

ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ФОРМАЛИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ: ОНТОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 004.89

Научная статья

DOI: 10.18287/2223-9537-2022-12-4-430-453



Жизненный цикл: смысловая матрица процессного моделирования

© 2022, И.А. Суров

Университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

Аннотация

Ускорение социально-технологической динамики увеличивает число и сложность задач процессного моделирования. Освоение соответствующих навыков мышления становится массовой необходимостью. В статье представлен метод схематизации процессов, позволяющий систематизировать такое мышление на основе *жизненного цикла*. Любой процесс представляется последовательностью этапов *восприятие, анализ, проектирование, действие, согласование и оценка*. Эта последовательность формализована в виде круговой траектории на фазовой плоскости, декартовыми осями которой являются факторы *сила* и *активность* классической семантики. В результате схема получает простое математическое выражение и сопрягается со стандартными методами семантических измерений. Экспериментально представленная структура выявлена в векторной модели английского языка *word2vec*, что дополнительно связывает её с алгоритмами машинного обучения и искусственного интеллекта. Разработанная модель представляет собой общую онтологию процессов в Природе, используемую в естественном мышлении как стереотип построения причинно-следственных моделей событий. Полученный результат открывает возможности для развития методов процессного и причинно-смыслового моделирования в научно-технических и повседневных целях.

Ключевые слова: процесс, прогнозирование, причинность, смысл, онтология, субъектность.

Цитирование: Суров И.А. Жизненный цикл: смысловая матрица процессного моделирования // Онтология проектирования. 2022. Т.12, №4(46). С.430-453. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-430-453.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 20-71-00136).

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Введение

Проектирование и управление сложными техническими, социальными, информационными системами является важнейшим вызовом современности [1]. Необходимой частью этой практики является процессное моделирование, позволяющее предвидеть собственное развитие таких систем, а также их отклик на внешние воздействия. В недавнем прошлом результаты такого моделирования могли оставаться в силе долгое время, и небольшое число прогнозных задач позволяло обойтись малым количеством специалистов. Современный темп научно-технической и социальной динамики многократно повысил число и сложность таких задач, в результате чего этот подход уже не в состоянии обеспечить нужное качество проектирования и управления. Необходимость в качественном и массовом процессном моделировании требует широкого освоения соответствующих методов.

Классический подход к моделированию процессов основан на методах управления технологическими системами. Такие методы формализованы в виде задач о приведении вектора состояния объекта в целевой диапазон значений с помощью соответствующих воздействий и удержания его там при наличии внешних возмущений [2, 3]. Решения этой задачи делают возможным, например, автоматическое управление самолётами, плотинами, электростанциями, железнодорожными перевозками, городской инфраструктурой и т.д. Однако, когда в устройстве объекта управления существенное место занимают живые организмы, этот подход сталкивается с трудностями. Такие объекты приобретают собственное поведение, прогнозирование которого обычными способами не представляется возможным [4, 5]. Непредсказуемыми становятся и отклики объекта на управляющие воздействия. Зримым результатом такой потери управляемости являются, например, современные экономические кризисы, ставящие под сомнение основы соответствующей науки [6–9].

Описанная проблема следует из различия закономерностей живой и неживой природы, обусловившего давний разлом между гуманитарными и точными науками. Механистическое моделирование живых систем остановлено т.н. барьером сложности, отделяющим живую природу от неживой [10]. Для червя с нервной системой из 302 нейронов [11], например, преодолеть этот барьер к настоящему времени не удалось [12, 13].

В альтернативном подходе к задаче процессного моделирования изначально рассматривается поведение индивида во взаимодействии с внешней средой. Его основой является наблюдение о том, что такое взаимодействие всегда содержит действие и отклик от него. Реализованные имеющимися органами движения и восприятия, эти этапы образуют замкнутый контур, определяющий структуру субъективного мира рассматриваемого индивида [14, 15]. Эта модель оказалась применима ко многим процессам, не описываемым в классическом детерминированном подходе. Она представляет собой, в частности, т.н. *жизненный цикл* (ЖЦ) сложных систем и деятельностей, состоящий из последовательности фаз развития, характерных для живых организмов [16–18]. Функционально аналогичные фазы когнитивного развития человека [19], литературных и киносценариев [20], познания и творчества [21], развития организаций и компаний [22, 23], проектов, продуктов и технологий [24–28], социальных и экологических систем [29, 30] выделяются и обозначаются в соответствии с особенностями конкретной предметной области (ПрО).

Для задач процессного моделирования ЖЦ предпочтителен своей возможностью структурировать названные виды жизнедеятельности в интуитивно простом виде. Недостатками модели является отсутствие подходов к её использованию в целях повседневного прогнозно-поведенческого моделирования, например, для предвидения последствий и оценки целесообразности того или иного решения; кроме того, отсутствуют математическая формализация ЖЦ и методы измерения соответствующих параметров, необходимые для точных технологических применений. В результате, использование ЖЦ ограничено качественным анализом в ряде частных задач, иногда сопровождаемым стрелочно-блочными схемами [31–33]. Исключение составляет модель управления ЖЦ [34], сложная математическая форма которой, однако, затрудняет её повседневное применение.

В настоящей статье представлен вариант решения данной проблемы. В разделе 1 выявлены естественные прототипы ЖЦ, на основе которых установлена его геометрическая модель и когнитивная функция. В разделе 2 описана естественно-языковая дискретизация ЖЦ, пригодная для общего применения. В разделе 3 представлена экспериментальная проверка полученной модели на основе модели машинного естественного языка. В разделе 4 приведено обсуждение причинно-следственной функции ЖЦ, описано его сопряжение с методами и факторами классической семантики, а также рассмотрены свойства построенной таким образом универсальной онтологии процессов в Природе.

1 Когнитивная модель процесса

Общая когнитивная модель процессов должна быть адекватна практикам индивида. В соответствии с принципами воплощённого интеллекта [35, 36] и когнитивного изоморфизма [37, 38] такую модель в мышлении человека следует искать в основных функциях его организма и закономерностях окружающей его среды: сердцебиении, дыхании, смене времён года, дня и ночи, лунных фаз, других природно-физиологических циклах [39]. Общим свойством названных процессов является их периодичность, т.е. образованность повторением некоторой единицы: удара сердца, дыхательного цикла, года, суток и т.д.

1.1 Фазовая траектория

Простейшим периодическим процессом являются гармонические колебания: качели, струны музыкального инструмента, заряда в LC -контуре, многих других физических систем. Все эти процессы, описываемые одним и тем же уравнением одномерного движения, имеют общее графическое представление, показанное на рисунке 1 для пружинного маятника. В состоянии 1 деформация пружины, т.е. координата $x = 0$, тогда как импульс груза направлен

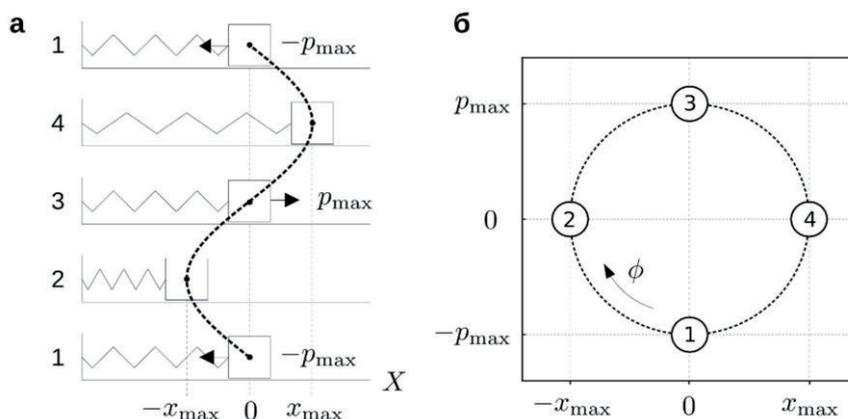


Рисунок 1 - Гармонический маятник как прототип когнитивной модели процесса.

а) колебание пружинного маятника. Показаны последовательные состояния 1-4 с экстремальными значениями импульса p и координаты x . б) соответствующая траектория на фазовой плоскости $x - p$

против горизонтальной оси и имеет значение $-p_{max}$. В состоянии 2 пружина максимально сжата, что соответствует координате $-x_{max}$. Далее груз проходит исходную точку $x = 0$ с положительным импульсом p_{max} (состояние 3), достигает наибольшей деформации x_{max} (состояние 4), после чего возвращается в исходное состояние 1. На *фазовой* плоскости с координатами $x - p$ описанный процесс представляется круговой траекторией, показанной на рисунке 1б. Данная фазовая траектория есть математическая модель одного периода гармонического процесса, представляемого равномерным движением точки по окружности. Физические параметры разнообразных процессов (дыхательное и кровяное давление, скорость соответствующих потоков, суточная и годовая динамика активности и т.д.) могут иметь более сложный ритмический рисунок, переменную амплитуду и темп. Гипотеза данной работы состоит в том, что когнитивная модель элементарного процессного цикла, тем не менее, может быть представлена в виде окружности на фазовой плоскости.

1.2 Когнитивная функция фазовой траектории

Когнитивная функция представленной математической модели следует из функциональной структуры элементарных процессных прототипов, в качестве каковых наиболее удобны

суточные и годовые циклы. Эти процессы характерны геометрическим подобием фазовой траектории, показанной на рисунке 1б. В суточном цикле, например, состояния 1-2-3-4 соответствуют положению Солнца относительно горизонта ночью, утром, днём и вечером. В сезонном цикле аналогичными состояниями являются зима, весна, лето и осень. Это соответствие позволяет установить когнитивную функцию фазовой траектории следующим образом.

В силу периодичности процесса его началом можно сделать любую точку фазовой траектории. Как в суточном, так и в годовом цикле таким началом выбрано состояние 1 – нижняя точка на рисунке 1б: середина зимы близка к дате зимнего солнцестояния, тогда как полночь близка к наинизшей точке Солнца относительно горизонта. В Природе - это время минимальной активности, обусловленной наименьшей температурой и освещённостью, используемое живыми организмами для восстановления, отдыха, бессознательной обработки информации.

Сон заканчивается с наступлением утра. Освещение позволяет оценить состояние среды после ночных изменений, выявить новые проблемы и возможности. Уточняются или ставятся задачи на день и планы работ. Зарядка и завтрак подготавливают систему к работе и доставляют необходимые ресурсы. В растительной природе аналогичные процессы идут по естественным алгоритмам: весной размораживается и прогревается земля, просыпаются растения и живность, распускаются и опыляются цветы, накопленная за зиму вода доставляется в почву, подготавливая её к работе.

День и лето (точка 3 на рисунке 1б) есть периоды наибольшей внешней активности. Намеченные задачи решаются, планы выполняются и корректируются по ходу работ. Получая наибольший поток света и питательных веществ, растения и животные имеют наилучшие условия для созревания плодов и развития потомства.

Наконец, вечер и осень (точка 4) есть время получения результатов. По завершении работ подводятся итоги, намечаются планы на следующий день. Ужин и отдых восполняют затраченные ресурсы. Растения дают урожай, животные накапливают силы для зимовки. Дожди и листопад дают материал для восстановления почвы к следующему сезону.

1.3 Примеры

Описанную функциональную структуру легко проследить во множестве процессов, не связанных с сезонной цикличностью.

1.3.1 Пример 1: разработка самолёта

- «Весной» определяется назначение и желаемые характеристики самолёта, формируется техническое задание, определяются исполнители, планируется работа.
- «Летом» проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, результатом которых является прототип изделия.
- «Осенью» готовится документация и отчётность, проводятся финальные испытания, после которых модель принимается к производству либо отправляется на доработку.
- «Зимой» в ходе эксплуатации самолёта происходит накопление опыта, по результатам которого возможен запуск нового цикла разработки.

Данные этапы соответствуют частям процессного цикла, отмеченным на рисунке 1б цифрами 2-3-4-1. Прохождение этой последовательности частей фазовой траектории можно проследить в процессе создания любой технической системы или продукта [26, 27].

1.3.2 Пример 2: разработка образовательной программы

Процессная структура используется для создания образовательных программ. Временам года при этом соответствуют стороны так называемой «Х-матрицы» [40], отражающие ключевые элементы программы:

- «зима»: вызовы и нужды, удовлетворяющиеся образовательной программой;
- «весна»: задействованные для этого научные результаты и технологии;

- «лето»: образовательные модули, реализуемые в процессе обучения студентов;
- «осень»: достигаемые результаты в виде знаний, умений и навыков.

В большем масштабе то же самое применимо к разработке научных направлений [41].

1.3.3 Пример 3: структура научной статьи

Аналогичное соответствие можно видеть в структуре научной статьи [42, 43]: введение, методы, результаты и обсуждение соответствуют вышеописанной сезонной последовательности начиная с весны.

Эти и многие другие примеры иллюстрируют универсальность представленной процессной структуры, применимой к естественным и искусственным процессам любой природы, в том числе и непериодическим.

2 Дискретизация фазовой траектории

В соответствии с дискретной организацией естественных языков и мышлений [44, 45], работоспособная модель процесса должна представлять его в виде последовательности отдельных этапов, стадий или фаз [16]. В отличие от качественных моделей задача количественного описания предъявляет к такой дискретизации более строгие требования. А именно, этапы процесса должны соответствовать секторам фазовой траектории (рисунок 1б), задаваемым определёнными интервалами угла ϕ . Установление такого соответствия требует более аккуратного подхода к определению состава этапов процесса.

2.1 Двух- и четырёхэтапные модели

2.1.1 Асимметрия четырёхэтапной модели

Рассмотрение суточно-сезонной дискретизации процесса показывает, что из четырёх процессных «сезонов» один явно выделяется по своему содержанию. Весна, лето и осень наполнены работами, направленными на определённый результат: подписанное исполнителем и заказчиком техническое задание, прототип изделия, принятый либо отклонённый результат разработки. Зимой, напротив, никакой конкретный результат не достигается; это период межсезонья, неопределённый по целям и по срокам. Бессистемное накопление опыта в ходе эксплуатации продукта не стоит в одном ряду с остальными тремя этапами процесса. Аналогичная «разбалансировка» имеет место и в структурах годового и суточного циклов. В Природе зима и ночь есть периоды сна, т.е. бессознательного состояния в отсутствие направленной мыслительной или практической деятельности¹. Для искомой модели процесса такая асимметрия нежелательна.

Отмеченные обстоятельства указывают на нетривиальность задачи о нахождении простейшей модели процесса, в которой фазовая траектория элементарного цикла делилась бы на минимальное число разнокачественных, но одинаково необходимых и содержательных этапов. Суточно-сезонная схема указывает на возможность рассмотреть в таком качестве трёхчастную модель утро-день-вечер, полученную в результате устранения из неё наименее содержательного этапа «ночь». Это решение подсказано, в частности, системой времён года в древнем Египте.

¹ В техногенной среде эти особенности естественных циклов менее выражены. В этих условиях времена года и суток выполняют скорее хронометрическую, нежели исходную процессно-смысловую функцию.

2.1.2 Недостаточность двухэтапной модели

Классическим выражением двухэтапной модели процесса является простейший цикл обратной связи [46–48], восходящий к функциональной семиотике Як. фон Иксюля [49].

Как показано на рисунке 2, схема состоит из системы и среды, сообщающихся в обоих направлениях. Действие системы на среду и среды на систему обозначено стрелками «действие» и «ответ», представляющими собой этапы их взаимодействия. Схему легко проиллюстрировать на процессах взаимодействия колеса с дорогой, печки с воздухом в бане, льдины с окружающей водой и т.д.



Рисунок 2 - Двухэтапная модель процесса на основе функционального цикла Як. фон Иксюля

Двухэтапную модель можно использовать и для моделирования взаимодействия с окружением живых организмов. В этом случае система приобретает качество субъектности, отсутствующее у машин и автоматов. Это качество позволяет индивиду оценивать окружение в соответствии с его личными критериями и принимать решения, не predetermined содержанием обратной связи [14]. В этой связи в схему добавляется третий элемент «организм» [50], не имеющий явного отражения на рисунке 2.

2.2 Трёхэтапная модель

Недостаточность двухэтапной и асимметрия четырёхэтапной моделей процесса устраняются в трёхэтапной структуре. Такая модель используется в ряде ПрО, среди которых наиболее значимыми для поставленной задачи являются следующие:

- трёхактная структура «завязка (введение, знакомство) — развитие (конфликт) — разрешение (кульминация)» литературных, театральных и киносюжетов [20, 51, 52], восходящая к учению Аристотеля о драматической композиции;
- цикл «восприятие (sense, perceive) - рассуждение (think, plan, decide) - действие (act)», используемый в кибернетике, робототехнике и искусственном интеллекте как универсальная структура поведения [53, 54];
- фазы «проектирование», «реализация (технология)» и «рефлексия», образующие наиболее грубую структуру сложной деятельности [16, 55];
- последовательность этапов проектирования «анализ (analysis) – творчество (genesis) – синтез (synthesis)» [56].

Данные схемы находятся в простом соответствии с рассмотренными сезонными и суточными моделями процесса (раздел 1.2.1). Так, наиболее активные этапы *развитие, действие, реализация, творчество* соответствуют «лету» и «дню». Предшествующие им *завязка, рассуждение, проектирование* и *анализ* соответствуют «весне» и «утру». Следующие после действия *кульминация* и *синтез* соответствует осени (вечеру), тогда как *восприятие* и *рефлексия* ближе к «зиме» и «ночи».

Для универсальности модели желательно использовать названия этапов, применимые к любым процессам в Природе. В этом отношении кибернетическая и деятельностная терминологии предпочтительнее сюжетной. Кроме того, желательно обеспечить функциональную равновесность этапов, т.е. отсутствие описанной в 2.1.1 асимметрии. Для этого наиболее пассивный кибернетический этап *восприятие* (зима, ночь) необходимо сместить по фазовой траектории в сторону «осени», т.е. в сторону сбора результатов действия и их оценки.



Рисунок 3 - Трёхэтапная модель процесса Анализ – Действие - Оценка, наложенная на сезонную и суточную разметку фазовой траектории

В результате можно ожидать, что симметричная трёхэтапная модель процесса может быть формализована этапами, показанными на рисунке 3:

- 1) *Анализ* или объяснение новой информации, поступившей системе (субъекту) из среды по каналам обратной связи через доступные органы чувств;
- 2) *Действие*, выражающее ответ системы (субъекта) на полученную информацию;
- 3) *Оценка* полученного результата, т.е. достигнутых действием изменений в состоянии целевого объекта (среды).

2.3 Удвоение точности

Для некоторых применений трёхэтапная модель процесса оказывается слишком грубой. Циклы познания и творчества, например, имеют до пяти этапов [21], сценарные структуры — до семи [52], а циклы управления социальными системами — до девяти [57, 58]. В этой связи желательно следующее уточнение модели.

2.3.1 Промежуточные этапы

В трёхэтапном представлении процесса можно заметить разрывы. Действие (этап 2), например, не следует непосредственно за анализом новой информации (этап 1); между ними обычно имеет место постановка субъективных целей по отношению к выявленной новизне, а также разработка планов по их осуществлению². Качественное отличие этой деятельности от этапов 1 и 2 указывает на целесообразность её выделения в отдельный этап процесса *целеполагание и планирование*, который вслед за [16] можно назвать *проектированием*.

Сходным образом описание-оценка результата и его последствий (этап 3) не следует сразу за действием (этап 2). Исполнение первоначального плана обычно ведёт не к конечному результату, а лишь к его черновому варианту. В процессе разработки самолёта (раздел 1.3.1), например, таковым является его первый прототип, который далее доводится до конечного вида на основании результатов испытаний. Эта последняя часть, качественно отличная от этапов 2 и 3, также может быть выделена в отдельный этап процесса, который можно назвать *прогрессом, согласованием, доводкой или подгонкой*.

Наконец, получение новой информации (этап 1) не следует сразу за оценкой конечного результата (этап 3). Формирование отклика среды на это воздействие требует времени, которое со стороны субъекта переживается как упомянутый в разделе 2.1.1 период межсезонья. Этот этап получения и накопления опыта без его систематического анализа можно назвать *наблюдением или восприятием*.

Таким образом, в ходе процесса можно дополнительно выделить три качественно-своеобразных этапа *целеполагание и планирование* (проектирование), *согласование-подгонка* и *наблюдение-восприятие*, расположенные между основными этапами *объяснение-анализ*,

² Эта деятельность имеет место независимо от того, осознаётся она субъектом или нет. В последнем случае цели и планы берутся индивидом из внешних источников в виде готовых информационных блоков и алгоритмов.

исполнение-действие и *апробация-оценка*. Предполагая функциональную равноценность всех шести этапов, они образуют симметричную схему, показанную на рисунке 4. Каждому этапу при этом соответствует 60-градусный сектор фазовой траектории на рисунке 1б.

Подробность полученной модели процесса близка к сценарным и кибернетическим моделям. Это характерное число этапов обусловлено ёмкостью внимания человека, способной удерживать не более 7 ± 2 объектов одновременно [59]. В этой связи шестиступенчатую модель можно считать близкой к оптимальному соотношению точности и сложности. Следующим симметричным увеличением точности является девятиэтапная модель, получаемая трёхэтапной развёрткой каждого из основных этапов процесса. Дальнейшее уточнение модели ведёт к превышению указанного предела, что может быть компенсировано использованием технических средств (например, часов с 12 частями круга и минутной стрелкой).

2.3.2 Переходные состояния

Исполнение-действие переходит в фазу *согласования-подгонки* с появлением первого прототипа или макета конечного результата. Аналогично, другие этапы процесса сопрягаются между собой через промежуточные состояния, одновременно являющиеся конечными точками предыдущих этапов и начальными точками следующих. На рисунке 4 эти состояния обозначены терминами в радиальных направлениях.

Результатом восприятия-наблюдения является фактор, выделенный из фоновой информации как *новость*, заслуживающая внимания. Результатом анализа-объяснения этой новости является *модель* или *понятие*, выраженное в некотором языке: естественном, математическом, программном и др. На основе этой модели возможно управление выявленным фактором, начинающееся с постановки субъективных целей в отношении его. Планирование такого управления завершается созданием *проекта* будущих действий. Осуществление этого проекта заканчивается заготовкой, *прототипом* или *макетом* желаемого результата. В ходе согласования и подгонки макет доводится до конечного состояния или *результата*. Наконец, апробация и оценка полученного результата заканчиваются *заключением* или *выводом*. Таковым может стать, например, изменение стереотипов восприятия, новое качество которых будет основой для наблюдения и восприятия в следующих процессных циклах субъекта.



Рисунок 4 - Шестиступенчатая модель процесса. Основные и промежуточные этапы показаны соответственно чёрным и серым. Промежуточные состояния отмечены терминами в радиальных направлениях

2.4 Симметрии

Полученная шестиступенчатая модель обладает рядом симметрий. Верхняя и нижняя половины рисунка 4 соответствуют двум этапам цикла обратной связи, рассмотренного в разделе 2.1.2, каждый из которых дополнительно разделён на три части. Как и на рисунке 2, эти тройки различаются по направленности: *оценка*, *восприятие* и *анализ* направлены на изме-

нение состояния субъекта, тогда как *проектирование*, *действие* и *согласование* направлены на изменение объекта (среды).

Этап *восприятие* описан в разделе 1.2 под именем «ночь-зима». В составе шестиступенчатой модели он не приводит к асимметрии, рассмотренной в разделе 2.1.1. Благодаря выделению этапов *согласование* и *проектирование*, модель сохраняет троичную симметрию, образованную тремя основными и тремя промежуточными этапами. На рисунке 4 эти тройки отмечены чёрными и серыми секторами, соответственно. Значимость этой фундаментальной симметрии [60] дополнительно показана в разделе 4.

Каждая из трёх пар противоположных этапов обладает своей функциональной общностью. *Восприятие* можно рассматривать как *действие* среды на субъекта. В обоих случаях результатом является новизна внешнего (*новость*) или внутреннего (*прототип*) происхождения. Далее это новшество согласуется с окружением, в которое оно привнесено: расположение новости в когнитивной системе субъекта есть *объяснение* или *анализ*, тогда как адаптация прототипа к реальным условиям внешней среды есть *согласование* или *подгонка*. В обоих случаях результатом такого согласования является готовая к работе *модель*: теоретическая на рисунке 4 слева и практическая справа. В процессах технического конструирования (пример в разделе 1.3.1), модель есть имя готового к массовому выпуску изделия, которое присваивается ему в этой точке. Приложение модели к целям субъекта даёт *проект* последующего действия. Аналогично, соотнесение результата с состоянием и целями среды даёт ему оценку в форме *заключения* или *вывода*: удалось ли субъекту достичь целей, указанных в проекте. Последующие действия субъекта и среды возвращают процесс к исходной точке цикла.

3 Эксперимент

Если представленная модель соответствует действительности, то её признаки должны проявляться в различных аспектах естественного интеллекта. В частности, можно ожидать что структура, показанная на рисунке 4, должна быть отражена в естественном языке как формате мышления человека. Эта гипотеза проверена экспериментально на основе методики семантического анализа естественного языка [61].

3.1 Данные

Исходными данными эксперимента является модель естественного языка *word2vec*, представляющая каждое из порядка 3 млн. английских слов и выражений в виде вектора в 300-мерном пространстве [62]. Это представление³ отражает некоторые смысловые закономерности языковой практики в алгебраическом виде. Например, разница между векторами, представляющими слова «мужчина» (man) и «женщина» (woman) оказывается близкой к разнице между векторами, представляющими слова «дядя» (uncle) и «тётя» (aunt) [63]. Аналогично (там же), $\overrightarrow{\text{Россия}} - \overrightarrow{\text{Москва}} \approx \overrightarrow{\text{Китай}} - \overrightarrow{\text{Пекин}} \approx \overrightarrow{\text{Испания}} - \overrightarrow{\text{Мадрид}}$. В соответствии с заявленной гипотезой можно ожидать, что круговая упорядоченность процессных этапов должна иметь место в данной модели в виде аналогичных векторных соотношений.

3.2 Методика

Наиболее простым подтверждением рассматриваемой гипотезы могло бы стать нахождение в 300-мерном пространстве *word2vec* двумерного подпространства (плоскости), в проек-

³ Полученное как состояние внутреннего слоя нейронной сети, тренированной на задаче угадывания пропущенного слова по его окружению в большом массиве текстов.

ции на которую векторы, представляющие названия этапов процесса, располагались бы в соответствии со схемой на рисунке 4. Данный подход не является наилучшим вследствие многозначности использованных слов; в составе развёрнутого описания этапов их смысл может быть точен, однако вне такого контекста ассоциативная структура любого отдельного слова вносит искажения.

Анализ, например, имеет медицинские ассоциации, не имеющие отношения к структуре процесса; *цель* (*goal*) в английском языке также используется в значении гола в футболе; словом *прогресс* именовано семейство космических кораблей, имеющих весьма опосредованное отношение к делу.

Для компенсации неустранимых шумов такого рода каждый этап процесса, нумеруемый индексом k , описывался набором из 10-20 характерных слов. *Восприятие* ($k = 1$), например, характеризуется $N_1 = 18$ английскими словами *perception, observation, cognition, feedback, feeling, reflection, intuition, introspection, monitoring, sensing* и др., каждое из которых с большей или меньшей точностью можно использовать в качестве названия этапа. Среднее от N_k соответствующих 300-мерных векторов \vec{w}_k^i

$$\vec{W}_k = \frac{1}{N_k} \sum_{i=1}^{N_k} \vec{w}_k^i, \quad k = 1 \dots 6, \quad (1)$$

есть вектор процессно-смыслового прототипа каждого из шести этапов. Наборы слов для всех этапов идентичны использованным в работе [61].

Для нахождения искомой плоскости шесть векторов (1) складываются с фазовыми множителями, соответствующими их теоретическому расположению на рисунке 4:

$$\vec{\Omega} = \sum_{k=1}^6 \vec{W}_k e^{i\Phi_k} = \vec{X} + i\vec{Y}, \quad \Phi_k = 60^\circ * (k - 1). \quad (2)$$

Действительная \vec{X} и мнимая \vec{Y} части этого вектора есть базисные векторы искомой плоскости. Декартовы координаты x, y любого слова из модели *word2vec* на этой плоскости определяются с помощью проекции на неё соответствующего вектора \vec{w} :

$$\mathbf{s} = \vec{w} \cdot \vec{\Omega} = x + iy. \quad (3)$$

Для проверки рассматриваемой гипотезы эта операция применяется к усреднённым векторам прототипов и составляющим их отдельным словам \vec{w}_k^i (1).

3.3 Результат

Результат такой проекции показан на рисунке 5. Согласно схеме цвето-семантического кодирования [64] этапы *наблюдение-восприятие, объяснение-анализ, целеполагание и планирование* (проектирование), *исполнение-действие, согласование-подгонка* и *апробация-оценка* показаны бирюзовым, синим, фиолетовым, красным, жёлтым и зелёным, соответственно. Большими и малыми точками показаны проекции (3) прототипов (1) и соответствующих отдельных слов на найденную процессную плоскость (2). Длина проекций прототипов составляет 0.34 ± 0.01 , их среднее отклонение от теоретических направлений (2) составляет 0.6° . Близость полученной структуры к правильному шестиугольнику подтверждает гипотезу о наличии представленной модели процесса в структуре естественного языка.

Разброс координат отдельных слов вокруг прототипа каждого этапа показан полупрозрачным кругом соответствующего цвета и радиуса. Деление этих радиусов на длины векторов-прототипов даёт угловые разбросы $21.4^\circ, 28.4^\circ, 24.8^\circ, 23.2^\circ, 21.7^\circ$ и 28.4° для шести этапов в их естественном порядке. Из этих значений видно, что угловой размер основных этапов процесса (анализ, действие, оценка) в среднем на 4° больше, чем средний угловой размер остальных этапов, составляющий 22.6° . На рисунке 5 это отличие заметно как

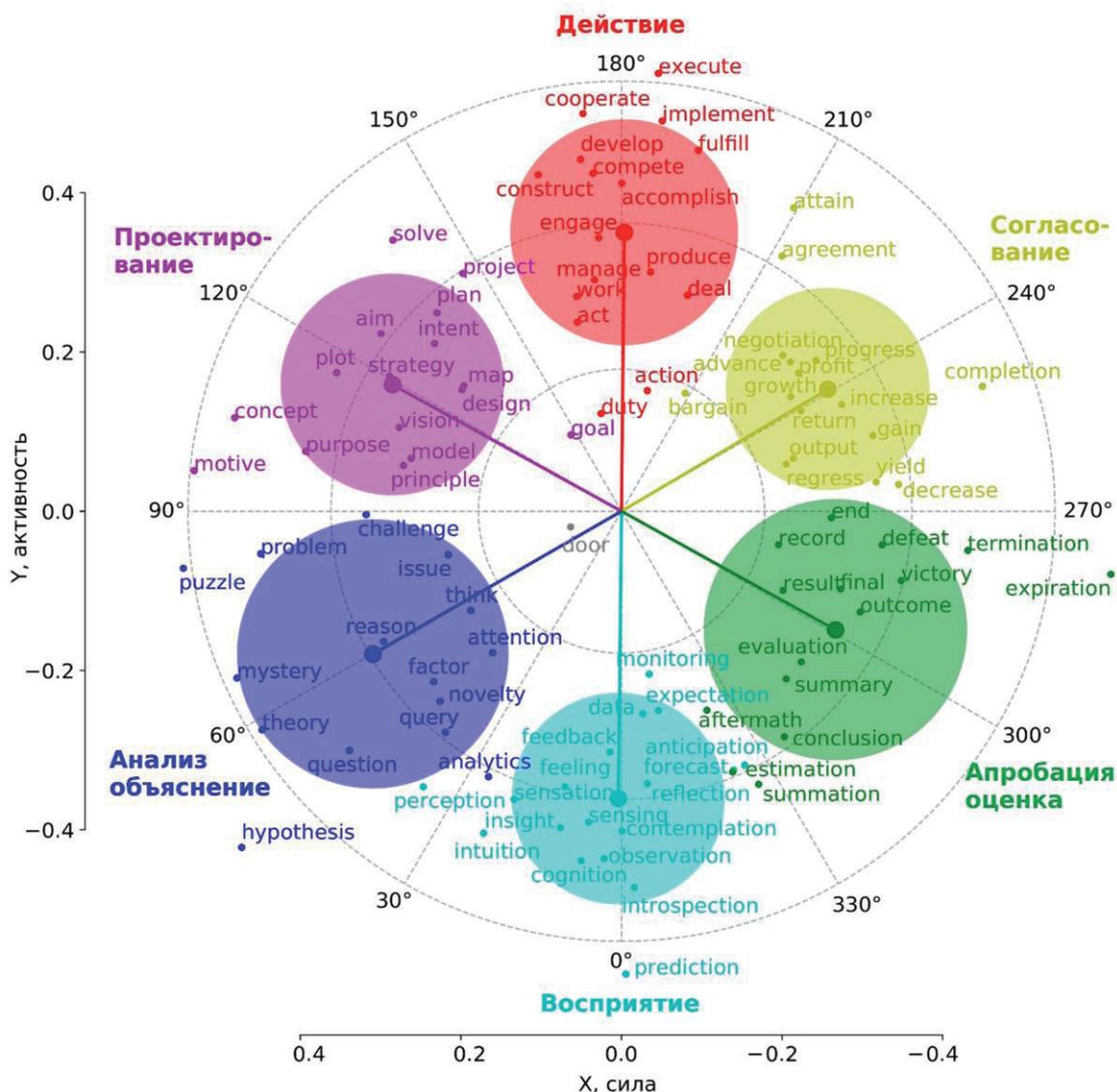


Рисунок 5 - Слова английского языка в проекции на процессно-семантическую плоскость в 300-мерном пространстве языковой модели *word2vec*. Бирюзовый, синий, фиолетовый, красный, жёлтый и зелёный цвета соответствуют этапам процесса, показанным на рисунке 4

большой размер синего, красного, и зелёного кругов по сравнению с остальными. Этот результат указывает на возможную поправку к теоретической модели, согласно которой основные этапы, показанные на рисунке 4 чёрными секторами, могут быть примерно на 10° шире промежуточных этапов, показанных серым.

4 Обсуждение

4.1 Причинно-следственная структура процесса

Строя модель полученной информации, анализ объясняет её происхождение и назначение. По отношению к действию такое объяснение отвечает на вопросы «Почему это действие нужно?» или «Почему это действие произошло?», т.е. выявляет его *причины*. Описание и оценка полученного результата отвечает на вопрос «Зачем это действие (было) нужно?», т.е. выявляет *следствия* рассматриваемого действия. Само же описание действия отвечает на во-

просы «Как ответить на эту новость?» и «Как получить этот результат?». Трёхэтапная структура процесса «Анализ — Действие — Оценка», таким образом, представляет собой ответ на классическую тройку вопросов «как, зачем и почему», геометрически организованный в причинно-следственном порядке⁴. Тройка *причина – действие – следствие* при этом соответствует системе времён *прошлое – настоящее – будущее*, дополнительно подтверждая фундаментальность трёхчастной структуры процесса (см. раздел 2.2).

Процессное и причинно-следственное моделирование, таким образом, есть разные стороны одной и той же деятельности, представляемые в общей геометрической структуре (рисунок 4). В естественном мышлении такое моделирование позволяет индивиду анализировать прошлое, проектировать будущее, управлять поведением и состоянием собственного организма [65–70]. В описанном эксперименте (раздел 3) эта функция реализована в проекции «сырых» 300-мерных векторов на соответствующую плоскость $X-Y$ с последующей классификацией в структуре универсальных причинно-функциональных прототипов (ср. [71]). В терминологии А.Н. Уайтхеда [72] данная процедура представляет собой отображение непосредственно воспринимаемой объективной информации («*presentation immediacy*») в причинно-осмысленный вид («*causal efficacy*»).

4.1.1 Объективность и субъективность

Если посеять хлеб в июле, то до морозов всходы созреть не успеют; сеять надо, когда земля сырая и тёплый сезон впереди; если же весной отдыхать, то урожая не будет; работать и отдыхать лучше в соответствии с физиологическими циклами организма. Подобно этим тривиальным примерам, рассмотренные выше функции времён года и суток обусловлены объективными законами Природы. Знание этих структур в необходимой детальности есть признак квалификации, дающий субъекту шансы на успех в соответствующем деле.

Причинно-следственные последовательности, тем не менее, не предопределены единственно правильными вариантами. Альтернативой приведённому сельскохозяйственному циклу является, например, практика работы с озимыми культурами, предполагающая посев не весной, а осенью. Возможность построения произвольных причинно-следственных моделей, таким образом, необходима для прогресса и развития. Среди огромного числа комбинаторно-возможных перестановок событий нахождение эффективных процессно-причинных структур составляет суть освоения человеком новых практик, знаний и технологий.

Произвол субъекта в построении процессно-причинных моделей реальности имеет важнейшее значение в естественном мышлении. Пренебрежение этим обстоятельством обусловило, в частности, проблемность моделирования сложных систем на основе классической кибернетики [47, 73] и бихевиоризма, в которых объективно-детерминированная схема «стимул-ответ» идентична показанной на рисунке 2. Субъективность представленной модели позволяет использовать её для формализации кибернетики высших порядков и подходов к управлению активными средами [74–76]. Альтернативность процессно-причинного моделирования можно рассмотреть в трёхэтапной модели процесса на следующем примере.

4.1.2 Пример 4: причинно-следственное моделирование

Пусть субъекту С стало известно, что индивид А купил у индивида Б строительную тачку. В каком процессе участвует это событие? Возможно, А задумал ремонт или стройку, для чего и понадобилась тачка. Поэтому он нашёл продавца Б и договорился с ним о покупке, так что теперь он может перевозить землю, щебёнку, песок и другие материалы. Данная причинно-следственная модель событий показана на рисунке ба.

⁴ Популярная тройка «что, где, когда», направленная на выявление фактической, а не процессно-смысловой информации, таким свойством не обладает.

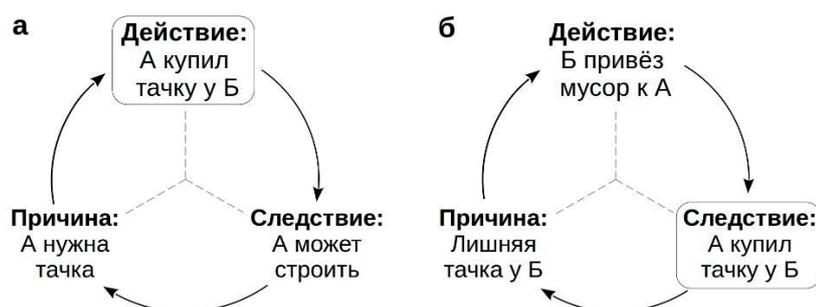


Рисунок 6 - Альтернативные причинно-следственные модели события «А купил тачку у Б» (в рамке).

а) Покупка - действие, с помощью которого А решает строительную задачу.

б) Покупка - следствие действия Б по созданию проблемы у А. В зависимости от модели в субъектной позиции находится индивид А или индивид Б

Это объяснение, разумеется, не является единственно возможным. Возможно, что у Б была лишняя тачка, на которой он решил заработать. Для этого Б выгрузил у дома А несколько тачек мусора. В результате А купил тачку у Б, чтобы расчистить подъезд. Эта модель показана на рисунке 6б.

Описанные модели одного и того же события влекут за собой разные оценки действий А и Б, существенные для взаимодействия с ними субъекта С. В отсутствие такой модели информация о событии несёт гораздо меньшую практическую ценность; именно этим и обусловлена вышеупомянутая важность процессно-причинного моделирования в естественном мышлении.

4.2 Когнитивная функция координат процессной плоскости

Рисунок 5 показывает, что помимо фазовой координаты ϕ (рисунки 1 и 4) действия, события и ситуации различаются ещё и по радиальной координате. Это обстоятельство указывает на желательность когнитивного определения обеих координат процессной плоскости как в полярной, так и в декартовой форме.

4.2.1 Радиус в полярных координатах

Нулевое значение радиуса соответствует единственной точке в начале координат, для которой фазовая координата не определена. Соответственно, событие (информация, ситуация, слово), расположенное вблизи этой точки, в рассматриваемом процессе функции не имеет. Таковым является, например, слово *дверь* (*door*), в различных контекстах участвующее во всех возможных этапах процессов: дверь как содержание восприятия; открытие двери как анализируемая новость; как цель, часть плана, содержание действия или его конечный результат. Если бы все эти функции были равновероятны, то на рисунке 5 слово располагалось бы точно в центре плоскости. Его действительное положение, показанное серой точкой, отстоит от начала координат на расстояние 0.04 в направлении $\phi \approx 75^\circ$. Данный результат правдоподобно указывает на то, что чаще других процессных функций *дверь* выступает в функции новизны, анализируемой на этапе 2.

Радиальная координата на фазовой плоскости, таким образом, отражает процессно-функциональное значение рассматриваемого события либо информационного блока (слова, мелодии, образа и т.д.). Для каждого конкретного процесса такое значение имеют лишь несколько таких блоков, число которых ограничено ёмкостью внимания субъекта (раздел 2.3). Слова, представленные на рисунке 5, характерны тем, что выражают одно и то же процессное значение для большинства контекстов их использования (в выборке текстов, использованной для обучения исходной модели *word2vec*).

4.2.2 Декартовы координаты

Декартовы координаты процессной плоскости также имеют определённую когнитивно-смысловую функцию, которая вытекает из расположения осей X и Y относительно процессных этапов, как показано на рисунке 4. Вертикальная ось Y , в частности, различает этапы действия (сверху) и восприятия (снизу), отличающиеся направлениями потока информации между субъектом и объектом, как показано на рисунке 2: *действие* представляет собой пере-

дачу информации от субъекта к объекту, тогда как при *восприятии* этот поток направлен в обратную сторону. В видимом поведении субъекта это различие направленности информационного потока проявляется в уровне *внешней* (видимой) *активности*, наибольшей на этапе действия и наименьшей на этапе восприятия. В механическом прототипе (рисунок 1) такая активность соответствует направлению импульса груза.

Вертикальное расположение остальных этапов процесса также согласуется с этой интерпретацией. *Проектирование* направлено вовне, тогда как *анализ* и *объяснение* направлены внутрь, т.к. имеют целью приведение состояния субъекта в соответствие с объектом взаимодействия. Аналогично, *согласование* направлено на достижение результата во внешней среде, тогда как *оценка* имеет своей целью адекватное представление этого результата в когнитивном состоянии субъекта. Соответственно, видимая активность субъекта на этапах анализа и оценки ниже, чем на этапах проектирования и согласования. Ещё менее активно чистое восприятие в силу своей наименьшей обусловленности внешними факторами. Наиболее активно располагающееся напротив восприятия чистое действие, характерное отсутствием каких бы то ни было размышлений.

Как видно из рисунка 2, горизонтальная ось X различает субъекта (слева) и объекта (справа). Соответствующее свойство *субъектности*, выражающее возможность определять течение рассматриваемого процесса, возрастает справа налево. Как показано на рисунке 5, наиболее субъектным является начало этапа проектирования, соответствующее постановке индивидом целей относительно предварительно понятой новизны. Последующее планирование, действие и согласование последовательно сужают диапазон открытых возможностей, достигающий минимума в момент получения результата. Переход к оценке разворачивает этот процесс благодаря многовариантности субъективного отношения результату. Субъектность восприятия ещё выше из-за ослабления обусловленности внешней средой. Анализ, определяющий возможности последующего проектирования, является ещё более субъектным, достигая максимума вблизи точки понятие-модель (рисунок 4).

Таким образом, при развитии цикла с началом на этапе восприятия ($\phi = 0^\circ$) *субъектность* следует первому периоду в обычном графике синуса, тогда как видимая *активность* следует первому периоду в обычном графике косинуса, взятому с отрицательным знаком. В силу большей наглядности *активности*, именно последний часто используется в качестве иллюстрации к динамике ЖЦ в виде типичной колоколообразной кривой [17]. Профессиональные аналитические модели содержат обе описанные координаты⁵.

4.2.3 Соответствие с классической семантикой

Установленная функция декартовых осей процессной плоскости совпадает с двумя из трёх факторов классической семантики [61, 77, 78]: Y соответствует классической активности (*activity*), X (сжатие пружины на рисунке 1) - потенциалу или силе (*potency*). Третий фактор оценки (*evaluation*) ортогонален первым двум, так что плоскость X - Y является оценочно-нейтральной, а каждый этап процессной матрицы может быть реализован как в положительно, так и в отрицательно оцениваемых событиях [79, 80]. Это соответствие сопрягает задачи управления ЖЦ сложных систем [16, 34, 57] с методами когнитивных измерений (семантический дифференциал, цветосемантическая диагностика) [81–83], которые таким образом становятся инструментами прогнозного моделирования.

В отличие от декартовых осей, выявляемых с помощью нетривиальных математических методов (главных компонент, факторного анализа и др.), процессный цикл более интуитивен как видно, например, из описания модели в разделе 2 на основе явлений природы. Эту круго-

⁵ Примером является ЖЦ товара в модели Бостонской консалтинговой группы, в которой четыре этапа развития («дикая кошка», «звезда», «дойная корова» и «собака») соответствуют квадрантам фазовой плоскости (см. раздел 2.5.2 в [17]).

вую структуру можно рассматривать в качестве естественного динамического стереотипа субъективного смыслообразования в живой природе, порождающего, в частности, упомянутые факторы классической семантики [80].

4.3 Онтология процесса

Представленный результат позволяет решить задачу по выявлению универсальной структуры процессов в Природе [84, 85]. Такая структура, состоящая из набора этапов и связывающих их причинно-следственных отношений, является *онтологией* процесса [86]. Среди онтологий отдельных предметов (печка, ветер, телефон), ПрО (техника, живые существа, небесные тела), организаций, компаний и научных дисциплин [87] представленная онтология обладает рядом исключительных свойств.

4.3.1 Свойства онтологии

- *Общность.* Представленная модель описывает структуру процессов как в живой, так и в неживой природе, включая исключительно субъективные аспекты творческого мышления. Любой субъект и объект при этом участвуют во множестве объективных процессов, а число потенциально возможных процессно-смысловых моделей, предоставляющих простор для творчества (раздел 4.1), безгранично. В соответствии с универсальными принципами информационной динамики [88] представленная модель применима ко всем этим процессам, удовлетворяя требованию межпредметной универсальности [89]. По своей общности построенная модель сходна с онтологией проектирования [90, 91] как одной из фаз любого процесса, включая жизненный цикл самих онтологий [18, 28].
- *Простота.* По сравнению с большинством работоспособных предметных онтологий, представленная онтология исключительно проста. В минимальном варианте она состоит всего из трёх элементов, при необходимости дополняемых ещё тремя промежуточными (раздел 2). Эта простота, однако, не ведёт к примитивности моделей, т.к. относится лишь к единице анализа. Реальные процессные модели могут включать неограниченное число таких единиц, когда одно и то же событие участвует во множестве параллельно протекающих процессов на различных функциональных ролях. При этом, многоуровневая вложенность объемлющих и подчинённых процессов соответствует иерархической организации естественных процессов: атом — клетка — организм — вид — биосфера — планета и т.д., отражённой в устройстве естественного мышления [92].
- *Математическая формализация.* В отличие от существующих онтологий, формализуемых в виде стрелочно-блочных последовательностей [93] или древовидных графов [94], представленная модель имеет циклическую структуру. Соответствующее представление в виде круговой траектории на фазовой плоскости наделяет онтологию простым математическим выражением. Обе полярные и декартовы координаты при этом имеют ясную когнитивно-смысловую функцию (раздел 4.2). Сопряжение с соответствующими экспериментальными методами обеспечивает метрологическую состоятельность модели, необходимую для успешного применения [58].

4.3.2 Практическое значение

В силу установленной роли ЖЦ в мышлении человека (раздел 1), альтернативами предложенной онтологии процесса являются модели ЖЦ, ранее в этом качестве не рассматривавшиеся. Системным недостатком таких моделей, ряд которых цитирован во введении, является их неполнота. А именно, ЖЦ компаний, инноваций и продуктов обычно начинаются с этапа проектирования, направленного на решение *заранее* определённой задачи.

В статье [95], например, ЖЦ разработки сложных технических систем начинается с изучения и анализа технического задания (ТЗ). На рисунке 4 эта точка располагается примерно в середине этапа *целеполагание и планирование*, т.е. $\phi \approx 150^\circ$. Это обстоятельство ограничивает применимость такого типа «урезанных» ЖЦ соответствующими этапами деятельности, когда необходимо достижение предварительно сформулированных целей: постройка завода или дороги, военная или медицинская операция и т.д.

Такая ограниченность, однако, практически никогда не отмечается, в том числе весьма уважаемыми авторами [95]. В результате вероятностно-предопределённо формируется мыслительный шаблон, в котором исключённые этапы процессного цикла никак не представлены, т.е. просто не существуют. На практике это означает, что человеку с таким шаблоном не только когда это уместно, но *всегда* будет необходимо внешнее «ТЗ», указывающее, чего именно хотеть и добиваться.

В общественном управлении такая утрата навыка целеполагания приводит к недостаточности государственного суверенитета, остро переживаемой в настоящее время. Этот «кризис субъектности» на различных социальных уровнях рассматривается как одна из главных проблем современности, игнорирование которой может иметь катастрофические последствия [76, 96-98]. По отношению к развитию техносферы, например, субъектность общества означала бы самостоятельный ответ, в том числе, на следующие вопросы: почему нужна именно та или иная система и кто в ней заинтересован; насколько полны и проверены на практике понятия соответствующей ПрО; каковы видимые последствия использования данной системы, например, для здоровья человека и биосферы и каковы могут быть такие последствия, если использованные представления неполны или ошибочны.

Как видно из последнего примера, представленная онтология процесса вскрывает и более глубокие предпосылки субъектности, обсуждаемые ещё реже целеполагания. Последнее находится лишь на третьем этапе процесса, которому предшествуют ещё два: восприятие и объяснение сигналов среды. На практике это значит, что даже когда человек занимается целеполаганием, возможный состав его целей обусловлен адекватностью его понимания мира, которое в свою очередь обусловлено личностной культурой наблюдения и восприятия. Так, не заметив изменения самочувствия, не распознать болезнь; без понятий о генетике не объяснить принцип действия вируса; без теории волн не описать интерференцию и т.д.

Описание такого типа предпосылок действия располагается в первой четверти полного ЖЦ, исключение которой из процессной онтологии ограничивает субъектность неявным и потому более опасным образом, чем явное принуждение к нежелательной деятельности. Такая недостаточность «интеллектуального суверенитета» [76, 96-98] ставит индивидов, общества и государства в зависимость от внешних поставщиков культуры и стереотипов восприятия, языков описания, научных и философских моделей, технологических стандартов и понятийных систем. Как и целеполагание, самостоятельное обеспечение этих видов деятельности необходимо для решения упомянутой выше проблемы субъектности.

Заключение

В представленном методе моделирования Природы первичным понятием является процесс - непрерывная функционально-смысловая и причинно-следственная структура, развёртка во времени и пространстве, воплощение которой в конкретных событиях имеют вторичное значение. Несмотря на свою эффективность в гуманитарных ПрО [99–101] до недавнего времени этот подход не получал должного развития в силу отсутствия удобного представления, применимого к достаточно широкому спектру процессов. Это препятствие устранено в настоящей работе. Единообразное представление процессов живой и неживой Природы в

виде фазовой траектории на семантической плоскости даёт метрологическое основание для вхождения процессного моделирования в область точной науки и техники.

В результате такого вхождения открываются новые возможности для причинно-смыслового моделирования данных на принципах естественного мышления, построения соответствующих вычислительных архитектур, совершенствования прогнозно-аналитических систем и систем поддержки принятия решений. Несмотря на неустранимый субъективный аспект, требующий участия человека в оценке альтернативных процессно-смысловых моделей (раздел 4.1), разработанный экспериментальный метод указывает на возможность частичной автоматизации этих задач на основе современных моделей искусственного интеллекта и машинного обучения.

Самоуправление современного общества, однако, не может быть обеспечено одним лишь внедрением высокотехнологичных прогнозно-аналитических систем. Отмеченная во введении необходимость навыков процессного моделирования аналогична требованию всеобщей грамотности, позволившей России выжить в первой половине прошлого века. В этом отношении вклад настоящей работы достаточно скромный; описанный метод процессного мышления, по сути, сводится к постановке и ответам на вопросы *как*, *зачем* и *почему*, не являющиеся новинками русского языка. Представленная схема лишь помогает организовать и систематизировать такую практику, являющуюся ключом к подлинной самостоятельности в индивидуальной и коллективной жизнедеятельности.

Список источников

- [1] **Боргест Н.М.** Границы онтологии проектирования. *Онтология проектирования*. 2017. Т.7, №1(23). С.7-33. DOI:10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.
- [2] **де Ла Барьер П.** Курс теории автоматического управления. Москва: Машиностроение, 1973. 396 с.
- [3] **Беллман Р., Калаба Р.** Динамическое программирование и современная теория управления (пер. с английского). М: Наука, 1969. 119 с.
- [4] **Брушлинский А.В.** Психология мышления и кибернетика. М: Мысль, 1970. 189 с.
- [5] **Orrell D.** The Future of everything. The Science of Prediction. Basic books, 2007.
- [6] **Bouchaud J.P.** Economics needs a scientific revolution. *Nature*. 2008. Vol.455, №7217. P.1181. DOI:10.1038/4551181a.
- [7] **Bouchaud J.P.** The (unfortunate) complexity of the economy. *Physics World*. April 2009. 04(0904.0805). DOI:10.1088/2058-7058/22/04/39.
- [8] **Orrell D.** Economyths: Ten Ways That Economics Gets It Wrong. *International Journal of Social Economics*. New Jersey: Wiley, 2011. Vol.38, № 9. P.821–822. DOI:10.1108/03068291111157267.
- [9] **Кузгин Д.** Зомби-экономика. Как мертвые идеи продолжают блуждать среди нас (пер. с англ.). Москва: Издательский дом Высшей школы экономики, 2016. 272 с.
- [10] **Kitto K.** High end complexity. *Int. J. Gen. Syst.* 2008. Vol.37, №6. P.689–714. DOI:10.1080/03081070701524232.
- [11] **White J.G. et al.** The Structure of the Nervous System of the Nematode *Caenorhabditis elegans* // *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 1986. Vol.314, №1165. P.1–340. DOI:10.1098/rstb.1986.0056.
- [12] **Larson S.D., Gleeson P., Brown A.E.X.** Connectome to behaviour: Modeling *Caenorhabditis elegans* at cellular resolution. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 2018. Vol.373, №1758. P.8–10. DOI:10.1098/rstb.2017.0366.
- [13] **Cook S.J. et al.** Whole-animal connectomes of both *Caenorhabditis elegans* sexes. *Nature*. Springer US, 2019. Vol.571, №7763. P.63–71. DOI:10.1038/s41586-019-1352-7.
- [14] **von Uexküll J.** A stroll through the worlds of animals and men: A picture book of invisible worlds. *Semiotica*. Walter de Gruyter, 1992. Vol.89, №4. P.319–391. DOI:10.1515/semi.1992.89.4.319.
- [15] **von Uexküll J.** A foray into the worlds of animals and humans: With a theory of meaning. University of Minnesota Press, 2010. 248 p.
- [16] **Белов М.В., Новиков Д.А.** Основы теории комплексной деятельности. Ч. 2. Жизненные циклы комплексной деятельности. Организация и управление как комплексная деятельность. *Проблемы управления*. 2018. №4. С.39–48. DOI:10.25728/пу.2018.5.5.
- [17] **Берг Д.Б., Ульянова Е.А., Добряк П.В.** Модели жизненного цикла. Екатеринбург: Издательство Уральского университета, 2014. 74 с.
- [18] **Communiqué: Towards Ontology Evaluation across the Life Cycle // Ontology Summit 2013 ed. Neuhaus F. et al.**

- [19] **Young G.** Development, Stages, and Causality // *Causality and Neo-Stages in Development*. Cham: Springer International Publishing, 2022. P.21–42. DOI:10.1007/978-3-030-82540-9_2.
- [20] **Gulino P.** Screenwriting: the sequence approach. London: Continuum, 2004. 288 p.
- [21] **Wagenmakers E.-J., Dutilh G., Sarafoglou A.** The Creativity-Verification Cycle in Psychological Science: New Methods to Combat Old Idols. *Perspect. Psychol. Sci.* 2018. Vol.13, №4. P.418–427. DOI:10.1177/1745691618771357.
- [22] **Зябрикова А.В., Зябриков В.В.** Оптимальная траектория жизненного цикла фирмы. *Проблемы современной экономики*. 2014. С.123–127.
- [23] **Lester D.L., Parnell J.A., Carraher S.** Organizational life cycle: A five-stage empirical scale. *Int. J. Organ. Anal.* 2003. Vol.11, №4. P.339–354. DOI:10.1108/eb028979.
- [24] **Biemer S.M., Sage A.P.** Systems Engineering: Basic Concepts and Life Cycle. *Agent-Directed Simulation and Systems Engineering*. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2010. P.145–171. DOI:10.1002/9783527627783.ch5.
- [25] **D'Ambrogio A, Durak U.** Setting systems and simulation life cycle processes side by side // ISSE 2016 - 2016 Int. Symp. Syst. Eng. - Proc. Pap. IEEE, 2016. DOI:10.1109/SysEng.2016.7753139.
- [26] **Steinert M., Leifer L.** Scrutinizing Gartner's hype cycle approach // *Technol. Manag. Glob. Econ. Growth*. 2010. P.254–266.
- [27] **Buijs J.** Modelling Product Innovation Processes, from Linear Logic to Circular Chaos. *Design*. 2003. Vol.12, №2. P.76–93. DOI:10.1111/1467-8691.00271.
- [28] **Боргест Н.М.** Роль онтологии в проектировании информационных систем // Открытые семантические технологии проектирования интеллектуальных систем. 2014. OSTIS-2014, Минск: БГУИР, 2014. С.155-160.
- [29] **Patten B.C., Odum E.P.** The Cybernetic Nature of Ecosystems. *Am. Nat.* 1981. Vol.118, №6. P.886–895. DOI:10.1086/283881.
- [30] **Dufour Y., Steane P., Corriveau A.M.** From the organizational life-cycle to “ecocycle”: a configurational approach to strategic thinking. *Asia-Pacific J. Bus. Adm.* 2018. Vol.10, №2/3. P.171–183. DOI:10.1108/APJBA-05-2018-0095.
- [31] **Подсорин В.А., Харитонова А.В.** Экономические методы управления жизненным циклом производственных и социальных систем. Москва: МГУПС, 2016. 78 с.
- [32] **Павлов Н.В.** Управление жизненным циклом продукта. Санкт-Петербург : Изд-во Политехнического ун-та 2014. 219 с.
- [33] **Мыльников Л.А.** О структурно-функциональном моделировании процессов с выделенным субъектом управления // НТИ Серия 22. 2022. № 2. DOI:10.36535/0548-0027-2022-02-2.
- [34] **Белов М.В.** Оптимальное управление жизненными циклами сложных изделий, объектов, систем // Проблемы управления. 2022. №1. С.19–32. DOI:10.25728/ru.2022.1.2.
- [35] **Ziemke T.** The body of knowledge: On the role of the living body in grounding embodied cognition. *BioSystems*. Elsevier Ireland Ltd, 2016. Vol.148. P.4–11. DOI:10.1016/j.biosystems.2016.08.005.
- [36] **Clark A.** Embodied, embedded, and extended cognition // *The Cambridge Handbook of Cognitive Science* / ed. Frankish K., Ramsey W. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. P.275–291. DOI:10.1017/CBO9781139033916.018.
- [37] **Lakoff G.** The Invariance Hypothesis: is abstract reason based on image-schemas? *Cogn. Linguist.* 1990. Vol.1, №1. P.39–74. DOI:10.1515/cogl.1990.1.1.39.
- [38] **Piantadosi S.T.** The Computational Origin of Representation. *Minds Mach.* Springer Netherlands, 2021. Vol.31, №1. P.1–58. DOI:10.1007/s11023-020-09540-9.
- [39] **Сундаков В.В.** Тайны русского языка. АСТ, 2021. 670 с.
- [40] **Dukhanov A. et al.** A Systemically Synergistic Approach to the Design of Integrative Advanced Training Courses in the Field of Cross-Cutting Technologies // 2021 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). IEEE, 2021. P.1–9. DOI:10.1109/FIE49875.2021.9637425.
- [41] **Боргест Н.М.** Онтология проектирования научного направления: формирование, развитие, примеры. *Онтология проектирования*. 2022. Т.12, №2. С.136-157. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-136-157.
- [42] **Sollaci L.B., Pereira M.G.** The introduction, methods, results, and discussion (IMRAD) structure: A fifty-year survey. *J. Med. Libr. Assoc.* 2004. Vol.92, №3. P.364–367.
- [43] **Wu J.** Improving the writing of research papers: IMRAD and beyond. *Landsc. Ecol.* 2011. Vol.26, №10. P.1345–1349. DOI:10.1007/s10980-011-9674-3.
- [44] **Zipf G.K.** The Unity of Nature, Least-Action, and Natural Social Science. *Sociometry*. 1942. Vol.5, №1. P.48–62.
- [45] **Rosch E.** Principles of Categorization. *Cognition and categorization* / ed. Rosch E.H., Lloyd B.B. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1978. P.27–48. DOI:10.1016/B978-1-4832-1446-7.50028-5.
- [46] **Винер М.** Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. Москва: Наука, 1983. 344 с.
- [47] **Новиков Д.А.** Кибернетика (навигатор). Москва: Ленанд, 2015. 160 с.

- [48] **Haykin S.** Cognitive dynamic systems: Perception–Action cycle, radar, and radio. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. DOI:10.1017/CBO9780511818363.
- [49] **Lagerspetz K.Y.H.** Jakob von Uexküll and the origins of cybernetics. *Semiotica*. 2001. Vol.134. P.643–651. DOI:10.1515/semi.2001.047.
- [50] **Young G.** Stimulus–Organism–Response Model: SORing to New Heights // Unifying Causality and Psychology. Cham: Springer International Publishing, 2016. P.699–717. DOI:10.1007/978-3-319-24094-7_28.
- [51] **Field S.** Screenplay: The Foundations of Screenwriting. New York: Delta, 2005. 309 p.
- [52] **Brütsch M.** The three-act structure: Myth or magical formula? *J. Screenwriting*. 2015. Vol.6, №3. P.301–326. DOI:10.1386/josc.6.3.301_1.
- [53] **Gat E.** On Three-Layer Architectures. *Artif. Intell. Mob. Robot.* 1997. P.195–210.
- [54] **Siegel M.** The sense-think-act paradigm revisited // 1st International Workshop on Robotic Sensing, 2003. ROSE’03. IEEE, 2003. № June. P.5. DOI:10.1109/ROSE.2003.1218700.
- [55] **Белов М.В.** Проблемы управления жизненными циклами организационно-технических систем. *Управление в социально-экономических системах*. 2018. С.117–172. DOI:10.25728/ubs.2018.76.5.
- [56] **Doblin J.** A Short, Grandiose Theory of Design. *STA Des. J.* 1987. Vol.1. P.6–16.
- [57] **Новиков Д.А.** Структура теории управления социально-экономическими системами. *Управление Большими Системами*. 2009. Том.24. С.216–253.
- [58] Достаточно общая теория управления. Постановочные материалы учебного курса факультета прикладной математики - процессов управления СПбГУ. Санкт-Петербург, 2011. 228 с.
- [59] **Miller G.A.** The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychol. Rev.* 1956. Vol.63, №2. P.81–97. DOI:10.1037/h0043158.
- [60] **Eco U, Sebeok T.A.** (eds.) The Sign of three: Dupin, Holmes, Peirce. Indiana University Press, 1983. 256 p.
- [61] **Суров И.А.** Открытие чёрного ящика: Извлечение семантических факторов Осгуда из языковой модели word2vec. *Информатика и автоматизация*. 2022. Т.21, №5. С.916–936. DOI: 10.15622/ia.21.5.3.
- [62] Google Code Archive. Pretrained word2vec model GoogleNews-vectors-negative300.bin.gz [Electronic resource]. 2013. <https://code.google.com/archive/p/word2vec/>.
- [63] **Mikolov T et al.** Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality // NIPS’13 Proceedings of the 26th International Conference on Neural Information Processing Systems. 2013. 9 p.
- [64] **Суров И.А.** Quantum core affect. Color-emotion structure of semantic atom // *Front. Psychol.* 2022. Vol.13. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.838029.
- [65] **Pally R.** The predicting brain: Unconscious repetition, conscious reflection and therapeutic change. *Int. J. Psychoanal.* 2007. Vol.88, №4. P.861–881. DOI:10.1516/B328-8P54-2870-P703.
- [66] **Behrens T.E.J. et al.** Learning the value of information in an uncertain world. *Nat. Neurosci.* 2007. Vol.10, №9. P.1214–1221. DOI:10.1038/nn1954.
- [67] **Bubic A., Yves von Cramon D., Schubotz R.I.** Prediction, cognition and the brain. *Front. Hum. Neurosci.* 2010. Vol.4, March. P.1–15. DOI:10.3389/fnhum.2010.00025.
- [68] **Clark A.** Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behav. Brain Sci.* 2013. Vol.36, №3. P.181–204. DOI:10.1017/S0140525X12000477.
- [69] **Barrett L.F., Simmons W.K.** Interoceptive predictions in the brain. *Nat. Rev. Neurosci.* Nature Publishing Group, 2015. Vol.16, №7. P.419–429. DOI:10.1038/nrn3950.
- [70] **Greve P.F.** The role of prediction in mental processing: A process approach. *New Ideas Psychol.* Elsevier Ltd, 2015. Vol.39. P.45–52. DOI:10.1016/j.newideapsych.2015.07.007.
- [71] **Vityaev E., Pak B.** Prototypes of the “natural” concepts discovery. *Cogn. Syst. Res.* 2021. Vol.67. P.1–8. DOI:10.1016/j.cogsys.2020.12.005.
- [72] **Whitehead A.N.** Process and reality. New York: The Free Press, 1929. 413 p.
- [73] **Ленский В.Е.** Системный подход в социальной и экономической кибернетике. *Системный анализ в экономике*. 2018. С.353–356. DOI:10.33278/SAE-2018.rus.353-356.
- [74] На пути к постнеклассическим концепциям управления / Ред. Ленский В.Е., Аршинов В.И. Москва: Институт философии РАН, 2005. 266 с.
- [75] **Ленский В.Е.** Экономическая кибернетика саморазвивающихся сред (кибернетика третьего порядка) // *Управленческие науки*. 2015. Т.46. С.22–33.
- [76] **Ленский В.Е.** Рефлексивность в управлении социальными системами (философско-методологический анализ). *Философия науки и техники*. 2021. Т.26, №2. DOI:10.21146/2413-9084-2021-26-2-127-147.
- [77] **Osgood C.E.** The nature and measurement of meaning. *Psychol. Bull.* 1952. Vol.49, №3. P.197–237. DOI:10.1037/h0055737.
- [78] **Osgood C.E.** On the whys and wherefores of E, P, and A. *J. Pers. Soc. Psychol.* 1969. Vol.12, №3. P.194–199. DOI:10.1037/h0027715.
- [79] **Суров И.А.** Квантовая модель субъективной семантики ситуаций принятия решений. // *Гибридные и*

- синергетические интеллектуальные системы / Ред. А.В. Колесников. 2022. С.205–212.
- [80] **Surov I.A.** Natural Code of Subjective Experience. *Biosemiotics*. 2022. Vol.15, №2. P.109–139. DOI:10.1007/s12304-022-09487-7.
- [81] **Петренко В.Ф.** Основы психосемантики. 3-е изд. М: Эксмо, 2010. 480 с.
- [82] **Петренко В.Ф., Митина О.В.** Политическая психология. Психосемантический подход. Социум, 2018. 592 с.
- [83] **Яньшин П.В.** Цветосоциометрия. Исследование эмоционального состояния группы // Сборник научных трудов ученых Московского городского педагогического университета и Бакинского славянского университета / Ред.: М.А.Мильникова. 2010. С.278–288.
- [84] **Aitken S., Curtis J.** A Process Ontology // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 2002. Vol.2473. DOI:10.1007/3-540-45810-7_13.
- [85] **Kassel G.** Physical processes, their life and their history. *Appl. Ontol.* 2020. Vol.15, №2. P.109–133. DOI:10.3233/AO-200222.
- [86] **Guarino N., Oberle D., Staab S.** What Is an Ontology? // *Handbook on Ontologies / ed. Staab S., Studer R.* Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. P.1–17. DOI:10.1007/978-3-540-92673-3_0.
- [87] **Боргест Н.М., Коровин М.Д.** Онтологии: современное состояние, краткий обзор. *Онтология проектирования*. 2013. №2. С.49–55.
- [88] **Volchenkov E.Y.** The ontology of anthropogenic systems: Information aspects. *Sci. Tech. Inf. Process.* 2011. Vol.38, №3. P.173–179. DOI:10.3103/S0147688211030117.
- [89] **Guarino N.** Understanding, building and using ontologies // *Int. J. Hum. Comput. Stud.* 1997. Vol.46, №2–3. P.293–310. DOI:10.1006/ijhc.1996.0091.
- [90] **Боргест Н.М.** Ключевые термины онтологии проектирования: обзор, анализ, обобщения. *Онтология проектирования*. 2013. №3. С.9–31.
- [91] **Green S., Southee D., Boulton J.** Towards a design process ontology. *Des. J.* 2014. Vol.17, №4. P.515–537. DOI:10.2752/175630614X14056185480032.
- [92] **Fuster J.M.** Upper processing stages of the perception–action cycle. *Trends Cogn. Sci.* 2004. Vol.8, №4. P.143–145. DOI:10.1016/j.tics.2004.02.004.
- [93] **dos Santos França J.B. et al.** KIPO: the knowledge-intensive process ontology. *Softw. Syst. Model.* Springer Berlin Heidelberg, 2015. Vol.14, №3. P.1127–1157. DOI:10.1007/s10270-014-0397-1.
- [94] **Боргест Н.М.** Научный базис онтологии проектирования. *Онтология проектирования*. 2013. №1. С.7–25.
- [95] **Валькман Ю.Р., Тарасов В.Б.** От онтологий проектирования к когнитивной семиотике. *Онтология проектирования*. 2018. Т.8, №1. С.8–34. DOI: 10.18287/2223-9537-2018-8-1-8-34.
- [96] **Ленский В.Е.** Становление стратегических субъектов в глобальном информационном обществе: постановка проблемы. *Информационное общество*. 2002. Т.1. С.50–58.
- [97] **Леишевич Т.Г.** Проблема субъектности и бессубъектное состояние России в контексте экономоцентричности современной эпохи. *Научная мысль Кавказа*. 2012. № 2. С.12–20.
- [98] **Мерзляков А.А.** Проблема субъектности в социологии управления. *Социологическая наука и социальная практика*. 2018. Т. 24, № 4. С. 95–104. DOI: 10.19181/snsp.2018.6.4.6087.
- [99] **Jaeger J., Monk N.** Everything flows. A process perspective on life. *EMBO Rep.* 2015. Vol.16, №9. P.1064–1067. DOI:10.15252/embr.201541088.
- [100] **Nicholson DJ, Dupre J.** (eds.) *Everything Flows: Towards a Processual Philosophy of Biology*. Oxford University Press, 2018.
- [101] **Селиванов В.В.** Теория мышления как процесса: экспериментальное подтверждение. *Экспериментальная психология*. 2019. Т.12, №1. С.40–52. DOI:10.17759/exppsy.2019120104.

Сведения об авторе

Суров Илья Алексеевич, 1990 г. рождения. Окончил Московский физико-технический институт (МФТИ) в 2013 г., к.ф.-м.н. (2016). Доцент Университета ИТМО. В списке научных трудов более 25 работ в области квантовой физики, квантовых моделей принятия решений, когнитивно-поведенческого моделирования и семантического анализа данных. Author ID (РИНЦ): 819354; Author ID (Scopus): 57219761715; Researcher ID (WoS): J-3796-2015. ilya.a.surov@itmo.ru.



Поступила в редакцию 15.09.2022, после рецензирования 24.10.2022. Принята к публикации 16.11.2022.



Life cycle: semantic matrix of process modeling

© 2022, I.A. Surov

ITMO University, Saint Petersburg, Russia

Abstract

Acceleration of socio-technological changes increases demands and complexity of process modeling tasks. Developing the appropriate thinking skills is becoming a mass necessity. This paper describes a method for representation of processes, allowing systematization of such skill based on *life cycle*. Any process is then represented as a sequence of stages: *perception, analysis, design, action, coordination, and evaluation*. This sequence is formalized as a circular trajectory on a phase space, the Cartesian axes of which are the *activity* and *potency* factors of classical semantics. As a result, the scheme receives a simple mathematical expression and is interfaced with standard methods of semantic measurements. The experimentally presented structure was revealed in the *word2vec* English language vector model, which additionally aligns it with machine learning and artificial intelligence algorithms. The developed model is considered as general ontology of processes in Nature, used in natural thinking as a stereotype of building cause-and-effect models of events. The result obtained opens up opportunities for the development of methods of process and causal-sense modeling for scientific, technical and everyday purposes.

Key words: *process, prediction, causality, meaning, ontology, subjectivity.*

For citation: Surov IA. Life cycle: semantic matrix of process modeling [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022; 12(4): 430-453. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-4-430-453.

Financial Support: The study was supported by a grant of Russian Science Foundation (project number 20-71-00136).

Conflict of interest: The author declares no conflict of interest.

List of figures

Figure 1 – Harmonic pendulum as a prototype of the cognitive model of the process

Figure 2 – Two-stage discretization of the process cycle based on the functional cycle of Jakob von Uexküll

Figure 3 – Three-stage discretization of the process cycle, mapped to the day-year demarcation of the phase trajectory

Figure 4 – Six-stage structure of the process

Figure 5 – Map of English words in the projection of the process-semantic plane in the 300-dimensional space of the word2vec language model

Figure 6 – Alternative process-causal models of the event “A bought a cart from B”

References

- [1] **Borgest NM.** Boundaries of the ontology of designing [In Russian]. *Ontology of designing*. 2017; 7(1): 7-33. DOI: 10.18287/2223-9537-2017-7-1-7-33.
- [2] **de la Barriere P.** Cours D'Automatique theoretique. Dunos: Paris. 1966.
- [3] **Bellman R, Kalaba R.** Dynamic programming and modern control theory. New York: Academic Press, 1966.
- [4] **Brushlinsky AV.** Psychology of thinking and cybernetics [In Russian]. Moscow: Mysl, 1970.
- [5] **Orrell D.** The Future of everything. The Science of Prediction. Basic books, 2007.
- [6] **Bouchaud JP.** Economics needs a scientific revolution. *Nature*. 2008; 455(7217): 1181. DOI:10.1038/4551181a.
- [7] **Bouchaud JP.** The (unfortunate) complexity of the economy. *Physics World*. 2009; 22(04). DOI:10.1088/2058-7058/22/04/39.
- [8] **Orrell D.** Economyths: Ten Ways That Economics Gets It Wrong. *International Journal of Social Economics*. New Jersey: Wiley, 2011; 38(9): 821–822. DOI:10.1108/03068291111157267.
- [9] **Quiggin J.** Zombie Economics: How Dead Ideas Still Walk among Us. Princeton University Press, 2010.
- [10] **Kitto K.** High end complexity. *Int. J. Gen. Syst.* 2008; 37(6): 689–714. DOI:10.1080/03081070701524232.
- [11] **White JG. et al.** The Structure of the Nervous System of the Nematode *Caenorhabditis elegans*. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 1986; 314(1165): 1–340. DOI:10.1098/rstb.1986.0056.
- [12] **Larson SD, Gleeson P, Brown AEX.** Connectome to behaviour: Modeling *Caenorhabditis elegans* at cellular resolution. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 2018; 373(1758): 8–10. DOI:10.1098/rstb.2017.0366.
- [13] **Cook SJ. et al.** Whole-animal connectomes of both *Caenorhabditis elegans* sexes. *Nature*. Springer US, 2019; 571(7763): 63–71. DOI:10.1038/s41586-019-1352-7.

- [14] **von Uexküll J.** A stroll through the worlds of animals and men: A picture book of invisible worlds. *Semiotica*. Walter de Gruyter, 1992; 89(4): 319–391. DOI:10.1515/semi.1992.89.4.319.
- [15] **von Uexküll J.** A foray into the worlds of animals and humans: With a theory of meaning. University of Minnesota Press, 2010.
- [16] **Belov MV, Novikov DA.** Fundamentals of the theory of complex activities. Part. 2. Life cycles of complex activity. Organization and control as complex activity [In Russian]. *Control Sciences*. 2018; 4: 39–48. DOI:10.25728/pu.2018.5.5.
- [17] **Berg DB, Ulyanova EA, Dobryak PV.** Models of life cycle: a coursebook [in Russian]. Ekaterinburg: Ural University Press, 2014. 74 p.
- [18] Communiqué: Towards Ontology Evaluation across the Life Cycle. *Ontology Summit 2013* / ed. Neuhaus F. et al.
- [19] **Young G.** Development, Stages, and Causality. *Causality and Neo-Stages in Development*. Cham: Springer International Publishing, 2022. P.21–42. DOI:10.1007/978-3-030-82540-9_2.
- [20] **Gulino P.** Screenwriting: the sequence approach. London: Continuum, 2004.
- [21] **Wagenmakers EJ, Dutilh G, Sarafoglou A.** The Creativity-Verification Cycle in Psychological Science: New Methods to Combat Old Idols. *Perspect. Psychol. Sci.* 2018; 13(4): 418–427. DOI:10.1177/1745691618771357.
- [22] **Zyabrikova AV, Zyabrikov VV.** Optimal trajectory of cognitive cycle of a company [In Russian]. *Problems of modern economics*. 2014. P.123–127.
- [23] **Lester DL, Parnell JA, Carraher S.** Organizational life cycle: A five-stage empirical scale. *Int. J. Organ. Anal.* 2003; 11(4): 339–354. DOI:10.1108/eb028979.
- [24] **Biemer SM, Sage AP.** Systems Engineering: Basic Concepts and Life Cycle. *Agent-Directed Simulation and Systems Engineering*. Weinheim: Wiley-VCH, 2010. P.145–171. DOI:10.1002/9783527627783.ch5.
- [25] **D'Ambrogio A, Durak U.** Setting systems and simulation life cycle processes side by side // ISSE 2016 - 2016 Int. Symp. Syst. Eng. - Proc. Pap. IEEE, 2016. DOI:10.1109/SysEng.2016.7753139.
- [26] **Steinert M, Leifer L.** Scrutinizing Gartner's hype cycle approach. *Technol. Manag. Glob. Econ. Growth*. 2010. P.254–266.
- [27] **Buijs J.** Modelling Product Innovation Processes, from Linear Logic to Circular Chaos. *Design*. 2003; 12(2): 76–93. DOI:10.1111/1467-8691.00271.
- [28] **Borgest NM.** Role of ontology in design of informational systems [In Russian]. *Open Semantic Technologies for Intelligent Systems*. OSTIS-2014, Minsk: BSUIR, 2014. P.155-160.
- [29] **Patten BC, Odum EP.** The Cybernetic Nature of Ecosystems. *Am. Nat.* 1981; 118(6): 886–895. DOI:10.1086/283881.
- [30] **Dufour Y, Steane P, Corriveau AM.** From the organizational life-cycle to “ecocycle”: a configurational approach to strategic thinking. *Asia-Pacific J. Bus. Adm.* 2018; 10(2/3): 171–183. DOI:10.1108/APJBA-05-2018-0095.
- [31] **Podsorin VA, Haritonova AV.** Economical methods for controlling the life cycle of production and social systems [In Russian]. Moscow: MGUPS, 2016. 78 p.
- [32] **Pavlov NV.** Product life cycle management [In Russian]. St. Petersburg: Publishing House of the Polytechnic University 2014. 219 p.
- [33] **Mylnikov LA.** About structure-functional modeling of processes with specified subject of control [In Russian]. *NTI Seria 22*. 2022. № 2. DOI:10.36535/0548-0027-2022-02-2.
- [34] **Belov MV.** Optimal control of lifecycles of complex products, objects, systems [In Russian]. *Control sciences*. 2022; 1: 19–32. DOI:10.25728/pu.2022.1.2.
- [35] **Ziemke T.** The body of knowledge: On the role of the living body in grounding embodied cognition. *BioSystems*. Elsevier Ireland Ltd, 2016; 148: 4–11. DOI:10.1016/j.biosystems.2016.08.005.
- [36] **Clark A.** Embodied, embedded, and extended cognition. // *The Cambridge Handbook of Cognitive Science* / ed. Frankish K., Ramsey W. Cambridge: Cambridge University Press, 2019. P.275–291. DOI:10.1017/CBO9781139033916.018.
- [37] **Lakoff G.** The Invariance Hypothesis: is abstract reason based on image-schemas? *Cogn. Linguist.* 1990; 1(1): 39–74. DOI:10.1515/cogl.1990.1.1.39.
- [38] **Piantadosi ST.** The Computational Origin of Representation. *Minds Mach.* Springer Netherlands, 2021; 31(1): 1–58. DOI:10.1007/s11023-020-09540-9.
- [39] **Sundakov VV.** The Secrets of Russian language [In Russian]. Moscow: AST, 2021. 670 p.
- [40] **Dukhanov A. et al.** A Systemically Synergistic Approach to the Design of Integrative Advanced Training Courses in the Field of Cross-Cutting Technologies. 2021 IEEE Frontiers in Education Conference (FIE). P.1–9. DOI:10.1109/FIE49875.2021.9637425.
- [41] **Borgest NM.** Ontology of designing a scientific direction: formation, development, examples [In Russian]. *Ontology of designing*. 2022. 12(2): 136-157. DOI:10.18287/2223-9537-2022-12-2-136-157.
- [42] **Sollaci LB, Pereira MG.** The introduction, methods, results, and discussion (IMRAD) structure: A fifty-year survey. *J. Med. Libr. Assoc.* 2004; 92(3): 364–367.

- [43] **Wu J.** Improving the writing of research papers: IMRAD and beyond. *Landsc. Ecol.* 2011; 26(10): 1345–1349. DOI:10.1007/s10980-011-9674-3.
- [44] **Zipf GK.** The Unity of Nature, Least-Action, and Natural Social Science. *Sociometry.* 1942; 5(1): 48–62.
- [45] **Rosch E.** Principles of Categorization. *Cognition and categorization* / ed. Rosch E.H., Lloyd B.B. Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Publishers, 1978. P.27–48. DOI:10.1016/B978-1-4832-1446-7.50028-5.
- [46] **Wiener N.** Cybernetics, or control and communication in the animal and the machine. MIT Press. 1961.
- [47] **Novikov DA.** Cybernetics (navigator) [In Russian]. Moscow: Lenand, 2015. 160 p.
- [48] **Haykin S.** Cognitive dynamic systems: Perception–Action cycle, radar, and radio. Cambridge: Cambridge University Press, 2012. DOI:10.1017/CBO9780511818363.
- [49] **Lagerspetz KYH.** Jakob von Uexküll and the origins of cybernetics. *Semiotica.* 2001; 134: 643–651. DOI:10.1515/semi.2001.047.
- [50] **Young G.** Stimulus–Organism–Response Model: SORing to New Heights // Unifying Causality and Psychology. Cham: Springer International Publishing, 2016. P.699–717. DOI:10.1007/978-3-319-24094-7_28.
- [51] **Field S.** Screenplay: The Foundations of Screenwriting. New York: Delta, 2005. 309 p.
- [52] **Brütsch M.** The three-act structure: Myth or magical formula? *J. Screenwriting.* 2015; 6(3): 301–326. DOI:10.1386/josc.6.3.301_1.
- [53] **Gat E.** On Three-Layer Architectures. *Artif. Intell. Mob. Robot.* 1997. P.195–210.
- [54] **Siegel M.** The sense-think-act paradigm revisited // 1st International Workshop on Robotic Sensing, 2003. ROSE’03. IEEE, 2003. № June. P. 5. DOI:10.1109/ROSE.2003.1218700.
- [55] **Belov MV.** Problems of life cycles management of organization-technical systems [In Russian]. *Control in social and technical systems.* 2018. C.117–172. DOI:10.25728/ubs.2018.76.5.
- [56] **Doblin J.** A Short, Grandiose Theory of Design. *STA Des. J.* 1987; 1: 6–16.
- [57] **Novikov DA.** Structure of control theory of socio-economical systems [In Russian]. *Control of large systems.* 2009; 24: 216–257.
- [58] A fairly general theory of management. Staged materials of the training course of the Faculty of Applied Mathematics - Management Processes of St. Petersburg State University [In Russian]. St. Petersburg, 2011. P.228.
- [59] **Miller GA.** The magical number seven, plus or minus two: some limits on our capacity for processing information. *Psychol. Rev.* 1956; 63(2): 81–97. DOI:10.1037/h0043158.
- [60] **Eco U, Sebeok TA.** (eds.) The Sign of three: Dupin, Holmes, Peirce. Indiana University Press, 1983. 256 p.
- [61] **Surov I.** Opening the black box: finding Osgood’s semantic factors in word2vec space. *Informatics and Automation*, 2022, Issue 21, Vol. 5, 916–936. DOI: <https://doi.org/10.15622/ia.21.5.3>.
- [62] Google Code Archive. Pretrained word2vec model GoogleNews-vectors-negative300.bin.gz [Electronic resource]. 2013. <https://code.google.com/archive/p/word2vec/>.
- [63] **Mikolov T et al.** Distributed Representations of Words and Phrases and their Compositionality. NIPS’13 Proceedings of the 26th International Conference on Neural Information Processing Systems. 2013.
- [64] **Surov IA.** Quantum core affect. Color-emotion structure of semantic atom. *Front. Psychol.* 2022; 13. DOI: 10.3389/fpsyg.2022.838029.
- [65] **Pally R.** The predicting brain: Unconscious repetition, conscious reflection and therapeutic change. *Int. J. Psychoanal.* 2007; 88(4): 861–881. DOI:10.1516/B328-8P54-2870-P703.
- [66] **Behrens TEJ et al.** Learning the value of information in an uncertain world. *Nat. Neurosci.* 2007; 10(9): 1214–1221. DOI:10.1038/nn1954.
- [67] **Bubic A, von Cramon D, Schubotz RI.** Prediction, cognition and the brain. *Front. Hum. Neurosci.* 2010; 4(March): 1–15. DOI:10.3389/fnhum.2010.00025.
- [68] **Clark A.** Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behav. Brain Sci.* 2013; 36(3): 181–204. DOI:10.1017/S0140525X12000477.
- [69] **Barrett LF, Simmons WK.** Interoceptive predictions in the brain. *Nat. Rev. Neurosci.* Nature Publishing Group, 2015; 16(7): 419–429. DOI:10.1038/nrn3950.
- [70] **Greve P.F.** The role of prediction in mental processing: A process approach. *New Ideas Psychol.* Elsevier Ltd, 2015; 39: 45–52. DOI:10.1016/j.newideapsych.2015.07.007.
- [71] **Vityaev E, Pak B.** Prototypes of the “natural” concepts discovery. *Cogn. Syst. Res.* 2021; 67: 1–8. DOI:10.1016/j.cogsys.2020.12.005.
- [72] **Whitehead AN.** Process and reality. New York: The Free Press, 1929. 413 p.
- [73] **Lepsky VE.** Systems approach in social and economic cybernetics [In Russian]. *System analysis in economics* 2018. P.353–356. DOI:10.33278/SAE-2018.rus.353-356.
- [74] **Lepsky VE, Arshinov VI.** (eds.) On the way to postnonclassic conceptions of control [In Russian]. Moscow: Institute of philosophy RAS, 2005.
- [75] **Lepsky VE.** Economical cybernetics of developing media (cybernetics of the third order) [In Russian]. *Control sciences.* 2015; 46: 22–33.

- [76] **Lepsky VE.** Reflexivity in control of social systems (philosophic-methodological analysis) [In Russian]. *Philosophy of science and texhnology*. 2021; 26(2): 127–147. DOI:10.21146/2413-9084-2021-26-2-127-147.
- [77] **Osgood CE.** The nature and measurement of meaning. *Psychol. Bull.* 1952; 49(3): 197–237. DOI:10.1037/h0055737.
- [78] **Osgood CE.** On the whys and wherefores of E, P, and A. *J. Pers. Soc. Psychol.* 1969; 12(3): 194–199. DOI:10.1037/h0027715.
- [79] **Surov IA.** Quantum model of subjective semantics [In Russian]. *HYSIS Proceedings* / ed. Kolesnikov AV. 2022. P.205–212.
- [80] **Surov IA.** Natural Code of Subjective Experience. *Biosemiotics*. 2022; 15(2): 109–139. DOI:10.1007/s12304-022-09487-7.
- [81] **Petrenko VF.** Fundamentals of psychosemantics [In Russian]. 3rd ed. Moscow: Eksmo, 2010. 480 p.
- [82] **Petrenko VF, Mitina OV.** Political psychology. Psychosemantic approach [In Russian]. *Socium*, 2018. 592 p.
- [83] **Yanshin PV.** Color sociometry. Study of emotional state of a group [In Russian]. *Proc. of MGPU 2010*. P.278–288.
- [84] **Aitken S., Curtis J.** A Process Ontology // *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*. 2002; DOI:10.1007/3-540-45810-7_13.
- [85] **Kassel G.** Physical processes, their life and their history. *Appl. Ontol.* 2020; 15(2): 109–133. DOI:10.3233/AO-200222.
- [86] **Guarino N, Oberle D, Staab S.** What Is an Ontology? // *Handbook on Ontologies* / ed. Staab S., Studer R. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009. P.1–17. DOI:10.1007/978-3-540-92673-3_0.
- [87] **Borgest NM, Korovin MD.** Ontologies: present state, short survey [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013. 2: 49–55.
- [88] **Volchenkov EY.** The ontology of anthropogenic systems: Information aspects. *Sci. Tech. Inf. Process.* 2011; 38(3): 173–179. DOI:10.3103/S0147688211030117.
- [89] **Guarino N.** Understanding, building and using ontologies. *Int. J. Hum. Comput. Stud.* 1997; 46(2–3): 293–310. DOI:10.1006/ijhc.1996.0091.
- [90] **Borgest NM.** Key terms of the ontology of designing: survey, analysis, generalization [In Russian]. *Ontology of designing*. 2013; 3: 9-31.
- [91] **Green S, Southee D, Boulton J.** Towards a design process ontology. *Des. J.* 2014; 17(4): 515–537. DOI:10.2752/175630614X14056185480032.
- [92] **Fuster JM.** Upper processing stages of the perception–action cycle. *Trends Cogn. Sci.* 2004; 8(4): 143–145. DOI:10.1016/j.tics.2004.02.004.
- [93] **dos Santos França J.B. et al.** KIPO: the knowledge-intensive process ontology. *Softw. Syst. Model.* Springer Berlin Heidelberg, 2015; 14(3): 1127–1157. DOI:10.1007/s10270-014-0397-1.
- [94] **Borgest NM.** Scientific basis of ontology of designing [In Russian]. *Ontologies of designing*. 2013; 1: 7–25.
- [95] **Valkman YR, Tarassov VB.** From ontologies of designing to cognitive semiotics [In Russian]. *Ontology of designing*. 2018; 8(1): 8–34. DOI:10.18287/2223-9537-2018-8-1-8-34.
- [96] **Lepsky VE.** Formation of strategic actors in the global information society: problem statement [in Russian] // *Informational society*. 2002; 1: 50–58.
- [97] **Leshkevich TG.** The problem of subjectivity and the subjectless state of Russia in the context of the economocentricity of the modern era [In Russian]. *Scientific Thought of the Caucasus*. 2012; 2: 12–20.
- [98] **Merzlykov AA.** The Problem of Subjectivity in the Sociology of Management [in Russian]. *Sociologicheskaya Nauka i Socialnaya Praktika*. 2018; 24(4): 95–104. DOI: 10.19181/snsp.2018.6.4.6087.
- [99] **Jaeger J, Monk N.** Everything flows. A process perspective on life. *EMBO Rep.* 2015; 16(9): 1064–1067. DOI:10.15252/embr.201541088.
- [100] **Nicholson DJ, Dupre J.** (eds.) *Everything Flows: Towards a Processual Philosophy of Biology*. Oxford University Press, 2018.
- [101] **Selivanov VV.** The theory of thinking as a process: an experimental confirmation [In Russian]. *Exp. Psychol.* 2019; 12(1): 40–52. DOI:10.17759/exppsy.2019120104.

About the author

Ilya Alekseevich Surov (b. 1990) graduated from the Moscow Institute of Physics and Technology in 2013, Ph.D. (2016). Associate Professor at ITMO University. The list of scientific papers includes more than 25 papers in the field of quantum physics, decision making, cognitive-behavioral modeling and semantic data analysis. Author ID (RSCI): 819354; Author ID (Scopus): 57219761715; Researcher ID (WoS): J-3796-2015. ilya.a.surov@itmo.ru.

Received September 15, 2022. Revised October 24, 2022. Accepted November 16, 2022.