УДК 510.25

О ВЗАИМОСВЯЗИ ФОРМАЛИЗАЦИИ ОПИСАТЕЛЬНЫХ НАУК, КОГНИТИВНОГО АНАЛИЗА, «ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА», ТЕОРИИ ИГР И ТЕОРИИ КЛС[1]

В.В. Шевченко (*vsh1953@mail.ru*)
Вычислительный центр им. А.А. Дородницына

ФИЦ ИУ РАН, Москва

В работе сопоставляются базовые представления и проводится обобщающая оценка возможностей современных подходов к формализации описательных наук, построению точного языка описания и анализа мыслительных и социально-экономических процессов, к разработке нового поколения систем поддержки принятия решений. Предлагается парадигма изучения обозначенного круга вопросов, основанная на использовании оригинального математического аппарата конструктивных логических систем и обобщающего класса игровых моделей, в рамках которого рассматриваются динамические ансамбли статических игр.

Ключевые слова: когнитивный анализ, искусственный интеллект, теория игр, исследование операций, конечные автоматы, конструктивные логические системы

Введение

В работах **[Дородницын, 1997ab]** одним из основоположников современной информатики и наиболее ярких мастеров точного исследования прошедшего столетия сформулирована методология формализации описательных наук, принципиального повышения уровня точности и строгости используемых такими науками терминов и представлений. При этом, в видении А.А. Дородницына, «”точность” или “описательность” не есть свойство данной науки, а лишь характеристика этапа её развития. Все науки когда-то были описательными, включая даже математику». В силу наличия проблемы оснований математики, проблемы

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 00-00-00000).

выяснения её минимальной, естественной, органичной постулативной основы (УДК 519.25) можно сказать, что в определённом смысле математика остаётся описательной наукой по сей день. «Если бы философы (учёные) договорились о терминах, большая часть их споров прекратилась бы сама собой» (Зенон). Можно говорить о разных уровнях строгости определения базовых терминов и представлений различных наук (описательный, традиционной математики, конструктивной математики, максимально возможный, идеальный). Формализация описательной науки в видении А.А. Дородницына – повышение уровня строгости её определений от описательного до более высокого, уровня математики и «наук физического цикла (механика, термодинамика, электродинамика, квантовая механика, химическая кинетика и др.)». В работе **[Дородницын и др., 1997]** в качестве одного из инструментов формализации описательных наук предложена достаточно универсальная процедура формальной классификации при наличии системы логически независимых признаков.

Ярким примером попытки формализации описательной науки (экономики) является математическая теория игр, основы которой заложены в работе **[Нейман и др., 1970]**. В этой основополагающей работе фактически поставлена задача построения математически точного языка адекватного описания и анализа социально-экономических процессов как микро-, так и макроэкономического характера. Начавшись с формального описания и анализа антагонистических салонных игр, теория игр поднялась до игрового обобщения задач оптимального управления в дифференциальных динамических системах (дифференциальные игры), рассмотрения не антагонистических игр с не противоположными интересами **[Гермейер, 1971; 1976],** игр с иерархическим вектором интересов **[Гермейер и др., 1974],** рефлексивных игр **[Новиков и др., 2013],** динамических ансамблей статических игр **[Кононенко и др., 2010; 2013; Ерешко и др., 2014].** На повестке дня рассмотрение и использование обобщающего класса рефлексивных операционных игр с иерархическим вектором интересов **[Шевченко, 2018]**, в рамках которого можно будет говорить об адекватном, полноценном, целостном и взаимоувязанном описании многоагентных (межличностных, коллективных, общественных, производственно- и социально-экономических) взаимодействий.

Можно уверенно сказать, что в русле формализации описательных наук разворачивается и развитие когнитивного анализа, явившегося результатом усилий по максимально точному осмыслению процессов восприятия и переработки афферентной (идущей от анализаторов) информации человеком и высшими животными, выработки эфферентных (двигательных) реакций на эту информацию. Естественным следствием таких усилий является изучение и использование частично описательных, частично формальных средств представления информации (графы, диаграммы, рисунки, схемы, …), что имеет вполне определённые приложения.

Бурное развитие вычислительной техники (во многом связанное с именами названных выше Джона фон Неймана и А.А. Дородницына), относящейся к классу динамических объектов с конечным числом состояний и дискретным временем, неразрывно связано с разработкой и использованием булевой алгебры, функций алгебры логики, конечных автоматов **[Глушков, 1962; Поспелов и др., 1972; Поспелов, 1986; Поспелов, 1989; Цетлин, 1969; Turing, 1936].** Недетерминированный конечный автомат Миля (более общего вида чем автомат Мура) задаётся множествами входов, выходов и состояний и многозначными функциями выходов и переходов, определяющими непустые множества возможных состояний в следующий момент дискретного времени и возможных выходов в текущий момент в зависимости от текущих состояния и входа. Можно рассматривать и автоматы с памятью, в которых аргументами данных функций являются предыстории состояний и входов заданной глубины. Но для любого автомата с памятью можно построить (в множествах входов, состояний и выходов, являющихся декартовыми степенями глубины памяти соответствующих исходных множеств) эквивалентный автомат Миля. У детерминированных конечных автоматов функции выходов и переходов однозначны. Может ли любая современная вычислительная система быть представлена в виде конечного автомата, и если может, то какого (детерминированного или нет)? Такая система сама по себе, без учёта возможных сбоев и неисправностей, в силу принципов её построения функционирует как детерминированный конечный автомат Миля. Но адекватно смоделировать поведение недетерминированного автомата, даже с использованием датчиков псевдослучайных чисел, не могут в принципе. Поскольку в основе работы любого такого датчика лежит детерминированный алгоритм.

Человеко-машинные комплексы, включающие не только вычислительные системы, но и живых людей, уже не могут быть адекватно описаны в виде не только детерминированного, но и в виде не детерминированного конечного автомата. Во-первых, потому что недетерминированные конечные автоматы, в отличие от сетей Петри, не допускают (в силу запрета на использование пустых множеств возможных переходов и выходов) конфликтов, неразрешимостей функционирования (движения в дискретном времени). Во-вторых, потому что адекватно описывать живых людей в виде конечных динамических систем можно только с точки зрения предельно упрощенного толкования финитизма Д.

Гильберта **[Гильберт и др., 1979]** А.С. Есениным-Вольпиным и его последователями.

В свете сказанного можно сделать оценку границ и возможностей направления прикладных исследований, получившего наименование «искусственный интеллект» **[Девятков, 2001; Захаров и др., 2010; Нильсон, 1973; Поспелов и др., 1972; Поспелов, 1989]**. С теорией конечных автоматов тесно связана теория конечных адаптивных систем, в которых функции переходов и выходов конечного автомата изменяются тем или иным образом в заданных областях соответствующих функциональных пространств, настраиваясь на достижение адаптивной системой способности распознавания тех или иных образов, реализации тех или иных алгоритмов. Наблюдаемые зависимости выходов конечного автомата от входов сопоставляются с желаемыми и исходя из невязок функции переходов и выходов перемещаются в областях функциональных пространств (как конкретно – искусство разработчиков). Этот процесс называется обучением адаптивной системы. Частным случаем описанных адаптивных систем являются и нейронные сети любой глубины.

Нетрудно понять, что любая конечная адаптивная система, сама по себе, также является детерминированным конечным автоматом. Действительно, функции переходов и выходов изменяются в ней по заданным детерминированным алгоритмам, обучающие выборки, исходя из которых оценивается качество выполнения адаптивной системой поставленных задач, фиксированы и конкретны. Перестаёт быть таковой адаптивная система только тогда, когда объединяется с живыми людьми, функционирует вместе с ними. Из чего следует, что конечные адаптивные системы могут обыгрывать гроссмейстеров в шахматы (как компьютер обыгрывает любого человека в расчётах), но не могут заменить опытного врача, учителя, математика, … В принципе.

При глубоком рассмотрении вопросы соотнесения достижений и возможностей классической традиции научных исследований и «искусственного интеллекта», сопоставления различных подходов к разработке нового поколения систем поддержки принятия решений самого общего вида тесно связаны с проблематикой оснований математики. Эта проблематика возникла в связи с критическим взглядом Б. Рассела **[Russel, 1903]** на аксиоматику наивной теории множеств Г. Кантора **[Кантор, 1985]** с так называемым парадоксом Бертрана Рассела о множестве всех множеств, не содержащих себя в качестве элемента. Д. Гильберт забил тревогу о том, что если математика, как мы её понимаем и преподаём, приводит к нелепостям, то почва уходит из под ног и опереться не на что. И предложил свой путь спасения **[Гильберт и др., 1979]**, известный под терминами «финитизм» и «теория доказательств». Суть этого предложения состоит в том, что любое новое математическое представление начинается с построения финитного (конечного) прообраза этого представления. Корректная работа с конечным прообразом позволяет выстроить конечную теорию со строгими доказательствами, избегая нелепостей типа парадокса Б.Рассела. Далее строгая конечная теория магическим образом, путём инфинитного обобщения всех рассматриваемых понятий, трансформируется в полноценную математическую теорию с бесконечными множествами. В близком ключе высказался и «мозг точных наук» Жюль Анри Пуанкаре **[Пуанкаре, 1990].** В его видении разгадку тайны оснований математики следует искать не в геометрии, а в арифметике, в которой «над всем царит фундаментальнейшее понятие числа». При этом «и в арифметике силлогизм бесплоден», а содержательные результаты получаются в результате абсолютно достоверной математической индукции (рекурренции). Вслед за Пуанкаре и Гильбертом свои предложения высказали интуиционисты **[Гейтинг, 1965]** и коллектив авторов, выступивший под псевдонимом Н. Бурбаки **[Бурбаки, 1965].** Начиная с работы **[Turing, 1936]** обозначилась и весьма кардинальная точка зрения на проблемы оснований математики, в соответствии с которой следует не погружаться в дебри этих проблем, а разрабатывать конкретные машины (Тьюринга и другие), автоматы, конструктивные алгоритмы. В процессе этого всё и прояснится. Такая точка зрения близка и сыну великого русского поэта А.С. Есенину-Вольпину. Фундаментальным обобщением поисков в области оснований математики можно считать теорию конструктивных функций и алгоритмов А.А. Маркова (младшего) **[Марков и др., 1996].** В рамках этого подхода постулируются понятия «конструктивного объекта» и «конструктивного процесса», используется алфавит символов, обозначающих исходные конструктивные объекты и процессы. Сложные объекты и процессы являются словами из символов этого алфавита. Абстракция актуальной бесконечности отвергается, работа проводится в рамках абстракции потенциальной осуществимости.

В видении автора настоящей работы, жирная точка в вопросах оснований математики будет поставлена тогда и только тогда, когда будет открыта естественная природная минимальная постулативная основа построения конечной математики со строгим определением

- исходных постулативных символьных представлений (исходных операндов (множеств), отношений, операций над операндами, логических операций («не» и «и» либо «не» и «или») предикатов (TRUE и FALSE));
- правил построения новых операндов, операций над операндами, отношений, логических операций, предикатов с использованием имеющихся;
- правил доказательства истинности (ложности) предикатов;
- конечного множества (операнда) общего вида.

К аксиоматике конечной математики необходимо добавить постулат правомерности инфинитной (бесконечной) рекурренции построения и математической индукции доказательства (по конечному числу индексов). Это станет основой конструктивного переосмысления достижений математики на более высоком уровне строгости («восхождения к конструктивности» в видении Н.М. Нагорного). При этом исчезнут (за ненадобностью) сомнительные представления о континуальных множествах, останутся множества конечные и счётные. Такая жирная точка прекратила бы опасные спекуляции об отсталости классической научной традиции и о всемогуществе конечных адаптивных систем.

В свете сказанного можно прорисовать позитивную перспективу формализации описательных наук, развития информатики и «искусственного интеллекта», разработки систем поддержки принятия решений нового поколения:

- основой формализации общественных наук (экономика, социология, государство и право, история, политология…) может и должно стать корректное обобщение наработок современной теории игр, исследования операций, экономико-математического моделирования;

- системы поддержки принятия коллективных и общественных решений нового поколения могут быть созданы только на основе точного языка описания социально-экономических процессов, без этого никакие нейронные сети не помогут;

- основой формализации наук о человеке и его познавательных процессах может стать лишь язык математики, включивший в себя средства точного описания процессов трансформации и развития, преобразования уравнений и неравенств, логических соотношений, описывающих поведение системы;

- наработанные инструменты теории автоматов, когнитивного анализа, «искусственного интеллекта» могут и должны активно использоваться в процессе разработки систем поддержки принятия решений нового поколения.

В рамках обозначенного русла разработаны, развиваются и используются теория операционных игр **[Ерешко и др., 2014; Кононенко и др., 2010; Кононенко и др., 2013; Шевченко, 2018]** и теория конструктивных логических систем **[Шевченко, 1988; 2003; 2010; 2016]**. При этом активно используются и сопрягаются с игровыми представлениями многие экономико-математические модели и методы, формально не ассоциированные с математической теорией игр **[Бурков, 1984; Новиков, 2005; Павловский, 2000; Петров, 2003; Поспелов, 2003; Цыганов и др., 2004]**.

Рассмотрим основательнее (в меру отведённого объёма работы) изложенные выше идеи и представления.

1. Формализация описательных наук и когнитивный анализ

В работах **[Дородницын, 1997ab]** Анатолий Алексеевич Дородницын прорисовал вполне определённую методологию формализации описательных наук, процесс становления точных наук. Начальным этапом такого становления, в его видении, является научное (целенаправленное, производимое сознательно для того, «чтобы понять сущность объектов и связи между ними») накопление информации и «её упорядочивание – классификация объектов». Далее следует поступать так:

«Человек должен вести исследования совместно с машиной, или, как говорят сейчас, в режиме постоянного диалога с машиной. Схематически этот процесс можно разбить на шесть этапов.

1. Продуцирование соображений о возможных формах связей (человек).
2. Составление варианта математической модели (человек).
3. Решение модельных задач (машина).
4. Сравнение результатов решения с накопленной информацией, определение несоответствий (машина).
5. Анализ возможных причин несоответствия (человек).
6. Составление нового варианта модели (человек).

Далее идут повторения цикла от 2 до 6.

При положительном результате после нескольких циклов, число которых зависит от здравого смысла человека, модель может быть принята, при отрицательном – необходимо возвращение к п. 1».

Понятно, что обозначенный начальный этап реализуется уже при формировании описательных наук. Но, по мнению А.А. Дородницына:

«Пусть на меня не обижаются ботаники и зоологи, но системы классификации, существующие в этих науках, все субъективны. Почему? Прежде всего, методика классификации совершенно не формализована. Никто не может сказать, что такое отряд, семейство, род, а вводятся теперь и подотряды, и надсемейства, и подсемейства, и подроды.

Во-вторых, разделение группы производится по небольшому числу признаков, просто потому, что с большим числом признаков человек не может обращаться. Если, например, мы возьмём десять признаков и каждому признаку будем придавать лишь два значения (признак присутствует – 1, признак отсутствует – 0), то уже будем иметь 1024 классификационные группы (2^{10}). С этим человек за всю свою жизнь, может быть, ещё и сможет справиться. Но при двадцати признаках число групп будет уже больше миллиона (2^{20}). С этим никакой гений не совладает. Поэтому и приходится человеку ограничивать себя небольшим числом признаков».

В работе **[Дородницын и др., 1997]** предложена процедура формальной классификации равнозначных признаков (понятие «равнозначности признаков» считалось интуитивным, устанавливаемым специалистом в данной предметной области). Суть этой процедуры состоит в следующем:

Пусть *m* – число классифицируемых объектов, а *n* – число признаков. В случае, если $m >> 2^n$, множество объектов естественным образом разбивается на 2^n классов (к одному классу относятся объекты с одним набором признаков). Такую систему классификации А.А. Дородницын назвал тривиальной. В случае, если $m << 2^n$, предлагается пробовать различные системы классификации по сочетаниям значений двух, трёх и более признаков. Вариантов выбора из *n* признаков двух $C_n^2 = \frac{n!}{2!\cdot(n-2)!}$, столько и различных систем классификации по двум признакам. При выборе одной из них с сочетанием признаков *i* и *j* объекты разбиваются на 4 класса: *i=0, j=0*; *i=1, j=0*; *i=0, j=1*; *i=1, j=1*. При классификации по трём признакам систем классификации $C_n^3 = \frac{n!}{3!\cdot(n-3)!}$, в рамках каждой из которых объекты разбиваются на 8 классов и т.д. Математик генерирует различные системы классификации, показывает их специалисту в предметной области и тот выбирает подходящую.

Дополним предложения А.А. Дородницына и его соратников в части формализации описательных наук анализом вопросов, связанных с терминологией. Если провести этот анализ в ключе, заданном А.А. Дородницыным, то что обозначают термины в описательных науках? Либо объекты, либо признаки, либо классы объектов, либо операции над объектами (объединения, разложения, иные), либо связи между объектами. Может быть что-то ещё. Если так, то что означает формализация описательной науки? По всей видимости, конкретизацию всех используемых в ней терминов, обретение каждым термином точного определения. При этом конкретизировать термин, обозначающий объект означает предложить динамическую математическую модель, адекватно описывающую поведение данного объекта. Конкретизировать термин, соответствующий признаку, значит задать отношение (булевозначный функционал), позволяющее по модели и свойствам каждого из рассматриваемых объектов определить, имеет или не имеет место для данного объекта данный признак. Термин, означающий класс, конкретизируется именно так, как предложено в **[Дородницын и др.,**

1997]. Конкретизация термина, соответствующего операции над объектами требует точного математического описания проведения этой операции над моделями объектов-операндов. Связи между объектами также должны формализовываться в виде математических соотношений.

Таким образом, прорисовывается магистральный путь формализации описательных наук, на базе которой только и могут быть сделаны системы поддержки принятия решений нового поколения. Но следование по этому пути требует многих трудов. Надо мучиться вместе со специалистами во многих предметных областях. Зачем? Если всё за нас сделают нейронные сети. Невольно вспоминается известный литературный герой: «Я очень уважаю Остапа Ибрагимовича (А.А. Дородницына). Но он дурак. Гири золотые».

В качестве лирического отступления заметим, что процесс формализации описательных наук вполне соответствует тому, о чём сказано в четверостишии А.С. Пушкина («Пророк»):

«И он к устам моим приник и вырвал грешный мой язык
И празднословный, и лукавый.
И жало мудрое змеи в уста отверстые мои
Вложил десницею кровавой».

Рассмотрим с прорисованной точки зрения комплекс описательных наук, связанных с человеком, его психофизиологией, восприятием, внутренним миром, поведением. Более чем корректным и обоснованным можно считать представление личности (человека, животного, представителей иных форм жизни) в виде объединения с взаимосвязями афферентной (анализаторной) и эфферентной (двигательной, воздействующей на внешний мир) составляющих и внутреннего мира. Афферентная составляющая постоянно передаёт во внутренний мир информацию образного и символьного характера. Внутренний мир представляет собой отражение мира внешнего, включающего саму личность как часть этого мира. Взаимосвязанной совокупности прообразов внешнего мира соответствует взаимосвязанная совокупность их образов во внутреннем мире. Если математика – язык природы, то эти прообразы и образы вполне можно считать математическими моделями. Во внутреннем мире следует также выделить эмоциональную составляющую, оценивающую привлекательность (гармоничность) подмиров миров внешнего и внутреннего, этих миров в целом. Исходя из этих оценок и прогнозов воздействий своих эфферентных воздействий на внешний мир личность вырабатывает и реализует взаимосвязанные последовательности эфферентных воздействий.

Изучение обозначенных процессов составляет первооснову когнитивного анализа. При этом, в соответствии с концепцией П.А. Флоренского, изложенного в работе «Органопроекция», создаваемые нами технические устройства являются и продолжениями, и аналогами наших органов. Включая самый сокровенный таинственный орган (скорее невидимый, чем видимый), ассоциированный с внутренним миром. Чем и обусловлены естественные приложения когнитивного анализа, который сам по себе появился в том же русле формализации описательных наук. Но процесс формализации наук о человеке, конечно же, только начинается.

2. Конечные автоматы, адаптивные системы и «искусственный интеллект»

Автомат конечный (а.к.) недетерминированный – это система (A, S, B, φ, ψ), где A, S, B - конечные, как правило, непустые алфавиты, называемые, соответственно, входным алфавитом, множеством состояний и выходным алфавитом; φ – функция переходов, отображающая множество $S \times A$ в множество подмножеств S, ψ – функция выходов, отображающая $S \times A$ в множество подмножеств B. Такие а. к. называются автоматами Миля. В случае, когда функция выходов ψ отображает S в множество подмножеств B (т.е. не зависит от букв входного алфавита), а.к. называют автоматом Мура. В случае, если функции φ и ψ однозначны – а. к. называется детерминированным. А.к., у которых подмножества S и B, в которые отображают некоторые элементы множества $S \times A$ функции φ и ψ соответственно, могут быть пустыми, - не рассматриваются.

А.к. могут объединяться во взаимосвязанные комплексы автоматов, в которых выходы одних автоматов могут являться входами других. Такой комплекс всегда может быть представлен в виде одного а.к., множество входов которого является декартовым произведением множеств входов тех автоматов, у которых эти множества не являются множествами выходов других автоматов комплекса; множество выходов - декартовым произведением множеств выходов тех автоматов, у которых эти множества не являются множествами входов других автоматов комплекса; множество состояний – декартовым произведением множеств состояний всех автоматов комплекса и всех пересекающихся у автоматов множеств входов и выходов. Таким комплексом, в частности, является любая обученная и работающая в режиме исполнения своей рабочей функции нейронная сеть.

Рассмотрим простой однопроцессорный компьютер с оперативной памятью, регистрами, индикаторами, процессором, периферией. Состояние всего этого комплекса, работающего в дискретном времени с заданной тактовой частотой, в текущий момент определяется длинным двоичным числом, часть которого описывает состояние входной периферии, часть – состояние выходной периферии, часть – состояние активной памяти, часть – состояние процессора, регистров и индикаторов.. Если исключить из рассмотрения сбои и неисправности, то этот комплекс функционирует как детерминированный а.к. Все современные компьютеры, включая многопроцессорные вычислители пятого поколения с управлением потоками данных построены в соответствии с предложенным Джоном фон Нейманом в самом начале принципом: «Конвейер команд и пассивная функция памяти». В силу чего и они функционируют как детерминированный а.к. Равно как и вся совокупность вычислительных средств планеты.

По определению функции φ и ψ а.к. заданы. В силу конечности множеств A, S, B конечны и множества возможных вариантов этих функций (области их варьирования в целочисленных функциональных пространствах) S^{φ} и S^{ψ}. В связи с чем, может быть построен а.к. с множеством состояний $S_{\Sigma} = S \times S^{\varphi} \times S^{\psi}$, содержащий в себе функционирование всех возможных а.к. с заданными множествами A, S, B (его функция переходов в подпространстве S ,будет иметь вид: если мы находимся в точке подпространства S^{φ}, соответствующей функции φ, то φ; функция выходов в подпространстве S - вид: если мы находимся в точке подпространства S^{ψ}, соответствующей функции ψ, то ψ). Если на базе исходного а.к. происходит обучение конечной адаптивной системы путём адаптивного варьирования по невязкам с целью настраивания а.к. на выполнение той или иной функции (распознавание, игра в шахматы и т.д.), то избранный разработчиком алгоритм обучения определит функции переходов построенного сложного а.к. в подпространствах S^{φ} и S^{ψ}. Таким образом, любой из известных процессов обучения конечной адаптивной системы (включая любые нейронные сети и экспертные системы) адекватно описывается в виде функционирования некоторого а.к. Из чего следует, что т.н. «искусственный интеллект» по своей сути не способен выйти за рамки класса детерминированных конечных автоматов. Реальность намного сложнее. Даже а.к. могут быть и не детерминированными. При этом в жизни вполне могут быть пустыми и подмножества S и B, в которые отображают некоторые элементы множества $S \times A$ функции φ и ψ. Ярким подтверждением тому служат являющиеся вполне математическими конструкциями сети Петри.

Сеть Петри определяется как $NP = (T, P, F, M_0)$, где T и P - конечные множества переходов и мест соответственно, M_0 - начальная разметка мест определённым числом фишек от 0 до MAX, разметка в любой момент M: $P \to \{0,1,\ldots,MAX\}$. $F: T \times P \cup P \times T \to \{0,1\}$ показывает наличие или отсутствие направленной стрелки от перехода к месту или от места к переходу на графе сети Петри с множеством вершин $P \cup T$. Функционирование сети Петри происходит в дискретном времени и начинается с начальной разметки. В каждый момент обязан сработать один переход (если может сработать несколько переходов, то срабатывает один из них, выбираемый случайным образом). При срабатывании перехода забирается по одной фишке с каждого места, с которого на графе сети Петри идёт стрелка на сработавший переход, и добавляется по одной фишке на каждое место, на которое идёт стрелка со сработавшего перехода. Если ни один из переходов не может сработать, - возникает тупиковая ситуация.

Всем нам известна школьная задача со звёздочкой: имея шесть спичек построить четыре равносторонних треугольника. Эта задача не решается на плоскости, только в пространстве (правильная треугольная пирамида). Также и многие реальные задачи не решаются конечными автоматами. В принципе. «Искусственный интеллект» может обыгрывать гроссмейстеров в шахматы, но в принципе не способен найти алгоритм сведения игры в шахматы к ничьей за белых или за чёрных. Может находить с заданной точностью корни алгебраических уравнений, но не может найти аналитическое решение алгебраических уравнений пятой и более высоких степеней. Может ставить диагнозы на уровне желторотого ординатора, но не на уровне настоящего опытного врача. И так далее. Взять на себя рутинную работу и освободить время естественного интеллекта (Разума) для творчества – да. Сделать что-либо творческого характера, родить новую технологию («Наука – это там, где делается невозможное» П.Л. Капица) – нет. Чтобы сделать первый шаг к творчеству современной вычислительной системе надо сломаться и перестать быть детерминированным а.к. Но это только первый шаг. Что есть творчество? «Тайна сия велика есьмь».

«Кто не зряч, не видит солнца, хоть и на небо глядит.
Смысл прозренья для невежды за семью замками скрыт».
Абу Али Хусейн ибн Абдаллах ибн Сина (Авиценна).

3. Теория игр и операционное игровое сценарное моделирование

Базовые представления математической теории игр сформулированы в основополагающей монографии **[Нейман и др., 1970].** При этом авторами было акцентировано внимание на том, что в поисках точного языка описания экономических процессов не стоит увлекаться дифференциальными уравнениями, которые появились для описания другой предметной области, физических процессов, и на том, что начать следует с описания с соблюдением норм научной строгости «простейших фактов экономической жизни». Именно в таком русле развивались исследования основателя теории игр с не противоположными интересами Ю.Б. Гермейера **[Гермейер, 1971; 1976; Гермейер и др., 1974]** и его школы. В других направлениях точного исследования социально-экономических процессов **[Бурков, 1984; Новиков, 2005; Павловский, 2000; Петров, 2003; Поспелов, 2003; Цыганов и др., 2004],** избегающих принятой в рамках теории игр строгости определений, также было получено немало интересных и практически значимых результатов. На повестку дня стала задача обобщающего синтеза достигнутого с сохранением уровня строгости математической теории игр.

В рамках школы Ю.Б. Гермейера в процессе конкретной практической работы в области поддержки принятия решений и производственно-экономического прогнозирования (ФЦП «Реформирование и развитие ОПК 2002-2006 годы», разработка промышленной политики Правительства Москвы 2007-2009 годы, Генеральная схема развития и размещения промышленности Москвы 2008-2020 годы, модуль моделирования СЦ ГАС ГОЗ) был определён обобщающий класс игровых моделей (операционные игры) и была разработана основанная на этом методология операционного игрового сценарного моделирования. Эта методология апробирована на решении ряда задач как микро-, так и макроэкономического характера [**Ерешко и др., 2014; Кононенко и др., 2013]**.

Операционную игру можно назвать динамическим ансамблем статических игр, в котором статические игры формализуют (в соответствии с напутствием основоположников) «простейшие факты экономической жизни» (хозяйственные факты: получение денег по расходному ордеру, складское оприходование и т.п.).

При описании операционной игры определяются:

- множество базовых счетов игроков $CNT_b = \left\{cnt_j^i, i = 1,...,N, j = 1,...,m_i\right\}$ (N – число игроков);

- множество проводок $PR = \left\{pr_k(v), k \in K\right\}$, действие каждой из которых при её применении зависит от вектора управления v (функции сумм проводки зависят от значений компонент этого вектора), значение которого определяется выборами игроков и реализацией соответствующих неопределённостей при исполнении в текущий момент данной операции;

- множество рассматриваемых операций - OP.

Под операцией op_β операционной игры понимается совокупность:

- подмножества игроков $ЛПР_\beta \subseteq I$, участвующих в принятии решений по проведению данной операции;

- подмножества множества проводок игры $PR^\beta \subseteq PR$, которые реализуются при проведении операции;

- детерминированной функции (алгоритма) свертки операции $f_\beta^t\left(CNT^t, u_\beta^t, \alpha^t, t\right)$, определяющей зависимость значения унифицированной векторной переменной v в момент t времени от динамики оборотов и сальдо счетов CNT^t, совместного выбора входящих в $ЛПР_\beta$ игроков u_β^t по данной операции и реализации неопределенных факторов α^t, связанных с данной операцией, до момента проведения операции и самого значения этого момента t.

Выделяется 4 подкласса операционных игр: RD-игры (непрерывные счета и дискретное время), RC-игры (непрерывные счета и непрерывное время), ZD-игры (целочисленные счета и дискретное время), ZC-игры (целочисленные счета и непрерывное время). Для описания социально-экономических процессов используются RD-игры. Дифференциальная игра может быть представлена в виде RC-игры, шахматы – в виде ZD-игры. ZC-игры могут использоваться для описания взаимодействий в непрерывном времени, в которых существенные события происходят в заданные моменты дискретного времени. Динамику операционного игрового взаимодействия для каждого класса определяет вполне определённая нелинейная система уравнений и неравенств с логическими включениями. Класс операционных игр в целом включает в себя все известные игровые взаимодействия в конечномерных конфигурационных (фазовых) пространствах.

Опыт использования операционного игрового сценарного моделирования показывает, что на его основе может быть разработана программная среда (платформа) нового поколения генерации в режиме меню широкого круга ИАС поддержки принятия как микро-, так и макроэкономических решений. Такая возможность открывается точным определением и унификацией базовых понятий, используемых в экономике (агент, счёт, проводка, операция, обязательство, сценарное условие, сценарный план, договор). При этом могут и должны использоваться все конструктивные наработки экономико-математического моделирования, интеллектуальных систем (анализ систем обязательств вида ЕСЛИ <условие> ТО <действие> ИНАЧЕ <санкция.>), эконометрической обработки ретроспективной информации.

4. Конструктивные логические системы и их семейства

Одной из слабых сторон современной математики является её не способность описывать процессы развития, трансформации свойств и связей, самих пространств реальных сущностей. В последние десятилетия появились математические теории катастроф и конфликтов, однако ни одна из них не может претендовать на роль полноценного точного языка описания процессов развития. На качественном уровне катастрофические процессы описывает поэзия живого языка, на уровне строгости философских построений – законы диалектики Гегеля (единства и борьбы противоположностей, перехода количественных изменений в качественные, отрицания отрицания). Второй слабой стороной математики является недостаточная гибкость имеющихся средств оперирования с математическими конструкциями (описаниями), несопоставимая с гибкостью средств оперирования с образами живого языка.

Выше шла речь о том, что в современной теории недетерминированных конечных автоматов не допускаются пустые множества выходов и переходов в соответствующих функциях. О том, что в сетях Петри возникают неразрешимости (тупиковые ситуации) и о том, что финитизм Д. Гильберта предлагает начинать с рассмотрения финитной (конечной) подосновы всех математических построений. Более 30 лет назад, при работе в ЦАГИ над созданием полунатурных комплексов моделирования динамики полёта и анализе гибридных (частично непрерывных, частично дискретных) систем автор решил попробовать записывать свойства движений в дискретном времени систем с конечным числом состояний (а.к., в частности) не в виде детерминирующих (частично или полностью) движение функций (переходов и выходов), а в виде логических ограничений (ЛО), запрещающих переходы заданного вида в процессе движения. Простейшим ЛО (порядка и глубины 1) является запрет перехода за 1 такт дискретного времени из i-го состояния в j-е. ЛО общего вида запрещает в текущий момент находиться в заданном подпространстве конечного пространства состояний, если в моменты, отстоящие от текущего на заданные числа тактов, система находилась в других заданных подпространствах пространства состояний. Исследование таких ЛО и систем ЛО привело к целому ряду потрясающих неожиданностей. Если число состояний пространства N, то всякое ЛО порядка λ (порядок – число условий в ограничении) можно многими способами представить в виде логически эквивалентной системы из N ЛО порядка $\lambda+1$. Это даёт основание соразмерять ЛО по силе (ассоциированной со свободой движения, отнимаемой ЛО у системы). В КЛС возникают конфликты – неразрешимости движения в силу действующей системы ЛО. Опираясь на наличие естественной меры, силы ЛО, можно говорить, что в реальности конфликты разрешаются ломкой (исчезновением) слабейших ЛО. Возникает точный аналог законов Гегеля (принцип минимальных разрушений, правило зарастания, правило консолидации). Естественным образом определяются операции над КЛС, равноценные по гибкости со средствами оперирования с образами живого языка: объединение и разложение, укрупнение и детализация, обобщение и конкретизация КЛС, отношение аналогии между КЛС. Эти операции обладают весьма интересными свойствами. Вводится понятие счётного семейства КЛС (СС КЛС), операции над КЛС обобщаются как операции над СС КЛС. КЛС с простым числом состояний и СС КЛС с простым числом состояний при каждом значении параметра семейства являются не делимыми (атомарными). Полученные результаты по теории КЛС опубликованы в работах **[Шевченко, 1988; 2003; 2010; 2016].**

Формально при определении КЛС рассматривается движение системы S в пространстве состояний $P=\{p_1,\ldots,p_n\}$ в дискретном времени T с тактом Δ. Логическим ограничением (ЛО) этого движения называется действующее в любой момент времени $t_i \in T$ ограничение вида:

$$LR \equiv \bigwedge_{k=1}^{\lambda} s(t_{i-l_k}) \in P_k \Rightarrow s(t_i) \in \bar{P}_0, \quad P_k \subseteq P \; k=0,1,\ldots,\lambda. \qquad (4.1)$$

$\lambda, l_k, k=1,\ldots,\lambda$ - натуральные числа;

$s(t_j)$ - состояние системы *S* в некоторый момент t_j времени *T*;

λ - порядок ЛО;

$l_{\max} = \max\limits_{k\in\{1,\ldots,\lambda\}} l_k$ - глубина ЛО;

$\|LR\| = \dfrac{m_0 \cdot m_1 \cdot \ldots \cdot m_\lambda}{n^{\lambda+1}}$, m_i - число состояний в P_i; - сила ЛО.

В силу конечности числа состояний рассматриваемого пространства любое ЛО может быть многими способами представлено в виде логически эквивалентного ему множества ЛО большего порядка (разложено на такое множество ЛО). Для такого его представления в виде множества ЛО порядка $\lambda + 1$ достаточно взять любое $l_{k+1} > l_{\max}$, разбить пространство P на любое множество непересекающихся подмножеств $P_{k+1}^{1}, ..., P_{k+1}^{\alpha}$ и составить искомое множество ЛО из ЛО вида (1), к левой части (части до знака $\Rightarrow$) которых добавлено условие $s(t_{i-l_{k+1}}) \in P_{k+1}^{\beta},\ \beta = 1, ..., \alpha$.

В прикладном плане теория КЛС апробирована на построении на базе имеющихся данных археологического, лингвистического, антропологического, генетического (гаплогруппы) и иного характера непротиворечивой гипотезы общей картины планетарного исторического процесса последних тысячелетий **[Шевченко, 2016]**. Картина исторического процесса выстраивалась как траектория КЛС с пространством, определяемым разбиением человечества по языковым семьям и группам и разбиением суши планеты на геополитические подпространства. Трактовка эмоций как конфликтов в КЛС (или СС КЛС) помогла выстроить психофизиологическую теорию мотивационных соотношений и психологическую концепцию механизмов старения. Теория КЛС может и должна использоваться как эффективных инструмент формализации описательных наук.

Заключение

В программе Правительства России по развитию цифровой экономики поставлены большие задачи по достижению принципиально нового уровня использования возможностей информатики и вычислительной техники для поддержки принятия широкого круга решений: социально-экономического, производственно-экономического, научно-технического, здравоохранительного и иного характера. Обозначена программа разработки и внедрения опережающих мировой уровень десяти платформ цифровой экономики. Президент США Дональд Трамп подписал 11 февраля 2019 года директиву по сохранению и укреплению лидерства США в области искусственного интеллекта, в которой искусственный интеллект понимается в широком смысле, как использование всех методов и средств глубокой автоматической обработки информации. Вслед за Д. Трампом с аналогичной установкой (с достижением лидерства не США, а России) выступил президент России В.В. Путин.

Разработка нового поколения опережающих мировой уровень систем поддержки принятия решений требует мобилизации всех сил и возможностей той части интеллектуальной элиты России, которая работает в этой области. При этом ключевую роль играет разработка алгоритмического обеспечения (brainware) таких систем, основанного на принципиально новых математически точных представлениях о человеке и обществе, живых языках и языках программирования, физических и технических системах (включая операционные и вычислительные системы), планете в целом как целостном и взаимоувязанном макроорганизме. Основой для создания такой системы может и должна стать формализация описательных наук на базе достигнутого в областях математической теории игр и исследования операций, экономико-математического моделирования, оснований математики, когнитивного анализа, теории автоматов и адаптивных систем, «искусственного интеллекта» в узком смысле конечных адаптивных систем прикладного характера.

Требующими дальнейшего развития и использования направлениями формализации описательных наук с целью достижения прикладных результатов прорывного характера, апробированными на решении целого ряда практических задач являются обобщающая известные классы игровых моделей теория операционных игр (динамических ансамблей статических игр) **[Ерешко и др., 2014; Кононенко и др., 2010; Кононенко и др., 2013; Шевченко, 2018]** и теория конструктивных логических систем **[Шевченко, 1988; 2003; 2010; 2016]**.

Благодарности. Автор считает своим приятным долгом поблагодарить друзей и близких, соратников, без живого участия и поддержки которых не смог бы выстроить не только этот текст.

Список литературы

[Бурбаки, 1965] Бурбаки Н. Теория множеств. М.: Мир, 1965. 456 с.

[Бурков, 1984] Бурков В.Н. Теория активных систем и совершенствование хозяйственного механизма. М.: Наука, 1984.

[Гейтинг, 1965] Гейтинг А. Интуиционизм, пер. с англ. М.: Наука, 1965.

[Гильберт и др., 1979] Гильберт Д., Бернайс П. Логические исчисления и формализация арифметики, пер. с нем. М.: Наука, 1979.

[Гермейер, 1971] Гермейер Ю.Б. Введение в теорию исследования операций. М.: Наука. 1971. – 384 с.

[Гермейер и др., 1974] Гермейер Ю.Б., Ватель И.А. Игры с иерархическим вектором интересов // Техническая кибернетика. 1974. №3. С. 54-69.

[Гермейер, 1976] Гермейер Ю.Б. Игры с непротивоположными интересами. М.: Наука, 1976. 328 с.

[Глушков, 1962] Глушков В.М. Синтез цифровых автоматов. М.: ГИФМЛ, 1962. - 476 с.

[Девятков, 2001] Девятков В. В. Системы искусственного интеллекта / Гл. ред. И. Б. Фёдоров. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. — 352 с. ISBN 5-7038-1727-7.

[Дородницын, 1997a] Дородницын А.А. Математика и описательные науки. Российская академия наук. Вычислительный центр. А.А. Дородницын. Избранные научные труды. Том 2. М.: ВЦ РАН, 1997. стр. 330-336.

[Дородницын, 1997b] Дородницын А.А. Проблема математического моделирования в описательных науках. Российская академия наук. Вычислительный центр. А.А. Дородницын. Избранные научные труды. Том 2. М.: ВЦ РАН, 1997. стр. 337-345.

[Дородницын и др., 1997] Дородницын А.А. Об одном подходе к формализации классификации (совместно с М.Ф. Каспшицкой и И.В. Сергиенко). Российская академия наук. Вычислительный центр. А.А. Дородницын. Избранные научные труды. Том 2. М.: ВЦ РАН, 1997. стр. 294-309.

[Ерешко и др., 2014] Ерешко, Ф.И., Шевченко, В.В. Принципы и процедуры операционного игрового сценарного моделирования. Материалы Международной конференции ВСПУ-2014. Москва, Россия, ИПУ РАН, 2014. стр. 5364-5374.

[Захаров и др., 2010] Искусственный интеллект. Справочник в трёх томах М.: Радио и связь, 1990. / под ред. В. Н. Захарова, Э. В. Попова, Д. А. Поспелова, В. Ф. Хорошевского.

[Кантор, 1985] Кантор Г. Труды по теории множеств. М.: Наука, 1985.

[Кононенко и др., 2010] Кононенко А.Ф., Шевченко В.В. О взаимосвязи операционных игр с классическими игровыми моделями. М.: ВЦ РАН, 2010, - 49 с.

[Кононенко и др., 2013] Кононенко А.Ф., Шевченко В.В. Операционные игры. Теория и приложения. М.: ВЦ РАН, 2013, - 136 с.

[Марков и др., 1996] Марков А.А., Нагорный Н.М. Теория алгорифмов. 2-е изд., испр. и доп. М.: ФАЗИС, 1996. 448 с.

[Нейман и др., 1970] Нейман Дж., Моргенштерн О. Теория игр и экономическое поведение, пер. с англ. М.: Наука, 1970. 707 с.

[Нильсон, 1973] Нильсон Н. Искусственный интеллект. М.: Мир, 1973. — 273 с.

[Новиков, 2005] Новиков Д.А. Теория управления организационными системами. М.: МПСИ, 2005. 584 с.

[Новиков и др., 2013] Новиков Д.А., Чхартишвили А.Г. Рефлексия и управление (математические модели). – М.: Физматлит, 2013, 411 с.

[Павловский, 2000] Павловский Ю.Н. Имитационные модели и системы. М.: ФАЗИС, ВЦ РАН, 2000. 134 с.

[Петров, 2003] Петров А.А. Об экономике языком математики. М.: ФАЗИС, ВЦ РАН, 2003. 112 с.

[Поспелов и др., 1972] Поспелов Д. А., Пушкин В. Н. Мышление и автоматы.- М.: Советское радио, 1972.

[Поспелов, 1986] Поспелов Д. А. Ситуационное управление: Теория и практика.- М.: Наука.- Гл. ред. физ.-мат. Лит., 1986.-288 с.

[Поспелов, 1989] Поспелов Д. А., Моделирование рассуждений. Опыт анализа мыслительных актов.- Поспелов Д. А.. Радио и связь, −1989,-184 с.

[Поспелов, 2003] Поспелов И.Г. Моделирование экономических структур. М.: ФАЗИС, ВЦ РАН, 2003. 191 с.

[Пуанкаре, 1990] Пуанкаре А. О науке. М.: Наука, 1990. 736 с.

[Цетлин, 1969] М.Л. Цетлин. Исследования по теории автоматов и моделированию биологических систем. М.: Наука, 1969.

[Цыганов и др., 2004] Цыганов В.В., Бородин В.А., Шишкин Г.Б. интеллектуальное предприятие: механизмы овладения капиталом и властью

(теория и практика управления эволюцией организации). – М.: Университетская книга. 2004. – 768 с.: ил. ISBN 5-94010-303-0
[Шевченко, 1988] Шевченко В.В. Об одном подходе к исследованию дискретных динамических систем с меняющейся структурой. М.: ВЦ АН СССР, 1988. 28 с.
[Шевченко, 2003] Шевченко В.В. Конструктивные логические системы и их приложения. М.: ВЦ РАН, 2003. 51 с.
[Шевченко, 2010] Шевченко В.В. О некоторых возможностях прикладного использования конструктивной математики. М.: ВЦ РАН, 2010. 40 с.
[Шевченко, 2016] Шевченко В.В. О возможностях описания и анализа социально-экономических систем с использованием математического аппарата конструктивных логических систем. IX Всероссийская научная конференция «Математическое моделирование развивающейся экономики, экологии и технологий» ЭКОМОД-2016. Москва, 4-9 июля 2016 г. Сборник материалов. С. 146-154. Электронный ресурс: г. Киров, 4-9 июля 2016 / Сборник материалов конференции, Publisher: ВятГУ, Editor: И.Г. Поспелов, А.В. Шатров, ISBN: 978-5-98228-116-6.
[Шевченко, 2018] Шевченко В.В. О рефлексивном анализе игровых взаимодействий. Труды IX Московской международной конференции по исследованию операций (ORM2018). Москва, 22-27 октября 2018 г. М,: «МАКСпресс», 2018, Том II. С. 50-54.
[Russel, 1903] Russel, Bertrand. The Principles of Mathematics. Cambridge, 1903.
[Turing, 1936] Turing A.M. "Proc. London Math. Soc.". Ser. 2. 1936. V. 42. №№ 3-4. P. 230-265.

THE RELATIONSHIP BETWEEN FORMALIZATION OF THE DESCRIPTIVE SCIENCES, COGNITIVE ANALYSIS, "ARTIFICIAL INTELLIGENCE", GAME THEORY AND THE THEORY OF KLS

V.V. Shevchenko (*vsh1953@mail.ru*)
CC of A. A. Dorodnitsyn FRC IC RAS, Moscow

The paper compares the basic concepts and provides a generalized assessment of the possibilities of modern approaches to the formalization of descriptive Sciences, the construction of an accurate language of description and analysis of mental and socio-economic processes, to the development of a new generation of decision support systems. The paradigm of studying the designated range of issues, based on the use of the original mathematical apparatus of constructive logical systems and generalizing class of game models, in which the dynamic ensembles of static games are considered, is proposed.

Keywords: cognitive analysis, artificial intelligence, game theory, operations research, finite automata, constructive logic systems