Электронное научное издание «Устойчивое инновационное развитие: проектирование и управление»
www.rypravlenie.ru **том 2 (2009), ст. 1.**

УДК 51.74

КОНСТРУКТИВНЫЕ ПРОЦЕССЫ И ИСКУССТВЕННЫЕ ОБЪЕКТЫ

Владимир Алексеевич Кутергин, доктор технических наук, профессор, Институт прикладной механики Уральского отделения Российской Академии Наук

Аннотация

Конструктивная математика строится на использовании некоторого конструктивного мировоззрения, которое связывает утверждения о существовании математических объектов с возможностью их построения. Проектирование искусственного объекта (ИО) рассматривается как конструктивный процесс. Показана необходимость развития методологии инвариантов как базовой парадигмы для представления конструктивных процессов описания и анализа моделей искусственных объектов, создания на этой базе прикладных теорий исследования, проектирования и управления. Переход от одной структуры соединения элементов к другой, рассматривается как переход к другой теории. Задача построения ИО – организовать избыточные структурные или функциональные степени свободы, чтобы достичь цели с должным качеством протекающих процессов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конструктивная математика, искусственный объект, алгоритм, структура пространства, преобразование структуры, группа преобразований координат, конструктивные процессы, инварианты, проектирование систем.

CONSTRUCTIVE PROCESSES AND ARTIFICIAL OBJECTS

Vladimir Kutergin, PhD in Engineering, Professor, Ural branch of Russian Academy of Sciences, Applied mechanics Institute

Abstract

The constructive mathematics is based on using some constructive mentality which connects the statements of mathematical objects' existence with opportunities of designing them. Artificial object's design is considered as a constructive process. Necessity of invariants methodology development as the essential paradigm for constructive models of artificial objects description and analysis; and basing on it creation of applied research theories for design and management is presented. Transition from one structure of elements' interaction to another is considered as transition to another theory. The problem of artificial object design is managing the excessive structural or functional degrees of freedom in order to achieve the goal with due quality of proceeding processes.

KEYWORLDS: constructive mathematics, artificial object, algorithm, space structure, structure transformation, group of co-ordinates transformations, constructive processes, invariants, systems design.

1. ***Конструктивная математика*** *– математика, строящаяся на использовании некоторого конструктивного мировоззрения, которое связывает утверждения о существовании математических объектов с возможностью их построения.* В силу этого отвергаются ряд традиционных установок теоретико-множественной математики приводящих к появлению и использованию в доказательствах теорем существования абстракций актуальной бесконечности, закона исключенного третьего (или А, или не А третьего не дано). Конструктивизм в математике впервые отчетливо появился в трудах немецкого математика К. Гаусса,

который отметил различие потенциальной и актуальной математической бесконечности и привел возражения против использования последней. Дальнейшие исследования в этом направлении были сделаны К. Кронекером, А. Пуанкаре и наиболее полно в критике оснований математики Л. Брауэром. Особенной критике подверглись вера в экзистенциональный характер бесконечных множеств и убеждение в допустимости неограниченной экстраполяции логических принципов, в особенности закона исключенного третьего. Л. Брауэр и его последователи разработали программу построения математики на конструктивной основе, существующую и развиваемую и сегодня под названием интуиционизм. Параллельно идеям интуиционистов развивалось и другое направление конструктивной математики, основанное на идеях Д. Гильберта, связанное с изучением математического понятия алгоритма. Значительную роль в развитии данного направления сыграла основанная А.А. Марковым советская школа конструктивной математики.

2. Особенности конструктивной математики можно отразить следующим набором понятий:

- предметом изучения являются конструктивные процессы, связанные с построением конструктивных объектов, возникающих как результат работы конструктивного процесса;
- рассмотрение конструктивных процессов и получаемых в результате объектов производится в рамках абстракции потенциальной осуществимости;
- интуитивное понятие эффективности связывается с точным понятием алгоритма;
- используется специальная, учитывающая специфику конструктивных процессов, конструктивная логика.

Понятие конструктивного процесса *исходит из материальной деятельности человека, связанной со сборкой машин на конвейере автозавода, проектированием машин, программ и т.п.* Одной из основных черт протекания конструктивных процессов является выполнение операций (преобразований) по определенным правилам над некоторыми элементарными объектами. Эти объекты заведомо различимы, считается, что их нельзя разложить на части в ходе этих процессов.

Возникающие в результате выполнения конструктивных процессов объекты считаются ***конструктивными объектами****.*

Понятие абстракции потенциальной осуществимости *связывается с конструктивными процессами, которые невозможно увидеть и построить целиком.* Эти процессы могут быть реальными и/или воображаемыми, которые можно задать не иначе как некоторыми предписаниями, содержащими указания на последовательность выполняемых операций (например, зарядить, придать орудию определенный угол, поднести фитиль …). Окончание процесса также определяется самим предписанием и может зависеть от результатов, полученных на предыдущих шагах. Абстракция потенциальной осуществимости позволяет пренебрегать реальными ограничениями в пространстве, времени, материале и тем самым говорить о воображаемых, потенциально возможных объектах, которые можно построить, или процессах, которые можно осуществить, как реально существующих. Вместе с тем абстракция потенциальной осуществимости не допускает построение объектов содержащих бесконечные множества, бесконечно малые величины, доказательства «от противного», которые допускаются классической математикой.

Рассмотрим пример представленный П.Г. Кузнецовым: «патер Мальбранш – католический священник – разбираясь с философскими проблемами, связанными с образами, обсуждает, что когда Вену осаждали турки, то наводчики пушек крепости Вены целились в трансцендентных турок, которые у них в головах, а ядра из их пушек поражали действительных турок и не только за пределами головы, но и за пределами стен крепости. Проблема потенциальной осуществимости сводится к тому, каким же образом согласуются образы турок, которые видит наводчик у себя в голове и действительная траектория полета ядра, которое убивает настоящих турок. Другое название для этой проблемы – проблема истины. Кто согласует траекторию летящего ядра в голове наводчика и действительную траекторию действительного ядра, которое летит за стенки крепости. Вот соответствие этих двух траекторий – в мозгах наводчика и реального полета ядра – вот кто их согласует» [1].

Решение проблемы истины, условно говоря, находится в «голове наводчика», который обладает знаниями той части реального мира, которая связана с процессами, обеспечившими попадание ядра за стены крепости. Во внутреннем мире наводчика должна быть некоторая теория решения задач, которая постоянно пополняется и перестраивается с учетом новых целей, условий их выполнения, анализа

приобретенного опыта. Эти знания могут, либо описывать каким-либо образом данные нам объекты и процессы и тогда теория будет дескриптивной, либо давать способы преобразования знаний в формы необходимые для достижения требуемых результатов и тогда теория будет конструктивной. Обобщение знаний в рамках теорий может происходить на разных уровнях абстракции: эмпирическом, модельном, аксиоматическом, логическом. Каждый уровень обобщения знаний имеет свои особенности и возможности [3]. Для того чтобы говорить о достаточно высоком стандарте построения теорий на аксиоматическом уровне, мы должны иметь для проверки достоверности знаний инструмент их интерпретации, образующий промежуточное или связующее звено между теорией и реальностью. Этим инструментом является модель, которая должна описывать структурно-функциональные свойства инженерного объекта, а также способ перевода понятий теории в понятия присущие объекту. Поэтому можно говорить о том, что наводчик имеет в голове модельную теорию, выраженную в конструктивной форме, позволяющую формировать последовательность действий, которые приведут к достижению желаемого результата или отказаться от его достижения – т.е. убедить себя и других в невозможности его получения.

3. Что является истинным в естественной или искусственной природе, не является математическим вопросом. Поэтому выбор аксиом математических теорий является до некоторой степени произвольным. Фиксируя в качестве аксиом различные наборы высказываний можно построить много различных теорий, которые с точки зрения выводов могут противоречить друг другу. Однако каждая из этих теорий будет истинной в границах, которые определяются верностью исходных утверждений. В рамках теорий мы можем делать различные высказывания о потенциальной осуществимости построения того или иного объекта или процесса. В математике доказательство, которое содержит процедуру сводимости конкретного высказывания к аксиомам, выполняемое по определенным правилам, считается истинным в том и только в том случае, когда существует алгоритм перехода от аксиом к данному высказыванию. Доказательство в данном случае служит дескриптивным описанием существования процесса построения объекта, а алгоритм отражает конструктивную сторону данного процесса, т.е. некоторое преобразование исходных аксиом в новое образование, содержащее требуемое высказывание. Не существует понятие истины (как отношение к реальному миру), пока мы имеем дело с чисто математическими

теориями. На замену понятия истины вводят понятие непротиворечивости логической теории. Всегда можно предложить факты и явления, которые могут не следовать из данных аксиом, подобно тому, как из аксиом эвклидовой геометрии не следуют высказывания римановой геометрии.

Прикладные математические теории, хотя и могут иметь структуру построения аксиоматических теорий: аксиомы, правила вывода, структура выводов, теоремы, тем не менее, требуются, чтобы они отражали специфику предметной области, а их структура была бы приспособлена для решения практических задач. В фиксированных аксиомах прикладных математических теорий (ПМТ) должны содержаться законы специальных наук, выводимые из законов природы, подобные тем, которым подчиняются элементы электрических цепей, механических, пневматических систем и т.п. Аксиомы данного уровня могут представлять функциональные элементы систем: преобразователи энергии, преобразователи движения, информации и т.д., из которых могут проектироваться системы различного назначения. Все зависит от уровня проектирования. Вместе с аксиомами, отражающими законы преобразования вещества, энергии, информации ПМТ всегда пополняются аксиомами условиями, в которых отражены наши намерения: цели, эффекты, ограничения и т.п. Они должны иметь место в конкретной ситуации, справедливы для конкретной задачи. Чтобы достичь заданных целей, добиться проявления необходимых системных эффектов, каждая предметная область обладает определенным набором стандартных связей, объединяющих элементы в целостную систему.

Расширенный список аксиом сужает набор высказываний, которые могут быть правильными, т.е. удовлетворять заданному набору аксиом. А может случиться так, что ни одно высказывание не будет являться истинным. В этом случае говорят, что условия противоречивы. Когда истинным является одно и только одно высказывание, то говорят, что условия необходимы и достаточны. Решение задачи для ПМТ – это построение алгоритма преобразования заданного набора аксиом в требуемый объект и доказательство его реализуемости. В этом смысле аксиомы – законы, аксиомы-условия, правила вывода (преобразования), теоремы должны отражать объекты и процессы реального мира, а мы должны иметь инструменты согласования теории с реальным миром. Однозначное соответствие получаемых следствий принятым аксиомам соответствует линейному миру, а физическая реальность и мир искусственных объектов обнажается своей существенной нелинейностью. Этот факт вносит

кардинальное различие между миром математики, физической реальностью, отражаемой математической физикой, представляющей множество прикладных физических теорий. Мы нуждаемся в таком математическом определении нелинейности, которое будучи перенесенным в прикладную область, позволяло бы изменять аксиомы, сохраняя старую теорию в тех границах, где она соответствует наблюдаемым фактам. Простейший пример – создание неевклидовой геометрии Н.И. Лобачевским. Такое изменение аксиом сохраняет старую теорию, и в то же время позволяет существовать новой теории. Рассматривая три составные части любой математической теории, мы видим, что возможные различия математических теорий есть различия в языках теорий, различия в аксиомах теорий и различия в правилах вывода.

4. Различие ПМТ можно рассматривать как различие геометрий, где сами геометрии могут представляться группой преобразований с инвариантом. Суть этого подхода в обосновании и использовании языка инвариантов, а также таких понятий теории как группа, преобразование, инвариант применительно к объектам искусственного мира. Язык инвариантов, высказывания, сделанные на этом языке, допустимые построения и преобразования играют определяющую роль в теоретическом конструировании моделей. Указанные понятия выполняют функцию «строительных блоков» в целенаправленном процессе конструировании теоретических картин мира и определяют принципиально иной подход к описанию, построению и преобразованию теоретического знания. Понятие инварианта тесно связано с существованием некоторого разнообразия, относительно которого и определяются свойства неизменности, т.е. инвариантности. Если «разнообразие» можно определить через допустимые преобразования, которые оставляют неизменными некоторые свойства объекта, то инварианты – суть некоторое ограничения, которые делают одни состояния или преобразования допустимыми, а другие нет. Неизменность некоторого свойства в геометрии, физике напрямую связана с развитием такого понятия, как симметрия. Научный этап теории симметрии начинается с формализацией этого понятия в виде математической группы (Э. Галуа, 1830 г.), построением симметрической классификации различных геометрий (Ф. Клейн, 1872). Научное определение симметрии принадлежит немецкому математику Г. Вейлю (1885–1955), который

проанализировал переход от простого чувственного восприятия симметрии к ее научному пониманию.

Под симметрией понимают неизменность некоторых признаков, состояний, свойств, процессов относительно какого-либо преобразования. Неизменные величины называются инвариантами. Можно сказать, что симметрия есть совокупность инвариантных свойств объекта.

Стало понятно, что можно говорить о симметрии материальных предметов, физических законов, математических объектов или сложных систем. Можно говорить об инвариантности функций, уравнений, операторов при тех или иных преобразованиях системы координат.

О чем говорит симметрия? Наука обнаружила фундаментальную связь между симметрией и сохраняющимися, инвариантными величинами. Если известны свойства симметрии системы, можно найти для нее законы сохранения или инвариантные величины, и наоборот, если известны инвариантные величины, то можно определить допустимые преобразования или симметрии. Наличие инвариантов определяет принцип сохранения того, что не должно меняться. Сейчас законы сохранения все чаще называют принципами запрета. Знание принципов запрета – ограничений означает знание того, что в принципе допустимо, а что нет, что реализуемо, а что нет. Разнообразие структур, которые мы можем наблюдать в искусственных или естественных мирах порождает иллюзию того, что в этих мирах можно построить структуры любой сложности. Но принципы запрета говорят о том, что в этой среде могут быть существовать только структуры, построенные по определенным правилам и никакие другие. Попытки что-либо «навязать» системе без учета законов физики или организации, обречены на провал. В экономических, социальных, экологических системах попытки «построить» или «перестроить», редко приводят к положительным результатам. Сложная система (например, экономическая) функционирует всегда в соответствии с некоторыми правилами игры – ограничениями. Поиски существенных правил – важнейшая часть этих наук.

Таким образом, система естественных (законов природы) и искусственных (требований, связей) инвариантов, с одной стороны, образуют систему ограничений, чтобы обеспечить реализуемость объектов и их соответствие поставленным требованиям, а с другой стороны, должна оставить достаточное

количество свобод построения искусственных объектов или процессов. Инварианты, при формировании достаточного количества свобод построения объекта или процесса, способствуют появлению разнообразия и не меняются сами. Они определяют коридор (поле) потенциальных альтернатив для конкретной системы. Принципы запрета или законы сохранения помогают отобрать из множества вариантов – реализуемые.

5. *Для того чтобы что-то указывало на* ***существование возможности построения объекта с заданными свойствами*** *нам необходимо разбираться с понятием алгоритма, применительно к инвариантно-групповой точке зрения.* Воспользуемся представлениями П.Г. Кузнецова [1] об этом понятии:

«У меня здесь лежит бумага, на которой изображена точка. ... ...Вот эта стоящая на бумаге точка накрыта двумя координатными сетками, причем координатные сетки расположены так, что их оси совпадают, а их клеточки одинаковы. Так вот, когда я накладываю первую сетку, то точка приобретает координаты А (x,y) по двум осям (красная сетка), когда я накладываю вторую сетку, она приобретает другие координаты В, напишу x со штрихом и y со штрихом.

Так вот сказать, что А равно В математики не могут, это алгоритмически неразрешимая проблема. А вот когда я пальчиком показываю, видите, это одна и та же точка, только координатные сетки поменялись. Так вот я могу написать равно (здесь пишу значок f), который означает ни много ни мало, что существует правило, которое позволяет вычислить по координатам точки В как она выглядит в первой системе координат и имеет координаты А. Вот показывая пальчиком на эту точку, я объяснил, что всякий алгоритм, какой бы он ни был – не более, чем математическое правило перевода одной точки в другую точку в другой системе координат, но в качестве исходного объекта могут быть не только точки. Могут быть отрезки, могут быть площадки и могут быть объемы. По этой причине вся математика, какая только есть, ничем другим в своих задачах, где одно равно чему-то другому не занимается. За каждой задачей стоит определенный вид преобразования координат и соответствующий объект, который один и тот же. Но он один и тот же, наверняка один и тот же, если это геометрический объект. Вот геометрическая точка разметок не имеет. Я могу задать теперь вопрос: а являются ли координаты точки в системе В (x штрих y штрих) координатами той же самой точки, которая в системе первой имеет А(x, y). Какой будет ответ? Поскольку точка размеров не имеет, либо

это одна и та же точка, либо разные. ... Сейчас я объяснил, что называется алгоритмом. Любой алгоритм не более чем изменение имени объекта, имеющего один вид в одной системе координат и имеющий как бы другое имя в другой системе координат».

У инвариантно-групповой точки зрения есть еще одно преимущество. Оно связано с объектом, который представляется в разных системах координат по-разному, но эти представления преобразуются одно в другое.

«…Вот такая совокупность преобразования координат, которая показывает, как выглядит один и тот же объект в разных координатных системах в жизни встречается в ситуации, когда вы чего-то вообще поняли. Вот как узнать, понял человек или не понял. Какой-то признак должен быть понимания. Вот этот признак, как человек становится понявшим можно получить следующим образом. Сделаем фотографии одной и той же местности, но с разных высот и под разными углами зрения. Получится много разных фотокарточек. Если такую серию фотокарточек выложить и спросить: что это такое, то когда человек понял, он говорит: ребята, это же одно и то же с разных точек зрения. Вот когда человек смог сказать, что это одно и тоже, хотя виды фотокарточек разные, то он понял. И человек что-то начинает понимать в явлениях жизни, когда говорит: а это разные фазы одной и той же сущности…».

6. *Когда мы говорим о представлении некоторого объекта, явления, процесса на языке* ***современной геометрии****,* то мы должны искать группу преобразований координат, которая позволяет одно представление некоторого объекта, например его проекции, перевести в другое, т.е. тоже проекции, но сделанной с другого ракурса. Строго говоря, когда мы вводим определенные понятия, то мы вводим не только объект, который обладает определенными свойствами, мы должны ввести группу его допустимых преобразований, т.е. представлений. Группа допустимых преобразований дает нам правило, при помощи которого мы можем узнавать, на первый взгляд, совершенно различные объекты. Когда относительно объекта или явления удается установить, например, что это один тот же объект, одно и тоже явление, но заданные в разных системах координат, то установленная связь приобретает вид алгоритма или закона. Связь между представлениями объекта в допустимых системах координат в

математике представляется алгоритмом, а в геометрии[1] группой преобразований. Поэтому когда задано одно из частных представлений объекта и группа преобразований, то тем самым определяется некоторая сущность, уже безотносительно к тому, в какой системе координат она представлена. В этом смысле сам объект, точнее его представление, которое не изменяется при преобразовании координат, называют инвариантом. Например, любая точка является инвариантом, поскольку преобразования меняют координаты точки, но не меняют самой точки. Заданная система точек тоже является инвариантом. Заданная функция от точки тоже является инвариантом. Если такая функция представлена в некоторой системе координат, то она может быть представлена и в новой системе координат. Новое представление функции может быть построено, поскольку новая система координат связана со старой системой координат, определенным точечным преобразованием. Результат применения одного за другим преобразований координат есть также преобразование координат. Если каждое преобразование координат имеет обратное преобразование, то вся совокупность прямых и обратных преобразований образует группу.

Все это можно отнести и к физическим явлениям, поскольку координаты, используемые для описания физических явлений, не играют никакой роли в существе этих явлений. Представление того или иного физического явления в частной системе координат отражает лишь позицию наблюдателя. Поэтому сущность физического явления будет отражена только в том случае, когда мы будем иметь возможность переходить от его представления в одной координатной системе, к его представлению в любой другой координатной системе. Это можно добиться, если использовать для представления явления инварианты того или иного рода.

В деятельности человека мы должны отличать исходные элементы и их свойства и различные виды процессов, посредством которых формируются функциональные, системообразующие свойства объектов, создаваемых им в соответствии с заранее поставленной целью и по некоторому заранее разработанному плану. Процессы объединения элементов посредством структуры связей различного рода в некоторую целостную систему, которая проявляет требуемые свойства, мы связываем с конструктивной деятельностью человека, которая на формальном уровне

---

[1] Геометрия часть математики, их нельзя противопоставить. Здесь нужно уточнение, о какой части математики идет речь *(прим. глав. редактора)*.

представляется процессами построения и преобразования искусственных объектов (ИО).

Элементы систем функционируют в рамках определенных физических законов. Законы функционирования элементов представляются в виде определенных отношений между инвариантными геометрическими объектами. Т.о. аксиомы – законы это сущности определенного уровня, которые представляются в виде отношений между геометрическими объектами, которые, в свою очередь, могут быть сущностями более низкого уровня. Основным свойством инвариантных геометрических объектов является то, что с помощью группы допустимых преобразований можно найти по определенным правилам их составляющие в любой новой системе координат. Можно показать, **что введение структуры взаимосвязей между элементами системы тождественно преобразованию инвариантных уравнений движения множества элементов в координатное подпространство, индуцированное системой независимых уравнений связи.**

7. Утверждение о существовании конструктивного объекта с данным свойством, т.е. утверждение вида, что для всех (x A(x)), существует только в том случае, если указан конструктивный процесс построения некоторого (y), причем такого, что A (x, y). Другими словами должно быть указание на существование преобразования, которое начинается с конструктивного объекта (x) и заканчивается нахождением конструктивного объекта (y), обладающего требуемым свойством.

Искусственный объект и его проектирование можно рассмотреть как конструктивный процесс целевого построения и/или преобразования структуры пространства и происходящих в нем процессов. Конструируемое пространство и процессы в нем представляют системную модель потенциального ИО с сосредоточенными параметрами, в которой отражаются функциональное (параметры, процессы, качество), морфологическое (элементы, связи, структура), а также конструктивное (процедура построения) описание ИО. Фундаментальное значение данной парадигмы – новое конструктивное переосмысление природы инженерной деятельности. Необходимо развитие так называемой методологии инвариантов ИО как базовой парадигмы для представления конструктивных процессов описания и анализа моделей ИО, а также создания на этой базе прикладных теорий исследования, проектирования и управления ИО. Представленная точка зрения имеет глубокие корни в построении теорий многих научных дисциплин. Например, физика – теория

физических инвариантов, геометрия – теория геометрических инвариантов, биология – теория биологических инвариантов и т.п. Применительно к ИО, которые создаются человеком в соответствии с заранее поставленной целью, данная точка зрения предполагает не классическое использование аппарата тензорного анализа применительно к построению, анализу и синтезу моделей объектов инженерной деятельности. Впервые эту новую геометрическую точку зрения на проблемы построения и преобразования моделей сложных систем, а также сущности **организации**, предложил американский инженер Г. Крон в его работах по тензорному анализу сетей.

В работах российских ученых Н.А. Бернштейна и В.В Смолянинова была сформулирована другая сторона конструктивной точки зрения на **«организацию»** как функцию построения движений. Они пришли к выводу, что произвольные движения, и интеллект, связаны с операциями, выполняемыми на внутренней модели мира животного, которое обладает активностью и памятью. Наблюдаемое движение не реакция, а акция, связанная с построением целенаправленного движения человека или животного. *Управление – целевая акция редукции избыточных свобод системной (структурной и/или функциональной) организации.* В*сякой организации управления должна предшествовать организация необходимых и достаточных свобод, в противном случае управление не может быть эффективным.*

Двигательные системы организмов, это наглядный пример *предварительного целевого и системного формирования большого числа избыточных свобод, в частности двигательных органов, которые затем используются развитым организмом как для выработки двигательных стереотипов – синергий, так и для освоения новых классов движений, где существенную роль играют функциональные свободы [2]*.

Подобно процессам построения (организации) движений живых организмов, понимание целостной сущности ИО необходимо искать не с позиции Наблюдателя, а с позиции Конструктора. Данная позиция требует конструктивного понимания природы изменчивости ИО, проявляющейся через предварительное, целевое, формирование избыточных **свобод построения** потенциальной системной (структурной и/или функциональной) организации ИО, которые затем используются Конструктором для формирования связей, в изменчивости которых материализуются **свободы преобразования.**

Если за разнообразием изменений, наблюдаемых нами искусственном мире, мы открываем некоторую сущность (например, потребительское свойство ИО), которая остается неизменной, т.е. той же самой, но проявляется в многообразии частных проекций, то с этой неизменной сущностью можно связать инвариантный объект (например, функцию) и построить группу допустимых преобразований, разложений функции на элементы (процессы), связи, структуру. При этом частное проявление сущности рассматривается как ее проекция в частную систему координат. Для раскрытия сущности построения ИО необходимо объединить в конструктивном процессе: описание целей и условий, в которых они должны быть достигнуты, описание пространства исходных элементов – носителей свобод построения целого, описание механизмов редукции свобод потенциальной изменчивости ИО при его системной (структурной и/или функциональной) организации [3].

8. *Особенности* ***взаимодействия элементов системы*** *(цели, свойства, эффекты и т.д.) определяются совокупностью связей, которые накладывают ограничения на состояние системы или характер изменения состояния.* Введение связей, ограничений – это, с одной стороны, сужение количества вариантов построения ИО, а с другой, выражаясь языком современной геометрии, это задание инвариантного многообразия, которое порождает структуру пространства. А, следовательно, структуру, свойства, особенности протекающих в системе процессов.

Теории конструирования ИО можно строить соответственно тенденциям развития геометрии и физики, т.е. каждый класс ИО будет описываться тем или иным набором инвариантов из предлагаемой системы аксиом-законов, аксиом-связей. Пуанкаре отмечал, что «… основные гипотезы (*аксиомы*, добавлено автором) геометрии не суть факты, добытые из опыта; но наблюдение над некоторыми физическими явлениями приводит к выбору именно их из числа всех возможных гипотез» [4]. В приведенной цитате достаточно ясно указывается связь между аксиомами геометрий и «наблюдением над некоторыми физическими явлениями».

Вполне логично предположить, что другие наблюдения над другими явлениями поведения физических, технических, экономических, производственных и др. систем приведут к аксиомам и, соответственно, к геометриям другого вида. Смена наблюдаемых классов явлений будет приводить к смене аксиом и построенных на этих аксиомах геометрий. Каждому классу наблюдаемых явлений будет соответствовать своя геометрия.

В теоретико-множественном подходе сложную систему рассматривают как множество, состоящее из отдельных элементов, но обладающее целостными характеристиками, причем свойство целого должно выводиться из свойств составляющих его элементов. Так, например, закон изменения момента количества движения твердого тела, выводится из уравнений количества движения множества точек, принадлежащих твердому телу и условия сохранения расстояния между любыми двумя точками, принадлежащими ограниченному этим телом пространству.

В системах, которые состоят из элементов и связей появляется такой объект как структура системы. Этот новый объект создает условия, при которых поведение целого и его свойства будут отличаться от свойств составляющих это целое элементов. Переход от одной структуры соединения элементов к другой, при одном и том же наборе элементов, вообще говоря, это переход к другой теории. В этой новой теории аксиомы-законы остаются прежними, а аксиомы-условия изменяются. Т.е. может измениться число связей, связываться могут другие элементы из заданного набора. В результате измениться мерность, структура пространства и, следовательно, свойства целого становятся другими. Переход от одной структуры соединения элементов к другой, не есть операция теоретико-множественной топологии, т.е. нет алгоритма. Это означает, что построенные модели функционирования целого, а, следовательно, и решения, связанные с получением закона движения системы, не могут быть преобразованы в решения для другой структуры соединенных элементов. Нет возможности исследовать влияние изменения структуры на свойства протекающих в системе процессов. Для того чтобы такая возможность появилась, необходима теория другого типа, обобщенная теория, в которой допустимы преобразованиями по разрыванию и связыванию элементов в другую структуру. Такую теорию можно построить для линейных систем с сосредоточенными параметрами и некоторых классов нелинейных систем.

9. Переход на инвариантно-геометрическую точку зрения при построении теорий многих предметных областей, является необходимым, но не достаточным. Необходима унификация множества задач построения и преобразования ИО в минимальное число стандартных типов. Аналитические исследования и методы проектирования ИО разных предметных областей являются специализированными. Язык, понятия, модели, методы рассуждения инженера, разработанные для одной

предметной области, очень редко используются инженерами, работающими в другой предметной области. Для выработки унифицированной точки зрения, охватывающей различные предметные области, необходим математический аппарат такой же, как и применяемый физиками в их поиске единой точки зрения на классическую, релятивистскую и квантовую физику. Необходимо выработать такие способы описания, построения, преобразования систем, чтобы знания, полученные в одной предметной области, могли быть перенесены и использованы в другой предметной области. Эта унификация начинается с применения методологии инвариантов, теории пространства и тензорных формализмов описания сложной системы. Например, поведение сложной динамической системы такое, какое можно приписать точке N-мерного пространства, обладающего заданной структурой. Это возвращает геометрический образ, который был утерян в работах Лагранжа и Гамильтона. Мы можем теперь наглядно представлять движение произвольной системы единственной точкой N-мерного пространства. Уравнения движения системы, записанные на языке тензорных формализмов, допускают их преобразования в произвольную систему координат, например такую, в которой наиболее просто получить решение. Однако имеется фундаментальное отличие в применении классических тензорных операций к инженерным задачам. Как писал Г. Крон: *инженер в своих конструкциях не создает дополнительных физических сущностей, а только вводит дополнительные взаимосвязи между различными элементами; ...большинство инженерных задач требуют не открытия новых законов, а изобретательности в организации взаимосвязанных явлений, для которых по каждой составной части системы, рассматриваемой отдельно, законы уже известны* [5].

Дело в том, организация взаимосвязанных явлений посредством построения той или иной структуры из взаимосвязанных элементов требует введения операций преобразования структуры, т.е. операций разрывания и соединения связей между элементами. Подобные операции являются естественными для инженерной деятельности, которая ищет способы организации элементарных явлений в некоторые процессы, отвечающие заранее поставленным целям. Для этого *инженер берет множество отдельных балок, быков, настила и соединяет их так, чтобы мост выдерживал требуемые нагрузки и проявлял необходимые свойства, берет закон движения проводника в магнитном поле и объединяет множество подобных проводников во вращающуюся электрическую машину*. При этом законы

функционирования балки, проводника и т.п. остаются неизменными. Деятельность инженера направлена на организацию: построение из потенциально возможного набора вариантов структур ИО такой структуры, которая реагирует желательным образом на приложенные воздействия и проявляет желаемые свойства.

Проблемы, которые можно рассматривать и решать при помощи произвольного выбора системы координат при одной и той же структуре пространства не отражают специфики инженерных задач. Инженер исходно имеет дело с набором пространств различной размерности, которые связывает всеми возможными способами. Этот процесс подобен тому, как связываются элементы или компоненты технических систем. В этом процессе строится структура пространства, в котором одни состояния потенциального ИО являются допустимыми, а другие нет.

Построение требуемой структуры пространства можно отнести к категории управления процессом конструирования ИО. В конструктивно-геометрическом смысле управление может быть представлено как процесс построения пространства определенной размерности и структуры, в котором движение изображающей точки (процесс изменения состояния ИО), проявляют свойства, заложенные в формулировке цели в заданных условиях. Под движением здесь понимается процесс изменения состояния, обусловленный внутренними и внешними причинами, а также структурой пространства. Поскольку ИО могут быть самой различной природы, то управление столь же разнообразно и может принимать различные формы. Если абстрагироваться от конкретики, то можно обратить внимание на то, что всякое управление (в геометрическом смысле) направлено на выделение одной целевой реализации из множества возможных реализаций. Но операции выделения должны предшествовать операции сравнения альтернатив, которые сами по себе также должны существовать исходно. Следовательно, имеется то, что предшествует управлению: существование некоторого комплекса изменчивости свойств построения пространства, управляющего воздействия, решаемой задачи. В свою очередь потенциальные возможности изменчивости закладываются инженером в виде формирования соответствующих свобод или степеней свободы, которыми должны обладать все структурные или функциональные компоненты, участвующие в процессе построения или управления. Именно эти свободы определяют альтернативные способы построения или управления движением ИО. Задача построения ИО – так организовать (редуцировать) избыточные структурные или функциональные степени свободы, чтобы достичь цели с должным

качеством протекающих в системе процессов. Функция управления состоит не только в формировании требуемых связей между избыточными степенями свободы. Когда инженер разрабатывает машину, создает проект предприятия, планирует свою деятельность и т.д., он заранее предусматривает необходимые свободы, исходя из необходимого разнообразия реализаций соответственно: режимов работы машины, процессов функционирования предприятия, способов организации своей деятельности. Аспект предварительного конструирования, создания и эффективного использования свобод с последующим формированием программ (связей), направленных на достижение цели, поставленные разработчиком, составляет еще один предмет исследования прикладных модельных теорий проектирования систем с приложениями для различных областей.

Литература

1. Кузнецов, П.Г. «Побискология»: курс лекций// Альманах «Восток»: вып.1 (37), 2006.
2. Смолянинов, В.В. От инвариантов геометрии к инвариантам управления// Интеллектуальные процессы и их моделирование. – М.: Наука, 1887.
3. Кутергин, В.А. Искусственные объекты и конструктивные процессы. – Ижевск: ИПМ УрО РАН, 2007. – 552 с.
4. Пуанкаре, А. О науке. – М.: Наука, 1983.
5. Крон, Г. Тензорный анализ сетей. – М.: Сов. Радио, 1978. – 720 с.