УДК 007, 65.01

П.Г. КУЗНЕЦОВ И ТЕОРИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Кутергин Владимир Алексеевич, доктор технических наук, профессор, Институт прикладной механики Уральского отделения РАН

Аннотация

Статья посвящена описанию теории инженерной деятельности, основанной на разработках П.Г. Кузнецова, включающей в себя две логики: логику объяснения и логику конструирования. Автор приводит сведения из истории возникновения этой теории, обосновывает возможность её применения к сложным системам, а также очерчивает границы её применимости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: логика объяснения, логика конструирования, возможности и потребности, инварианты, искусственные объекты.

POBISK KUZNETSOV AND THE THEORY OF ENGINEERING ACTIVITIES

Kutergin Vladimir Alexeevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Applied Mechanics, Ural Branch of RAS

Abstract

This article describes the theory of engineering activities, based on the work of P.G. Kuznetsov, which includes two logics: the logic of explanation and the logic of design. The author gives details of the origin of this theory, proves the possibility of its application to complex systems, as well as outlines the boundaries of its applicability.

KEYWORDS: logic of explanation, logic of design, capabilities and needs, invariants, artificial objects.

Мое знакомство с Побиском Георгиевичем началось в феврале 1980 г. и сначала было заочным. В ту пору в физико-техническом институте УрО РАН мы создавали лабораторию системного анализа и синтеза машин. Основанием для создания лаборатории послужили работы небольшого коллектива, связанные с тензорными методами исследования целенаправленного движения биотехнических систем. Тензорные методы моделирования управляемого движения сочетались с разработкой программного обеспечения, позволявшего генерировать модели многозвенных биомеханических систем разной структуры и особенностей. Поэтому вопросы описания, построения, преобразования моделей сложных систем и соответствующего им программного обеспечения были предметом наших исследований. В день рождения мои сотрудники подарили мне книгу Г. Крона «Тензорный анализ сетей». Данная книга привела меня к интерпретации и развитию работ Г. Крона, предложенным П.Г. Кузнецовым в статьях: «Тензорный анализ сетей» Г. Крона и его роль в проектировании систем, «Множество геометрий и множество физик», «Искусственный интеллект и разум человеческой популяции». Кузнецов П.Г. открыл новый взгляд на законы устройства искусственного мира, создаваемого инженером, которые стали предметом

постоянного изучения в контексте инженерной деятельности. Мир инженера – это мир искусственных объектов и конструктивных процессов, которые столь разнообразны и разноуровневые, что раскалывают этот мир на большое число непересекающихся сфер деятельности, для которых создаются свои методы, модели, теории. Кузнецов П.Г. представил и интерпретировал работы Крона как исследования инженера-ученого, который занимается поиском общих законов описания, построения, преобразования моделей сложных систем, способных с единых позиций объяснить разные явления и процессы в природе. Инженерная наука в этих исследованиях была впервые представлена не как искусство, а как некий теоретический фундамент, на котором можно строить ее здание.

В 1986 году в институте математики и механики УрО РАН мы с Н.Н. Непейводой создали отдел прикладной логики и системотехники и расширили свои интересы исследованием методов построения систем искусственного интеллекта. В рамках этих исследований был образован всесоюзный семинар по синтезу программ, на котором я познакомился с сотрудниками кафедры кибернетики МФТИ, одним из которых был А.Е. Петров. С тех пор Андрей Евгеньевич стал коллегой и другом, с которым мы обсуждали, дискутировали, поддерживали развитие тензорной методологии и теории в г. Ижевске и г. Москве. В 1987 г. он и привел меня к П.Г. Кузнецову домой. Память об этой встрече всегда со мной. Мы говорили об особенностях многозвенных биомеханических систем, о теориях, О. Веблене, Карл Марксе, о множестве геометрий, может ли быть геометрия инженерным языком... Это был ученый-энциклопедист. Что особенно запомнилось, так это то, что любой вопрос он обсуждал заинтересованно, формулировал и излагал варианты ответов очень понятно и обстоятельно. Иногда он отлучался, а затем возвращался и приносил из собственной огромной библиотеки книгу, цитировал, т.е. подкреплял свои доводы каким-либо из известных ученых.

В развиваемой здесь точке зрения использованы идеи из различных работ П.Г. Кузнецова, которые в определенной степени применялись при обосновании и построении методологии и теории инженерной деятельности.

1. Чтобы говорить об общих законах искусственной природы, которая создается инженером, необходимо научиться представлять и строить системы для различных прикладных исследований на одном языке. Инженер должен владеть прикладной теорией, позволяющей создавать искусственные объекты (ИО) в соответствии с новыми потребностями.

Кузнецов П.Г. отмечал, что образующийся приоритет прикладных исследований в науке все в большей степени соединяет в одном человеке двух типов инженеров: инженера-исследователя и инженера-конструктора. Различие до некоторой степени условно, однако, имеет свои границы. *Инженер-исследователь стремится установить закон наблюдаемого явления.* В этом случае его задача установить объективную закономерность (ничего субъективного). *Результат деятельности инженера-исследователя, конечная цель, состоит в установлении закона, т.е. инварианта в наблюдаемой группе явлений.* В основе исследования лежит гипотеза, что закон существует, но еще не установлен.

Инженер-конструктор имеет другую цель: использовать известные законы природы для удовлетворения тех или иных потребностей человека. Исходными данными для конструирования (проектирования) объектов инженерной деятельности являются цели и инварианты известных законов, а задачей нахождение инженерной структуры, которая могла быть использована для удовлетворения той или иной потребности. Именно в инженерных целях ИО в заданных условиях закладывается способ, содержащий взаимосвязь между потребностью и реальной возможностью, и они же несут в себе огрубленный план построения инженерной структуры.

В наблюдаемых видах деятельности инженера используются две логики:

А) *Логика объяснения L^o ,*

Б) *Логика конструирования L^k .*

L^o — содержит описания, из которых выводиться то, что можно наблюдать при заданных инвариантах.

L^k — содержит способ выбора необходимых инвариантов, которые делают материальное воплощение идеи наблюдаемым, т.е. физически реализуемым.

Устанавливая законы, исследователь вводит в наше сознание и новые возможности и новые ограничения, последние существуют вне зависимости от нашего желания. Базовое правило инженера: все, что ты сможешь построить — это только то, что не нарушит установленных законов (ограничений) природы. Природа предстает перед инженером в виде естественных и искусственных объектов способствующих или препятствующих удовлетворению новых потребностей. L^k — *начинает работу с осознания потребности, которую трансформирует в цели создания ИО и схемы (плана) ее материального воплощения.* Потребности могут быть отнесены к конкретному человеку, группе людей, организации, отрасли, государству и т.п. Принадлежность потребности к тому или иному субъекту деятельности может превратить его в заказчика, при условии, что субъект наделен

необходимыми ресурсами, главная задача инженера — построить систему, реализующую требуемые функции, характеристики которых, соответствуют осознанным потребностям.

Взаимосвязь между потребностями и возможностями можно определить посредством гипотезы Кузнецова П.Г.

- *каждая потребность может быть выражена в терминах роста той или иной возможности;*
- *всякий рост возможности человека может быть выражен в терминах той или иной потребности.*

Такое утверждение делает наши потребности и возможности дополнительными друг другу, а логику $L = \langle \{L^O\}, \{L^K\} P(L^O, L^K) \rangle$, некоторым инструментом инженерной деятельности, где $P(L^O, L^K)$ - предикат, характеризующий взаимосвязь логик.

Таким образом, существующие теории использующие логику объяснения, соответственно, предназначены для ответа на вопросы: а) что имеется, б) что мы знаем об объекте, с) какими свойствами (законами) он обладает. Исходным пунктом здесь является сам объект, конечным пунктом должно быть знание.

Теории, использующие логику конструирования (конструктивные теории), решающие задачу построения плана реализации нового объекта, должны строиться по другой схеме. Исходным должно быть знание, а конечным результатом — объект (точнее, план его реализации). Создание теории инженерной деятельности включает два важнейших аспекта описания: цель и целенаправленная деятельность.

2. В конструктивном характере деятельности инженера, следует выделить два взаимно дополнительных атрибута конструктивности. Первый — это цель, которую необходимо достичь, а второй — это средство ее достижения. Если инженеру требуется доказать существование некоторого объекта или процесса с заранее заданными свойствами, то их надо построить. Все, что создано человеком, в соответствии с заранее поставленной целью и по заранее разработанному плану можно отнести к миру искусственных объектов и конструктивных процессов. Этот мир имеет свою искусственно созданную природу, опирающуюся на физические законы, свои отличительные особенности, связанные с описанием, построением, преобразованием, развитием ИО.

Как можно определить искусственный объект? Чем он отличается от естественного объекта? Какова природа конечного продукта и процесса инженерной деятельности, как искусственно созданного явления? Можно ли явление построения объекта или процесса с

заданными свойствами, несмотря на разнообразие проявлений, описать на едином математическом языке? Какие виды модели ИО и конструктивных процессов пригодны для исследования законов организации ИО и управления ими? Ответы на данные вопросы требуют анализа инженерных проблем и задач с позиций поиска единства в этом сложном и многообразном мире.

Поиск «единства» невозможно вести без знания математики. Предметом математики должно быть не только описание объектов инженерной деятельности. Необходима математика, которая помогает строить и преобразовывать нужные нам модели объектов. Нужна конструктивная математика. Особенности конструктивной математики можно отразить следующим набором атрибутов:

- 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.

Понятия 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. Элементарные 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 оружие, придать оружию определенный угол, поднести фитиль...). Окончание процесса 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. Однако эти воображаемые объекты и процессы, используемые в материальной деятельности человека, не случайны. Их происхождение связано с определенной целью, а потенциальная возможность ее достижения определяется истинностью или ложностью наших представлений о них.

Рассмотрим пример, представленный Кузнецовым П.Г.: «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 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».

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 задачи поражения, которая постоянно пополняется и перестраивается с учетом новых фактов и 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. На каждом уровне обобщения знаний имеются свои особенности и возможности. Для того чтобы создавать теории на абстрактном уровне, и пользоваться ими, необходимо иметь соответствующий инструмент проверки достоверности знаний, а также инструмент их интерпретации. Этим инструментом является модель объекта или процесса, которая образует промежуточное или связующее звено между теорией и реальностью. Модель должна описывать структурно-функциональные свойства инженерного объекта, а также способ перевода понятий теории в понятия присущие объекту. Поэтому в приведенном примере 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 евклидовой геометрии не следуют высказывания римановой

геометрии.

Прикладные математические теории, хотя и могут иметь структуру аксиоматических теорий: аксиомы, правила вывода, структура выводов, теоремы, тем не менее, требуется, чтобы они отражали специфику предметной области, а их структура была бы приспособлена для решения практических задач. В принимаемых аксиомах прикладных математических теорий (ПМТ) должны отражаться 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. 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 должна обладать определенным набором стандартных связей, объединяющих элементы в целостную систему. Расширенный список аксиом условий и типов связей сужает набор высказываний, которые могут быть правильными, т.е. удовлетворять заданному набору аксиом. 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 ограничения реального естественного и искусственного мира, а мы должны уметь конструировать его модели — инструменты согласования теории с реальным миром. Если модели плохо согласуются с реальным миром, то мы должны уметь перестраивать теорию в соответствии с оценкой ее адекватности, надежности, эффективности и т.п. 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, и физической реальностью, представленной на математическом

языке, множеством прикладных физических теорий. Мы нуждаемся в таком математическом определении нелинейности, которое будучи перенесенным в прикладную область, позволяла 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 конструирования 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.

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 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 $A(x,y)$ 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 объёмы. 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 $A(x,y)$. 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 вид один 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 то же, 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. Связь между представлениями объекта в допустимых системах координат в математике представляется алгоритмом, а в геометрии 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 существовании 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 инженера мы должны отличать исходные элементы и их свойства, а также 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 представляется процессами построения и преобразования моделей искусственных объектов (ИО).

Элементы систем функционируют в рамках определенных физических законов. Законы функционирования элементов представляются в виде определенных отношений между инвариантными геометрическими объектами. 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 $(x \in A(x))$, 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.

Инженерная деятельность — целевая акция редукции избыточных свобод системной (структурной и/или функциональной) организации. Всякой организации

управления должна предшествовать организация необходимых и достаточных свобод, в противном случае инженерная деятельность не может быть эффективной.

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 (Смолянинов В.В.).

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 она должны быть достигнута, описание пространства исходных элементов-носителей свобод построения целого, описание механизмов редукции свобод потенциальной изменчивости ИО при его системной (структурной и/или функциональной) организации.

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»¹ [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 функционирования физических, технических, экономических, производственных и др. систем будут приводить нас 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

¹ <http://www.metodolog.ru/01380/01380.html>

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 соединённых элементов. Нет возможности исследовать влияние изменения структуры на свойства протекающих в системе процессов. Для того, чтобы такая возможность появилась, необходима теория другого типа, обобщённая теория, в которой допустимыми были преобразованиями по разрыванию и связыванию элементов в другую структуру. Такая теория может быть построена 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. Таким образом, возвращается 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 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, бревен, настилов 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. Искусственный интеллект и разум человеческой популяции / в кн.: Александров Е.А. Основы теории эвристических решений. — М., 1975.
2. Бартини Р.О., Кузнецов П.Г. О множестве геометрий и множестве физик / в кн. Проблемы и особенности современной научной методологии. — Академия наук СССР, Уральский научный центр. — 1978.
3. Кузнецов П.Г. Для сотрудников «Цикломены» (рук., *собств. автора*).

4. Кузнецов П.Г. «Побискология». Курс лекций // Альманах «Восток». Вып. №1 (37), 2006.
5. Смолянинов В.В. От инвариантов геометрии к инвариантам управления. // Интеллектуальные процессы и их моделирование. — М.: Наука, 1987.
6. Кутергин В.А. Искусственные объекты и конструктивные процессы. — Ижевск: Изд-во ИПМ УрО РАН, 2007.
7. Пуанкаре А. О науке. — М.: Наука, 1983.
8. Крон Г. Тензорный анализ сетей. — М.: Сов. радио, 1978.