DOI:

О ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ПОВЕДЕНИЯ И СОХРАНЕНИИ ЗАКОНОВ В СЛОЖНЫХ ОТКРЫТЫХ СИСТЕМАХ

Бродский Ю.И.

Федеральный исследовательский центр «Информатика и управление» РАН, Россия, г. Москва, ул. Вавилова д.44/2

yury_brodsky@mail.ru

Аннотация: Работа развивает языковую среду для изучения поведения сложны систем. Рассматривается класс систем, представленный родом структуры в смысле Н. Бурбаки. Изучаются морфизмы базисных множеств таких структур. Произвольные морфизмы могут привести систему к нежелательному поведению. В качестве ограничения морфизмов могут выступать инварианты.

Ключевые слова: геометрическая теория, сложные системы, поведение, модельный синтез, морфизмы, инварианты, сохранение законов.

Введение

В 30-х гг. XIX в., в поле внимания науки впервые попали солитоны (уединенные волны) – физические объекты явно переменного состава, тем не менее, способные в течение достаточно продолжительного времени сохранять свою форму [1]. В конце XIX в. появилась и математическая модель солитона – уравнения Кортевега – де Фриза. В дальнейшем, постепенно приходило понимание, что сохраняющие форму объекты переменного состава, во-первых, не столь редки, и, во-вторых, играют заметную роль в нашей жизни. Например, в условиях жизни СССР, простому автолюбителю было весьма затруднительно регулярно менять своего «железного друга», поэтому часто автомобили ремонтировались «до изнеможения». Иногда из-за этого на дорогах встречались экземпляры, в которых уже не было ни одной «родной» детали, включая двигатель и кузов. Тем не менее, и владельцы, и автоинспекция, считали такой автомобиль тем же самым, что когда-то сошел с конвейера. Стало быть, вполне макроскопических размеров автомобиль, благодаря заботе своего хозяина, приобретал определенные волновые свойства. Наконец, любой из нас к зрелому возрасту вряд ли сохранил заметную часть из тех трех с половиной килограммов вещества, в которых был изначально воплощен. Практически все атомы уже другие, и на вес их больше раз в двадцать, а человек (даже если он убежденный материалист) – тот же самый!

Во второй половине XX в. интерес к таким «самоорганизующимся» системам возрос. Появилось даже новое научное направление – «синергетика», изучающее такие системы. Основоположником этого направления считается И. Пригожин [2], который считал, что в основе самоорганизации лежат открытость и термодинамическая неравновесность сложных систем. В нашей стране это направление развивала школа С.П. Курдюмова [3], где считали, что суть явления самоорганизации в нелинейности систем и возможности их выхода на бифуркации и режимы с обострениями. Были построены и изучены новые математические модели самоподдерживающихся систем, например, брюсселятор Пригожина, уравнения реакции Белоусова – Жаботинского, уравнения типа «реакция – диффузия» и др. Однако, на наш взгляд, от синергетики ожидали большего.

Причина здесь по-видимому в том, что самоорганизация сложных систем рассматривалась исключительно в мире материальном. Самая ходовая современная математическая модель – это набор характеристик и некая структура, обычно это система дифференциальных уравнений, построенная на этих характеристиках. В простейших случаях самоорганизации этого оказывается достаточно. Например, в случае солитона играет роль именно нелинейность уравнений, – при определенных условиях дисперсия может компенсировать увеличение скорости волны с высотой, – и форма волны сохраняется длительное время. Также, в случае автомобильного двигателя с классическим газораспределительным механизмом (ГРМ) создается впечатление, что все исчерпывается материальным миром. Система управления ГРМ присутствует, но она аналоговая – вал ГРМ вращается синхронно с карданным валом за счет цепной или ременной передачи, его профильные кулачки когда это нужно открывают клапаны, а пружины – закрывают. При усложнении систем оказывается, что аналоговые системы управления исчерпывают свои возможности уже при необходимости десятка взаимодействующих между собой контуров управления. Приходится переходить к компьютерным системам управления, в которых наряду с миром материальным нам приходится выходить в мир информационный, где важную роль играют программы, планы, схемы. На наш взгляд, чтобы понять по-настоящему сложную систему, кроме ее материальной составляющей обязательно нужно рассматривать также ее информационную и идейную составляющие, т.е., изучать ее в трех мирах, как учил еще Платон. При этом, в мирах информационном и идейном, сложная система может иметь систему управления превосходящую по сложности ее материальную составляющую. Именно специальная система управления и обеспечивает сложной системе ее самоорганизацию и устойчивое развитие, хотя в простейших примерах этого можно и не заметить. Именно об этом и пойдет речь в данной статье.

1 Сложные системы

По-видимому, понятие «сложной системы» является «зонтичным», т.е. объединяющим целый набор родственных понятий. Поэтому мы не будем здесь пытаться дать ему строгое определение. Перечислим лишь важные для дальнейшего изложения характеристики сложных систем, а также заметим, что в наше рассмотрение попадут далеко не все популярные в наше время сложные системы. Например, мы будем рассматривать агентные системы и не будем – системы дифференциальных уравнений, так как для нас важно поведение агентов, при наличии которого системы дифференциальных уравнений превращаются в дифференциальные игры – гораздо более сложный математический объект, адекватного аппарата для работы с которым пока нет. Также здесь будут упомянуты лишь детерминированные системы. Переход к стохастике – всегда следующий шаг, когда по поводу детерминированных систем уже имеется определенная ясность.

1.1 Важные свойства сложных систем

Перечислим важные свойства сложных систем, рассматриваемых далее.

Фрактальность. Это означает, что компоненты сложной системы могут сами быть сложными системами [4].

Открытость и неравновесность. Сложная система диссипативна, она обменивается с окружающей средой материей, энергией и информацией и далека от термодинамического равновесия [2].

Динамическое равновесие. Вместо термодинамического равновесия сложная система обычно находится в динамическом равновесии, которое проще всего охарактеризовать фразой: «Для того чтобы система работала, она должна работать». Чтобы привести систему в это состояние, нужно затратить определенную энергию – потенциал динамического равновесия. Находясь в динамическом равновесии, система способна поддерживать его и далее, тратя на это часть своей мощности [5].

Поведение. Сложная система обладает поведением, т.е. способностью известным образом реагировать на известные события внутренней и внешней среды [6].

Три мира. По-настоящему сложная система есть не просто совокупность материальных объектов, как говорил А. Пуанкаре, куча кирпича – еще далеко не дом. Важную роль играет ее информационная составляющая, – структуры и программы, упорядочивающие материальную. Также важен набор идей-аксиом, определяющий цели, задачи и методы системы. Рассмотрение сложных систем в этих трех аспектах известно со времен Платона, но в Новое время не было популярным, так как считалось данью идеализму. В наш век информатики оно снова становится актуальным: невозможно или слишком сложно только фиксируя сигналы, проходящие через процессор, понять, чем он занимается, хорошо бы для этого знать его программы. Даже зная несколько программ, не так-то просто, а быть может и невозможно понять, зачем они выполняются так как методы достижения совершенно противоположных целей могут быть похожими. Полную картину динамики сложной системы дает лишь представление о ее жизни в этих трех мирах в совокупности [7].

1.2 Роды структур Н. Бурбаки

Формально семейство моделей-компонент описано как род структуры в смысле Н. Бурбаки [8]. Возникает вопрос, – почему выбран именно этот язык? Основным инструментом математического моделирования в настоящее время являются дифференциальные уравнения. Однако будучи замечательным средством моделирования физических процессов, дифференциальные уравнения не слишком хороши для описания агентных систем, обладающих поведением: корректность постановки не оставляет поведенческих альтернатив. Если все же настаивать на описании агентной системы дифференциальными уравнениями – получится позиционная дифференциальная игра, где уравнения будут ее ограничениями. Это существенно более сложный математический объект, для работы с которым у нас пока нет адекватного математического аппарата (особенно, когда агентов сотни и тысячи).

Упрощенный (не имеющий вспомогательных базисных множеств) род структуры Н. Бурбаки Σ, имеет следующий синтаксис:

Σ =< базисные множества; соотношения типизации; аксиомы>

– в угловых скобках, через точку с запятой перечислены три раздела. Первый – основные базисные множества, где через запятую перечисляются эти множества. Второй – соотношения типизации. Третий – аксиомы – произвольные истинные утверждения над базисными множествами, их элементами, родовыми константами.

Скажем несколько слов о том, почему в качестве рабочего языка были выбраны роды структур Н. Бурбаки, а не иные конструкции, как например, категории или алгебраические модели. Автор позиционирует себя исключительно как прикладника в области сложных систем, не претендуя на интересы в таких областях, как основания математики или теория формальных систем. Тем не менее, для изучения очерченного выше класса сложных систем нужен адекватный математический инструмент. Как уже говорилось выше, любимые всеми дифференциальные уравнения не очень для этого подходят. А вот роды структур Н. Бурбаки – подходят. Попытаемся это показать.

Выше предлагалось рассматривать сложные процессы и системы в трех аспектах – «трех мирах». Если посмотреть на упрощенное определеније рода структуры в начале параграфа, можно видеть, что три его раздела как раз и представляют упомянутые выше «три мира». Первый раздел – основные базисные множества – это «материальный мир» рода структуры, в котором она находит воплощение, но от которого достаточно независима, так как он подлежит преобразованиям (морфизмам). Например, один и тот же архитектурный проект дома может быть реализован из кирпича, а может из блоков, а может и из монолитного бетона. Второй раздел – соотношения типизации – собственно и определяет структуру на базисных множествах. Он из мира информатики и определяет, как связаны между собой элементы базисных множеств. Наконец, третий раздел – аксиомы – принадлежат «миру идей». Это предписания и/или запреты, ограничивающие построение структуры во втором разделе. Например, заповеди в религиях или законы сохранения в физике. Отсюда видно, что язык родов структур Н. Бурбаки вполне приспособлен для описания сложных систем в «трех мирах».

Говорилось и об открытости сложных систем. В структурной теории Н. Бурбаки переменности состава соответствуют морфизмы – отображения основных базисных множеств. Синтаксис родов структур выбран так, чтобы отображения основных базисных множеств легко переносились на соотношения типизации. Для этого от ступеней S, требуется:

1. Основные и вспомогательные базисные множества считаются ступенями.
2. Если S – ступень, то $\beta(S)$ (множество всех подмножеств S) – тоже ступень.
3. Если S и S' – ступени, то и $S \times S'$ (декартово произведение S и S') – ступень.
4. Других ступеней нет.

И снова мы видим, что язык родов структур Н. Бурбаки приспособлен для описания открытых систем. Переменный состав сложной системы – это морфизмы основных базисных множеств.

2 Модельный синтез

Для изучения и моделирования сложных систем, обладающих свойством фрактальности, был разработан модельный синтез – теорию обосновывающую сквозную технологию описания, синтеза и программной реализации моделей сложных агентных систем [9]. Модельный синтез формализует понятие обладающего поведением агента – элементарной сложной системы. Универсальный агент, называемый в модельном синтезе моделью-компонентой обладает следующими двумя важнейшими свойствами:

- Организация имитационных вычислений представителей семейства моделей-компонент однотипна, поэтому может выполняться одной универсальной компьютерной программой, притом ориентированной на параллельные вычисления.
- Семейство моделей-компонент замкнуто относительно операции объединения конечного числа моделей-компонент в комплекс. Это позволяет строить сложные фрактальные агентные системы, не заботясь о том, как потом организовывать их вычисления.

Указанные свойства позволяют строить сложные фрактальные агентные системы, не заботясь о том, как потом организовать их вычисления. Важным следствием модельного синтеза является то, что практически любой сложной агентной системе: стране, театру боевых действий, холдингу, заводу, университету, политической партии, социальному слою, можно сопоставить, хотя бы в качестве мысленного эксперимента, математический объект – модель-компоненту.

История агентного подхода в моделировании начинается с 70 гг., если не раньше. За это время авторами было придумано множество самых различных видов агентов. Про модель-компоненту можно сказать, что это не очередная эвристическая конструкция агента, а следствие необходимых для возможности моделирования условий, – в первую очередь, гипотезы о замкнутости модели [9]. В той же работе были указаны близкие к гипотезе о замкнутости достаточные условия возможности построения модели – своего рода теорема о существовании. Таким образом, конструкция модели-компоненты следует из предположения о возможности построения модели сложной системы и обеспечивает, при некоторых дополнительных условиях, эту возможность.

Перейдем теперь к описанию рода структуры модель-компонента. Заметим, что в [9] семейство моделей компонент было описано однопарамерическим семейством Σ_N упрощенных (без вспомогательных базисных множеств) родов структур. Здесь это семейство будет описано чуть иначе – одним родом структуры, но со вспомогательным базисным множеством ¥ – натуральных чисел.

$$\sum(¥,\xi) =< X, M, E, \{M_j\}_{j=1}^N, \{E_j\}_{j=1}^N, ¥;$$

$$N \subset ¥,$$

$$(1)\ \ x \subset X,\ a \subset X,$$

$$(2)\ \ s \subset M,\ f \subset M,$$

$$(3)\ \ \left\{m_{j,real} \subset M_j \times M\right\}_{j=1}^N,$$

$$(4)\ \ \left\{e_{j,real} \subset E_j \times E\right\}_{j=1}^N,$$

$$(5)\ \ \left\{m_{j,in} \subset M_j \times \beta(X)\right\}_{j=1}^N,$$

$$(6)\ \ \left\{m_{j,out} \subset M_j \times \beta(X)\right\}_{j=1}^N,$$

$$(7)\ \ \left\{e_{j,in} \subset E_j \times \beta(X)\right\}_{j=1}^N,$$

$$(8)\ \ \left\{sw_j \subset E_j \times M_j \times M_j\right\}_{j=1}^N,$$

$$(9)\ \ \left\{m_j^0 \subset M_j\right\}_{j=1}^N,$$

$$(10)\quad \left\{p_j \subset \beta(M_j) \times \beta(E_j) \times M_j \times \beta(E_j \times M_j \times M_j)\right\}_{j=1}^N;$$

$$\xi : |N| = 1,$$

$$R_1 : (x \cup a = X) \,\&\, (x \cap a = \varnothing)\ ,$$

$$R_2 : (s \cup f = M) \,\&\, (s \cap f = \varnothing)\ ,$$

$$R_3 : \left\{\left(\forall m \in M_j\right)\left(\exists!\tilde{m} \in M\right)\left(\left\{m, \tilde{m}\right\} \in m_{j,real}\right)\right\}_{j=1}^N,$$

$$R_4 : \left\{\left(\forall e \in E_j\right)\left(\exists!\tilde{e} \in E\right)\left(\left\{e, \tilde{e}\right\} \in e_{j,real}\right)\right\}_{j=1}^N,$$

$$R_5 : \left\{\left(\forall m \in M_j\right)\left(\exists! r \in \beta(X)\right)\left(\left\{m, r\right\} \in m_{j,in}\right)\right\}_{j=1}^N,$$

$$R_6 : \left\{\left(\forall m \in M_j\right)\left(\exists! r \in \beta(x)\right)\left(\left\{m, r\right\} \in m_{j,out}\right)\right\}_{j=1}^N,$$

$$R_7 : \left\{\left(\forall e \in E_j\right)\left(\exists! r \in \beta(X)\right)\left(\left\{e, r\right\} \in e_{j,in}\right)\right\}_{j=1}^N,$$

$$R_8 : \left\{ \left(\left(\forall e \in E_j \right) \left(\exists ! r \in M_j \times M_j \right) \left(\{e, r\} \in sw_j \right) \right) \& \right.$$

$$\left. \& \left(\left(\{e, r\} \in sw_j, \{\tilde{e}, \tilde{r}\} \in sw_j, r = \tilde{r} \right) \Rightarrow \left(e = \tilde{e} \right) \right) \right\}_{j=1}^{N},$$

$$R_9 : \left\{ p_j = \left\{ M_j, E_j, m_j^0, sw_j \right\} \right\}_{j=1}^{N},$$

R_{10}: аксиома однозначности вычисления характеристик модели-компоненты,

R_{11}: аксиома поведения модели-компоненты [9] (организации имитационных вычислений)>.

Здесь ¥– множество натуральных чисел, N – натуральное число (содержательно – количество процессов в модели-компоненте), $\beta(\cdot)$ – множество всех подмножеств множества стоящего в скобках. Процессы определяются соотношениями типизации (10) и аксиомами R_9 (косвенно в их определения входят также соотношения (8) с аксиомами R_8, определяющие правила переключения элементов в процессах и соотношения (9), определяющие начальные элементы процессов.

Обозначение $\left\{ \ldots_j \right\}_{j=1}^{N}$ используется для краткости и означает, что содержимое скобок повторяется через запятую N раз, при этом индекс j заменяется на $1,\ldots,N$. Например, $\left\{ M_j \right\}_{j=1}^{N}$ есть сокращенный вариант записи $M_1,\ldots,M_N$.

Далее, X – множество характеристик модели и $X = \{x, a\}$, где x − внутренние характеристики модели, а a − ее внешние характеристики. M − множество различных реализаций методов-элементов и $M = \{s, f\}$ − медленные s, реализующие гладкую зависимость внутренних характеристик модели от ее внутренних и внешних характеристик, и быстрые f − реализующие скачки внутренних характеристик модели. E – множество различных реализаций методов-событий, связанных с моделью. События – это то, на что обязана реагировать наша модель. Метод-событие – функция, которая, получая на входе подмножество характеристик $Y \subset X$, на выходе дает неотрицательное число, означающее, что событие наступило, если число равно нулю, или же прогноз времени до наступления события, если число положительно.

Каждый процесс p_j, $j = 1,\ldots,N$, определяемый (10) и R_9, последовательно осуществляет некоторый конечный набор возможных для него элементарных действий M_j, который будем называть множеством его методов-элементов, возможно, в зависимости от возникающих в системе ситуаций E_j, на которые процесс умеет реагировать, их будем называть множеством его методов-событий. Соотношения типизации (3), (4) показывают, откуда берутся методы-элементы и методы-события процессов, (5) – (7) определяют характеристики модели, передающиеся методам-элементам и принимающиеся от них; соотношение (8) задает правила переключения элементов под влиянием событий.

Аксиомы R_1 – R_8 уточняют соотношения (1) – (8).

Модельный синтез не является геометрической теорией, так как для задачи синтеза морфизмы не нужны, поэтому неинтересны и их инварианты, однако он вплотную подводит к такой теории.

3 Геометрическая теория

Что такое геометрическая теория? Структурализм в математике присутствовал всегда, однако осознанный интерес к нему вернулся после Эрлангенской программы, где Ф. Клейн дал классификацию известных ему геометрий.

Возможно, Эрлангенская программа так быстро завоевала умы и сердца потому, что проективные преобразования не покушаются на смыслы. После них геометрические объекты хотя и оказываются несколько «покореженными», но не перестают быть геометрическими объектами (по крайней мере в смысле проективной геометрии). В открытых системах все оказывается сложнее. Попробуем пояснить это на гуманитарном примере.

Возьмем стихотворение и начнем менять в нем слова. Такие замены будем называть **морфизмами**. Что у нас получится? Если слова-заменители будут произвольны – скорее всего то, что с полным правом можно назвать ерундой. Между прочим, первый такой широко известный опыт – стих о Бармаглоте в «Алисе в Зазеркалье» Л. Кэролла относится к 1871 г. – чуть раньше Эрлангенской программы. В этом стихотворении иногда еще остаются «нормальные» слова. Из этой серии знаменитая фраза академика Л. Щербы: «Глокая куздра штеко булданула бокра и кудрячит бокренка» и рассказы Л. Петрушевской «Пуськи бятые». Маленькие дети часто любят подобные стихи – для них звучание важнее смысла. Взрослые же, особенно не испорченные структурализмом, порой реагируют на отсутствие смысла очень бурно, вспомним столкновение Н.С. Хрущева с авангардистами в начале 60-х.

Дети растут и начинают понимать, что чтобы стихотворение осталось стихотворением, слова нужно заменять не как попало. Должны сохраняться некоторые **инварианты**: рифма, ритм, размер. Более взрослые дети учатся как выбирать слова, чтобы стихотворение оставалось осмысленным при морфизмах слов. Формальный способ, как это делать, автору неизвестен, хотя в детстве ему приходилось достаточно успешно этим заниматься – в нашем дворе почему-то больше всего досталось стихотворению С. Михалкова «А что у вас?».

Дети осваивают и инварианты и даже смыслы, и начинают шалить. Известны парафразы «Евгения Онегина», написанные в стиле И. Баркова. Мы видим, что морфизмы могут полностью изменить и форму, и исходный смысл стихотворения, причем, в том числе, в нежелательном направлении. Сохранить форму нам помогли инварианты: рифма, ритм, размер. Возможно, какие-то инварианты будут способны удерживать смысл в заданных рамках – об этом пойдет речь далее.

В заключение параграфа заметим, что в отношении широкого класса сложных систем, в том числе и социальных, все обстоит еще сложнее. Экспериментируя со стихотворением, мы заменяем слово, когда хотим (можем и не заменять) и ищем ему замену, пока не найдем достойную, – никто нас не торопит. В реальных социальных системах замена их слов (базисных множеств их структур) происходит как данность, помимо нашей воли. Иногда регулярно, например, состав призывников любого подразделения Российской армии обновляется раз в полгода наполовину. Если же армия ведет боевые действия, состав ее подразделений может существенно обновляться на временах порядка неделя – месяц. Бакалавриат ВУЗа – обновляется раз в год на четверть; магистратура – раз в год наполовину. В стране примерно раз в 25-30 лет меняются поколения. Иногда нерегулярно – наемный работник предприятия может уволиться в любой момент. Все замены имеют поведение, вообще говоря, отличное от тех, кого заменяют. Возникает серьезная задача, которую в терминах наших экспериментов со стихами можно сформулировать так: как при неизбежных заменах, не скатиться со временем от «Евгения Онегина» к барковщине на его тему.

Геометрический метод неоднократно успешно применялся для исследования и классификации различных математических объектов и физических явлений. Здесь мы попытаемся использовать его для изучения поведения сложных систем.

4 Морфизмы и инварианты поведения

Самое важное свойство модели-компоненты – это наличие у нее поведения, т.е. способности тем или иным заранее известным способом (методом-элементом) отвечать на те или иные также заранее известные воздействия (события) внутренней и внешней среды. Это поведение заранее запрограммировано в основном соотношениями (8) – (10) с аксиомами R_8 – R_{11}, выбором базисных множеств M и E, и отчасти соотношениями (3), (4) с аксиомами R_3, R_4. На самом деле, в программировании поведения модели-компоненты так или иначе участвуют все составляющие ее описания, но в первую очередь – именно перечисленные выше.

Описав поведение всех моделей-компонент и построив синтез всех комплексов, включая комплекс самого высокого уровня, получим поведение нашей имитационной системы. Теперь морфизмы базисных множеств, в первую очередь M и E (так как это проще и понятней, но, возможно, и остальных), можно трактовать как изменения поведения системы.

Изменения (перепрограммирование) поведения сложной системы, их изучение, моделирование и классификация очень актуальны. Нам часто приходится менять поведение. Например, устраиваясь на новую работу или получая новое задание на старой, создавая новые и меняя старые социальные связи и т.д.

Ничем не ограниченные морфизмы могут незаметно за не слишком продолжительное время привести систему к поведению в некотором смысле противоположному исходному. Пример такой деформации поведения – окна Овертона [10]. Поэтому естественным образом возникает вопрос об инвариантах, ограничивающих все множество возможных морфизмов и о классификации типов поведения, связанных с этими инвариантами.

Как работают инварианты? Инвариант, являющийся аксиомой на языке описания структуры сложной системы, выделяет из группы морфизмов подгруппу допустимых этим инвариантом морфизмов, которые сохраняют его.

Подобными инвариантами, ограничивающими в социуме преобразования поведения, традиционно являются религиозные заповеди, моральные и культурные ценности, то что можно назвать Законом с большой буквы. Не всегда Закон носит исключительно религиозный характер, туда могут входить и как древние традиции той или иной культуры (например, закон гор – адат), так и новые, конструктивистские, вполне светские нормы (например, моральный кодекс строителя коммунизма, хотя в последнем случае имеет место существенное заимствование из религиозных заповедей, или единая нация строителей коммунизма – советский народ).

До тех пор, пока в общественном сознании прочно укоренен Закон, окна Овертона не могут успешно работать в противоречащем ему направлении – это сразу вызовет общественное неприятие и порицание. Например, если общество считает нравственным инвариантом библейские заповеди, никакие окна Овертона не способны сделать общественной нормой супружеские измены или однополые браки.

5 Самоподдерживающееся существование сложной системы

В классической физике обычно рассматриваются замкнутые системы и важнейшим средством их изучения являются законы сохранения. Посмотрим, что может дать теория агентного моделирования для исследования устойчивости более сложных систем. Например, рассмотрим университет. Морфизмы базисных множеств учебного заведения – это смена поколений учащихся, преподаватели также меняются, но обычно на более длительных временах. Также со временем может изменяться состав работников и администрации любого предприятия и даже здания и место, где это предприятие находится. Тем не менее в восприятии всех, кто имеет с ним дело, предприятие остается «тем же самым». Что же делает его тем же самым? – это его структура, выраженная в нормативных документах (например, уставе, перечне должностных обязанностей, трудовых договорах), а также неписанных корпоративных законах и традициях. При этом и писанные и неписанные программы поведения основаны на инвариантах – аксиомах, на которых построена структура организации.

Почему сохраняется структура? Чтобы функционировать, диссипативной системе необходимо тратить часть своей мощности на поддержание процесса ее функционирования, а также на поддержание ее структуры, в том числе и функциональностей, не задействованных в данный момент. Самый простой пример – четырехтактный двигатель внутреннего сгорания. На такте сгорания производится работа и ее должно хватать хотя бы на остальные такты – выхлопа, набора и сжатия смеси, а также на работу топливного насоса, системы охлаждения, смазки и т. д. Равенство произведенной работы и постоянных расходов наступает на холостых оборотах двигателя. Поэтому невозможно заставить его работать с меньшими оборотами – он просто остановится. Чтобы двигатель крутился, он должен крутиться! Это и есть динамическое равновесие. Чтобы запустить двигатель, нужно специальное внешнее воздействие стартера – устройства, вообще говоря, не имеющего никакого отношения к работе уже запущенного двигателя. Стартер сообщает двигателю потенциал динамического равновесия, лишь имея который, он может работать.

Примерно так, только еще чуть сложнее, обстоит дело и со всякой сложной диссипативной системой. Так же, как двигатель, такая система для того, чтобы работать, должна работать. Ее равновесие тоже динамическое. Потенциалом динамического равновесия будет сумма затрат в единицу времени на поддержание структуры сложной системы. Например, если мы говорим о предприятии – нужно платить зарплату сотрудникам, в том числе и подразделениям, не имеющим прямого отношения к функциональности организации, таким как бухгалтерия, охрана, хозяйственные службы и т. д. Нужно оплачивать кредиты, аренду помещений и оборудования, услуги связи, отопление, электричество, поддерживать в «боевом» состоянии производственные мощности. Выше упомянуты затраты на поддержание материальной составляющей структуры сложной системы. Кроме нее могут быть составляющие, относящиеся к мирам информации и идей – это поддержание корпоративной культуры отношений и производства (в первую очередь это как раз сохранение инвариантов организации при морфизмах поведения персонала, самый распространенный из которых – текучесть кадров), сохранение и расширение сети клиентов, обучение персонала, связи с учебными заведениями, поставляющими кадры, и многое другое. Хотя эта часть структуры нематериальна, затраты на ее сохранение – вполне материальны и входят в потенциал динамического равновесия.

Чтобы предприятие заработало – нужно сообщить ему потенциал динамического равновесия, для чего существуют специальные механизмы, не имеющие отношения непосредственно к функционированию предприятия, например, привлечение инвесторов, банковский кредит, или эмиссия акций.

Если на достаточно длительном времени доходы предприятия упадут ниже потенциала динамического равновесия, оно станет банкротом, остановится и перестанет существовать в прежнем своем качестве. Скорее всего при этом его базисные множества за бесценок достанутся более успешным предприятиям.

Подводя итог, скажем, что потенциал динамического равновесия – это цена, которую сложная система платит в единицу времени за то, чтобы оставаться самой собой, за сохранение и поддержание своей структуры. За эту цену она получает постоянство законов, по которым живет. Поэтому можно сказать, что в сложной системе вместо законов сохранения имеет место сохранение законов. Система старается сохранить условия своего существования. Впрочем, физические законы сохранения являются частным случаем описанного выше сохранения законов. Они следуют из симметрий – следствий сохранения определенных инвариантов (энергия – однородность времени, импульс – однородность пространства и т.д.).

Выводы

В работе на основании методов модельного синтеза излагаются основы геометрической теории поведения. За каждой предлагаемой конструкцией вполне может стоять имитационная модель, построенная методом модельного синтеза и, следовательно, представленная вполне формальным математическим объектом – моделью-компонентой. Появляется возможность вести дискурс в терминах родов структур, морфизмов базисных множеств, инвариантов, сохраняемых этими морфизмами и т.д.

Геометрическая теория дает математическую языковую среду для дискурса в предметной области моделирования поведения сложных систем, т.е. возможность выявлять достаточно тонкие различия рассматриваемых сущностей, которые обычно теряются, сливаются при их гуманитарном обсуждении на естественном языке. Отсутствие такой языковой среды часто ведет к кажущимся противоречиям при обсуждении проблем, возникающих при таком моделировании.

С помощью языка геометрической теории показано, что для поддержания заданного поведения сложной системы недостаточно одних лишь физических действий по поддержанию потенциала динамического равновесия. Обязательно нужна идейно-информационная система программирования сохранения инвариантов, обеспечивающих заданное поведение. В работе она названа культом. Культ наряду с поддержанием потенциала динамического равновесия обеспечивают сохранение законов функционирования сложной системы. Известные физические законы сохранения являются частным случаем сохранения законов в сложных системах. Феномен сохранения законов подтверждает мнение П.А. Флоренского, что в основе культуры, как системы общественного поведения, лежит культ [11].

В целом, затраты части мощности сложной системы на поддержание культа и потенциала динамического равновесия можно считать ее жертвой, за которую она приобретает стабильность законов своего существования (сохранение законов в сложных открытых системах). Жертвой, как известно из мировых религий, держится этот мир. Предлагаемый язык оказывается в том числе пригодным для интерпретирования некоторых философско-религиозных высказываний.

Литература

1. *Филиппов А.Т.* Многоликий солитон. // Библиотечка «Квант», вып. 48, М.: Наука, 1990. 256 с.
2. *Николис Г., Пригожин И.* Самоорганизация в неравновесных системах. М.: Мир, 1979.
3. Сайт, посвященный *С.П. Курдюмову* – http://spkurdyumov.ru (доступ – июнь 2020)
4. *Бусленко Н.П.* Моделирование сложных систем М.: Наука, 1978. 400 с.
5. *Бродский Ю.И.* Устойчивое развитие и кризисные явления в эволюции сложных систем // Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов, 2009. Т. 24, №1(24) С. 103-137.

6. *Бродский Ю.И.* О математическом моделировании поведения сложных систем // Труды Института системного анализа Российской академии наук, 2018. Т. 68, №2, С. 12-15. DOI: 10.14357/20790279180203
7. *Бродский Ю.И.* О сложных процессах, аналогиях, структурах, математическом моделировании, трех мирах и информатике // Моделирование, декомпозиция и оптимизация сложных динамических процессов, 2016. Т.31, №1(31), С. 86-108.
8. *Бурбаки Н.* Теория множеств. М.: Мир. 1965. 456 с.
9. *Бродский Ю.И.* Модельный синтез и модельно-ориентированное программирование М.: ВЦ РАН, 2013, 142 с.
10. A brief explanation of the Overton window. // Mackinac Center for Public Policy, official site. https://www.mackinac.org/OvertonWindow (last access – May 29, 2020)
11. *Флоренский П.А.* Столп и утверждение истины: Опыт православной теодицеи. М.: АСТ, 2007. 633 с.