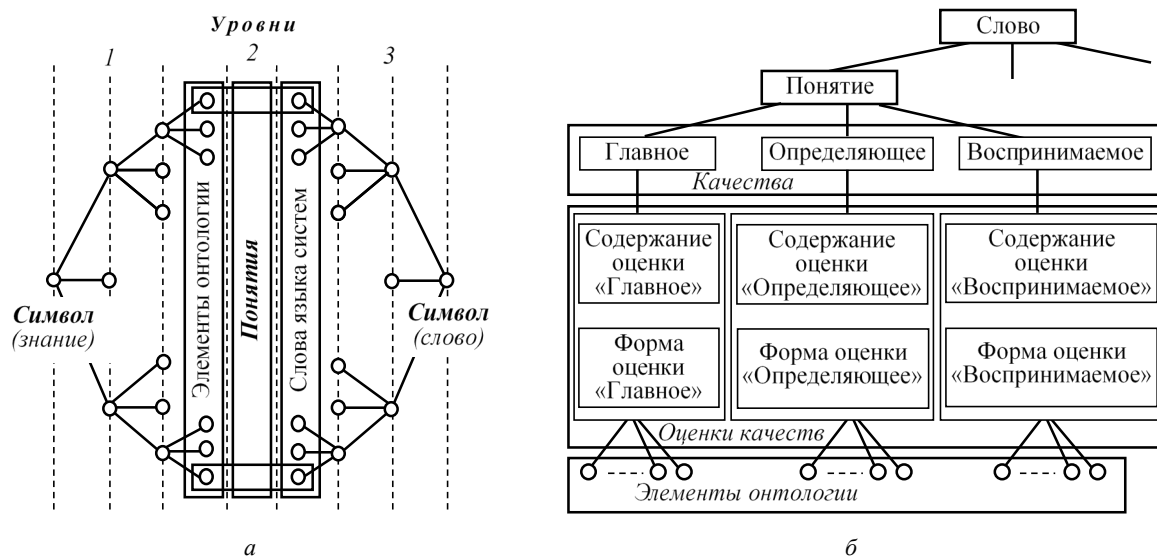


Рис. 3

Таблица 3

Градация категории «Общение»	Градация категории «Представление»		
	Целое	Часть	Конкретное
Информация	Феномен системы в данных	Проявление феномена системы в частях и в отношениях	Смысловая схема системы
Равновесие	Модусы и формы существования системы	Смысловое оформление модусов и форм существования системы	Единство целого, оформленное в смысловых элементах
Многоразличие	Макет раскрытых системных смыслов	Носители эталонных форм	Эталоны форм существования системы

достигается научное понимание ее онтологии. Базовые свойства системы взаимосвязаны. Их отношения характеризуют пространство научного понимания онтологии.

Язык систем раскрывает конкретные смыслы этих отношений через 27 слов, 81 понятие и 243 качества понятий. При означивании слов разрешается диспозиция между теоретической системой (язык) и феноменом конкретной системы. Процесс понимания обеспечивает определение свойств любых систем на базе онтологического знания, извлекаемого из данных.

**Метод понимания: модель.** Модель научного понимания онтологического знания фиксирует и определяет результаты процесса понимания в понятиях, развернутых по категориям «Представление» и «Общение» (табл. 3).

Процесс понимания осуществляется: по категории «Общение» в направлении от градации «Информация» к градации «Многоразличие»; по категории «Представление» – в направлении от градации «Целое» к градации «Конкретное». Понятие модели «Феномен системы в данных» фиксирует факт полного проявления состояний системы в реальном мире. Понятие «Проявление феномена системы в частях и в отношениях»

отражает множественность аспектов, характеризующих изменчивость и коррелятивность системы. Понятие «Смысловая схема системы» представляет смысловые элементы форм существования системного организма как целого в условиях части. Понятие «Модусы и формы существования системы» раскрывают мир системы в его существенном и несущественном, выраженном и невыраженном, обусловленном и необусловленном. Понятие «Смысловое оформление модусов и форм существования системы» выделяет конститутивные смысловые признаки системы, определяет контрастность и сложность системы во всех ее композиционных формах. Понятие «Единство целого, оформленное в смысловых элементах», создает полный рельефный облик системы. Система раскрывается как целое в условиях части через отношения всех ее смысловых элементов. Понятие «Макет раскрытых системных смыслов» фиксирует их полноту, завершенность, объяснимость фактами эмпирического опыта. Понятие «Носители эталонных форм» определяет реализуемость этих форм состояний системы в наблюдаемой действительности. Понятие «Эталоны форм существования системы» символически выражает каждую область пространства СКС.

**Метод понимания: двойной путь.** Двойной путь устанавливает связь двух миров системы – мира наблюдаемой действительности и мира системных смыслов (рис. 4).



Рис. 4

Восхождение от символического образа системы к пониманию ее системного смысла в целом осуществляется с позиций оценивания форм представления системы через эмпирический факт и СМ. Нисхождение от понятого смысла системы в целом к системе в ее эмпирической реальности обеспечивает развертывание системного смысла через формирование образов *идеалов, эталонов состояний* системы и их *носителей*. Информация об эмпирической реальности системы позволяет оценить, насколько символизированное знание, данное в категориях «Показатели» и «Структуры отношений», проявляет смыслы системы. Идея равновесия породила СМ (СКС). Каждая СМ является конкретной символической формой представления этой идеи (понятие «Тип»). Возникает задача оценивания степени выражения через такую форму представления уникального содержания конкретной качественной определенности системы. В свою очередь, все СМ и каждая модель в отдельности несут в себе идею равновесия, свойственного конкретной системе. Идея равновесия требует своего внешнего оформления и оценивания совершенства этой формы (полнота и завершенность). Понятие «Многообразие» выражает сложность системы как множественности: ее качественных определенностей; смысловых моментов каждого собственного качества; эталонов состояния СКС; эмпирических образов эталонов.

Процесс нисхождения от смысла к факту включает 3 этапа: исследование конкретного типа системы с целью квалиметрии его модельной формы; представление каждого качества системы в виде его стереотипов поведения и эталонных состояний СКС; отображение эталонных состояний СКС на реальные объекты – носители эталонных состояний.

**Технология понимания: объекты технологии.** Технология понимания общей онтологии системы оперирует вычислимыми объектами, построенными на основе понятий модели и двойного пути метода понимания. В качестве таких объектов выступают слова и понятия языка систем. В лингвистическом пространстве системы слова и понятия взаимосвязаны. Их связь отображают дифференциальные семантические признаки (семи), устанавливающие отношения соответствия между отдельными лексическими единицами. Слова и понятия языка систем выступают компонентами семантических полей. Каждое поле объединяет одним общим смыслом определенную совокупность слов и понятий языка.

Понятию «Информация» модели понимания отвечает объект «Гетерогенность данных» технологии понимания. Через него оценивается полнота проявления и детальность описания системы в ее эмпирическом образе. Сложность системы отображается в неоднородности эмпирического факта. Гетерогенность данных выражают слова и понятия языка систем, характеризующие разнообразие форм изменчивости и масштабы корреляций показателей, противоречивость отношений между показателями, меры согласованности противоречивых структур отношений. Понятию «Равновесие» модели отвечает объект «Оформленная сложность системы» технологии понимания. Через него оценивается степень раскрытия и выражения смыслов внутрисистемных механизмов, детерминирующих СКС. Базой оценивания служат слова и понятия языка систем, характеризующие инвариантные ядра моделей, их разнообразие, подвижность, смысловую активность, самопротиворечивость. Понятию «Равновесие» отвечает объект «Базовый образец СМ». Он служит образом локальности системы, в который интегрированы лучшие свойства моделей СКС. Понятию «Уникальность», развивающему понятие «Многообразие» на первом этапе нисхождения от смысла к факту, отвечает объект «Понятый тип». Он представляет результаты исследования конкретной области пространства качеств системы с позиций оценки законченности оформления этой области и однородности ее смыслового содержания. Понятию «Идеал», развивающему понятие «Многообразие» на втором этапе нисхождения от смысла к факту, соответствует объект «Эталонны поведения и состояния». Через него утверждаются предельные смысловые формы каждого СКС. Эти формы несут в себе потенциал вопло-

щения СКС как определенного свойства его актуальных состояний. Понятию «*Воплощение*», развивающему понятие «*Многоразличие*» на третьем этапе нисхождения от смысла к факту, отвечает объект «*Смысловые фигуры факта*». Этот объект переносит акцент со смысла на факт, в котором этот смысл осуществился.

**Технология понимания: функциональность технологии.** Технология понимания оценивает полноту и завершенность трех форм представления системы (система в данных, система в отношениях, система в собственных качествах) и порождает форму представления системы в эталонах состояния СКС. Функциональное описание технологии представлено на рис. 5, где 1 – восхождение от факта к смыслу (понимание); 2 – нисхождение от смысла к факту (верификация эталонных состояний); 3 – переход к объяснению.

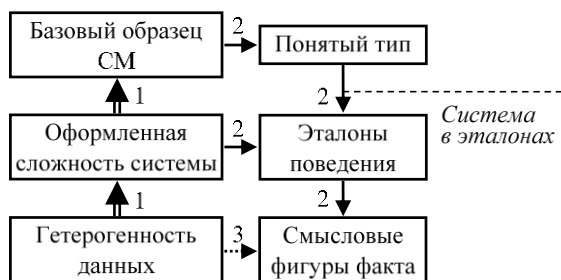


Рис. 5

На первой ступени восхождения от факта к смыслу процесс понимания связан с оценкой степени проявления системы как неоднородной сущности через многообразие изменчивости показателей, а также через масштаб и характер их корреляций. Каждый показатель и связанная с ним полная структура бинарных отношений воспринимаются в аспекте их способности проявлять системные смыслы. На второй ступени восхождения от факта к смыслу процесс понимания нацелен на экспертизу завершенности устройства моделей СКС. На этой ступени формируется понимание полноты и законченности выражения сложности системы в формальных образах и раскрывается системная предназначенность каждого показателя в плане его участия в сложной организации системы как единого целого. Путь восхождения завершается пониманием качества данных, структур отношений, СМ и построением идеального образца СМ.

Путь нисхождения имеет своей главной целью понимание каждой СМ как абстрактного образа СКС, способного воплотиться в эмпирическом факте. На первой ступени нисхождения от

смысла к факту осуществляется понимание формального представления каждого собственного качества. Оценки слов, выражающих категорию «*Показатели*», являются базой для создания предельно концентрированного образа системы в конкретном ее качестве. Оценки слов, раскрывающих категорию «*СМ*», служат квалиметрическими оценками конкретной СМ. Слова, представляющие категорию «*Состояния и механизмы поведения*», выражают в форме предикатов элементы устройства моделей системообразующих механизмов отдельно взятой локальности системы. На второй ступени нисхождения от смысла к факту для каждой СМ порождаются модели стереотипов поведения и эталонных состояний СКС. Каждое СКС выражается в формах, способных перейти на эмпирический факт, и представляется в образе приведенного треугольника и в форме эталонных моделей поведения и состояний.

На третьей ступени нисхождения от смысла к факту устанавливается связь между областями пространства качеств системы и соответствующими областями признакового пространства, которому принадлежат объекты реальности – носители эталонных форм СКС, наполняющие содержанием категорию «*Кластеры объектов*».

**Технология понимания: математическое обеспечение.** Вычислимые объекты технологии представляют результаты процесса понимания гетерогенной сущности системы. Каждый объект имеет свой набор атрибутов. Для построения объектов и вычисления их атрибутов применяется *собственный теоретический аппарат ФОС*, дополненный элементами теории измерений, математической статистики, теории графов, квалиметрии, теории множеств, теории оценивания, визуализации. Методы теории измерений, математической статистики, теории графов и квалиметрии обеспечивают вычисление оценок качеств понятий на базе элементов онтологического знания. Теория множеств и теория оценивания применяются для получения понятий и слов, характеризующих качество полученного знания. Компьютерная графика обеспечивает представление означенных слов и понятий языка систем в табличных и графических формах.

**Технология понимания: шкалы измерения.** Объекты технологии познания онтологии систем определены в признаковом и в смысловом пространствах системы. Технология понимания работает с этими объектами, создает свои объекты и

помещает их в лингвистическое пространство системы. Для представления элементов лингвистического пространства технология понимания использует специально разработанные шкалы: шкалы измерения оценок качеств понятий, шкалу уровней, шкалу числовых форм уровня. Технология оперирует с 243 качествами понятий. Качество каждого понятия характеризуется 1–3 оценками. Каждая оценка имеет свою шкалу измерения (номинальную, порядковую, интервальную, отношений, абсолютную). Уровни значений показателя в моделях эталонных состояний заданы на номинальной шкале, 2 пункта которой введены теоретически для всех показателей: высокий уровень (High), низкий уровень (Low). Количественная шкала уровня значений показателя строится по специальной схеме отдельно для High и Low.

#### Технология понимания: шаблоны отчетов.

В процессе понимания слова языка систем получают свой формат представления. Нормативными форматами слов являются: отношения порядка на множествах элементов знания (показателей, структур отношений, системных моделей); количественные оценки на шкале [0; 1]; предикатные формы; фреймовые структуры. Понятое знание представляется двумерной таблицей (табл. 4).

Каждый элемент таблицы отвечает одной определенной рубрике пространства понимания (см. рис. 1). Смысл элементов выражают 3 слова технокуба, заданные координатой «Понимание». Каждая тройка таких слов обеспечивает восприятие системы как целого в ее конкретном смысловом аспекте. На базе девяти смысловых аспектов, представленных в табл. 4, порождаются 6 объектов технологии понимания:

– объект «Гетерогенность данных» порождают смысловые аспекты «Факт в общих атрибутах величин» и «Нормированный и эталонированный факт»;

– объект «Оформленная сложность системы» порождают смысловые аспекты «Сложность целого» и «Все целое»;

– объект «Базовый образец СМ» порождается смысловым аспектом «Идеал»;

– объект «Понятый тип» порождают смысловые аспекты «Реконструкция системного типа» и «Качество локальности»;

– объект «Эталоны поведения и состояний» порождается смысловым аспектом «Формализм поведения и состояний»;

– объект «Смысловые носители» выражается через смысловой аспект «Носители системных смыслов».

Слова «Формулы механизмов», «Формулы взаимодействия», «Предметная определенность» (см. табл. 2) не отображаются в шаблонах отчетов технологии понимания. Эти слова служат базой для построения когнитивного ресурса знания. Слова «Акцентирование существенного», «Обособление существенного», «Фокусы существенного» (см. табл. 2) также не отображаются в шаблонах отчетов технологии понимания, поскольку они используются для построения ресурсов решения системных проблем, генерируемых технологиями конструктивного компонента ФОС.

Через указанные объекты оцениваются качество эмпирических данных и качество полученного системного знания, а также обеспечивается понимание всех качественных определенностей системы. Шаблоны отчетов о результатах системной экспертизы структурированы в двух разделах – «Полнота знания» и «Суть знания». Первый раздел описывает 3 объекта технологии понимания, возникающие на этапах восхождения от факта к смыслу, и содержит оценки качества данных и качества знания (см. рис. 4). Второй раздел раскрывает содержание трех объектов технологии, порождаемых на этапах нисхождения от смысла к факту (см. рис. 4). Эти объекты передают внутренние смыслы уникальных качественных единичностей системы. Раздел «Суть знания» состоит из однотипных подразделов «Аспект знания», каждый из которых включает в себя системное знание об одной отдельно взятой локальности системы.

Таблица 4

Общение	Представление		
	Целое	Часть–целое	Часть–часть
Факт	Факт в общих атрибутах величин	Нормированный и эталонированный факт	Реконструкция системного типа
Смысл	Сложность целого	Идеал	Качество локальности
Синтез смысла и факта	Все целое	Носители системных смыслов	Формализм поведения и состояний



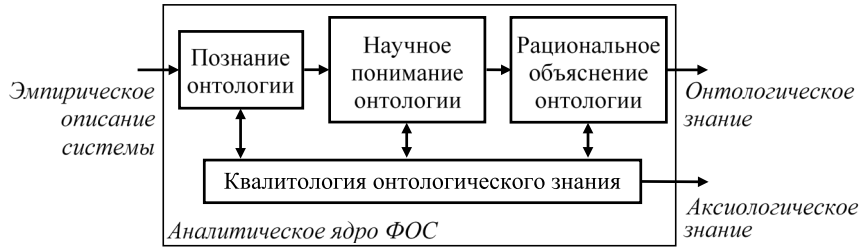


Рис. 6

В процессе понимания общей онтологии открытой системы фигурируют 3 вида чистого системного знания: системный факт; базовое знание; выводимое знание. *Системный факт* представляет смысл, закрепленный в основных положениях и свойствах, образующих в совокупности базовое знание. *Базовое знание* утверждает смыслы целого, частей целого, целого в его частях и элементах. Базовое знание устойчиво и носит общий характер. В нем содержится все устройство пространства качеств открытой системы. *Выводимое знание* возникает при применении базового знания для его полного выражения относительно конкретных приложений. Полнота и завершенность выводимого знания служат гарантией достоверного отождествления системного и предметного смыслов. Выводимое знание сохраняет общность базового знания, но имеет форму, максимально приближенную к конкретному индивидуальному факту. На основе выводимого знания получают свое объяснение не только общие, но и характерные частные особенности эмпирического факта.

Процесс понимания выражает онтологическое знание в полном и завершенном виде. Степень понимания определяется достигнутым балансом между смыслом и фактом. При балансе системный факт полностью переходит в понятый системный смысл. Сущность системы как смысл и факт как смысл тождественны. Они различны по факту. Понимание онтологии системы не может завершить синтез в аспекте факта. Понимание онтологии завершает смысловой аспект синтеза.

Этап научного понимания следует за этапом познания общей онтологии системы. Производство онтологического знания завершается этапом рационального объяснения научно понятой онтологии системы. Методы и технологии познания, научного понимания и рационального объяснения – трехэтапный цикл производства онтологического знания [10]. Главными признаками законченного онтологического знания являются: истинность, предметность, определенность, конкретность, логическая доказательность, проверяемость, теоретическая и эмпирическая обоснованность, применимость.

Оценка ценности онтологического знания обеспечивается методом и технологией квалитологии знания [17]. На их основе определяются: ценность каждого формата представления системы; должные значения, идеалы и нормы форматов представления системы; ценность знания как отношение к установленным нормам и идеалам. В результате исследования ценности онтологического знания возникает *аксиологическое знание*. Завершенное онтологическое знание о системах как «человекоразмерных» объектах предполагает включение аксиологического знания в состав объяснительных положений (рис. 6).

Методы и технологии производства завершенного знания об онтологии открытых систем из эмпирических описаний систем в их естественных масштабах и реальной сложности реализованы в Аналитическом ядре Технологической платформы ФОС (ТП ФОС) [7].

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Климонтович Ю. Л. Введение в физику открытых систем. М.: Янус-К, 2002.
2. Klir G. J. Architecture of Systems Problem Solving. New York: Plenum Press, 1985.
3. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Основания системологии феноменального. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 1999.
4. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Метатехнология системных реконструкций. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002.
5. Fomin B. F., Kachanova T. L. Physics of Systems is a postcybernetic paradigm of systemology // WMSCI 2010 – the 14<sup>th</sup> World Multi-Conf. on Systemics, Cybernetics and Informatics, Proc. 2010, Orlando, Florida, USA, 2010. P. 244–249.

6. Fomin B. F., Kachanova T. L. Physics of Open Systems: Generation of System Knowledge // J. of Systemics, Cybernetics and Informatics. 2013. Vol. 11, № 2. P. 73–82.
7. Fomin B. F., Kachanova T. L., Fomin O. B. Generating scientifically proven knowledge about ontology of open systems. Multidimensional knowledge-centric system analytics // Ontology in Information Science, InTech, Chapter 8 in the Book / ed. by Ciza Thomas. Croatia, Zagreb, 2018. P. 169–204.
8. Fomin B. F., Kachanova T. L. Cognition of ontology of Open Systems. Procedia Computer Science // J. Elsevier B. V. 2017. № 103. P. 339–346.
9. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Технология системных реконструкций. Сер.: Проблемы инновационного развития. СПб.: Политехника, 2003. Вып. 2. 146 с.
10. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Методы и технологии генерации системного знания. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2012.
11. Physics of open systems: A new approach to use genomics data in risk assessment / V. Ageev, B. Fomin, O. Fomin et al.; ed. by Michael G. Tyshenko // The Continuum of Health Risk Assessments, InTech, Chapter 7 in the Book. Rijeka, Croatia, 2012. P. 135–160.
12. Physics of Open Systems: Effects of the Impact of Chemical Stressors on Differential Gene Expression / V. Ageev, T. Kachanova, L. Kopylev et al. // J. Cybernetics and Systems Analysis. 2014. Vol. 50, № 2. P. 218–227.
13. Global system reconstructions of the models of solar activity and related geospheric and biospheric effects / B. F. Fomin, T. L. Kachanova, M. L. Khodachenko et al. // Proc. of 39<sup>th</sup> ESLAB Symposium: Trends in Space Science and Cosmic Vision 2020, ESTEC, Noordwijk, 2005. P. 381–384.
14. Генерация системного знания по проблемам социальной напряженности в регионах России / В. О. Агеев, А. В. Арасланов, Т. Л. Качанова, К. А. Туральчук, Б. Ф. Фомин, О. Б. Фомин // Науч.-техн. ведомости СПбГПУ. Наука и образование. 2012. Vol. 147, № 2–1. С. 300–308.
15. Естественная классификация острых отравлений фосфорорганическими веществами / В. О. Агеев, Т. Л. Качанова, Б. Ф. Фомин, К. А. Туральчук // Изв. СПбГЭТУ «ЛЭТИ». 2015. № 8. С. 8–17.
16. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Введение в язык систем. СПб.: Наука, 2009.
17. Качанова Т. Л., Фомин Б. Ф. Квалитология системного знания. СПб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014.
18. Язык открытых систем и экспертиза системного знания / В. О. Агеев, Т. Л. Качанова, Б. Ф. Фомин, О. Б. Фомин // Тр. VIII Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» (SICPRO'09). М.: ИПУ РАН, 2009. С. 144–190.

---

T. L. Kachanova, B. F. Fomin, O. B. Fomin, V. O. Ageev  
*Saint Petersburg Electrotechnical University*

## SCIENTIFIC UNDERSTANDING OF ONTOLOGY OF OPEN SYSTEMS

*Physics of open systems (POS) has overcome the complexity inherent in natural, anthropogenic, social, technical, and cyber-physical systems with hundreds and thousands of variables given through large amount of multimodal heterogeneous empirical data, and, has solved the problem of how to cognize general ontology of systems on the basis of reconstructive analysis of their empirical descriptions. Phase where cognition of general ontology occurs is followed by stage of scientific understanding. POS has created systems language. An «inner code» of symbolized knowledge about system's general ontology (knowledge that has been obtained as a result of reconstructive analysis of system's empirical context) has been revealed and understood on the basis of this language. And, because of the language, method of reconstructive analysis had acquired the status of scientific theory. General ontology of systems has become available for scientific understanding. Systems language has organized and formalized the system thinking, enhanced an interdisciplinary interaction, led to technologies for scientific understanding the systems ontology and analyzing value of ontological knowledge obtained from empirical data. Understood senses of systems have become equally available for professionals in different branches of knowledge.*

**Physics of open systems, knowledge generation, big data, technology of system reconstruction, systems language, systems ontology**

---