

УДК 51.74

ИНЖЕНЕРНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ С КОНСТРУКТИВНОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ

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

Аннотация

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 моделей и конструктивных процессов пригодны для исследования законов организации искусственных объектов и управления ими? Представлена попытка дать ответы на данные вопросы путем анализа инженерных проблем и задач с позиций поиска единства в сложном.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инжиниринг, конструктивный процесс, искусственный объект, изменчивость, инварианты, структура связей, реакция связей, целенаправленная деятельность, модель потребного будущего, проектирование систем.

ENGINEERING ACTIVITY FROM THE CONSTRUCTIVE VIEWPOINT

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

Abstract

How could one define an artificial object? What differs it from a natural object? What's the nature of a final-product and engineering activity as an artificially created phenomenon? Is it possible to describe in common mathematical language the phenomenon of an object construction or process with the fixed parameters, despite a variety of displays? What kinds of models and constructive processes are suitable for studying the laws and principles of artificial objects organization and management? The present work attempts to answer the above-mentioned questions by analyzing the engineering challenges and problems using "search of unity in complex" approach.

KEYWORDS: engineering, constructive process, artificial object, variability, invariants, structure of communications, result of communications, goal-directed activity, model of consuming future, systems design.

В последние годы все чаще стали употребляться понятия «инжиниринг», (реинжиниринг), с помощью которых пытаются вернуть исходный смысл инженерной деятельности. «Инженер» и его деятельность стали объектом исследования. Это не случайно. Если рассматривать «инженера», как человека, занятого целенаправленной (конструктивной) деятельностью и если учесть приходящуюся на него техническую оснащенность и энергетические ресурсы, то можно заметить: он становится «богом». Объекты, создаваемые человеком, не только изменяют мир, но и изменяют самого человека. *Мир инженера это созданные или создаваемые объекты, которые должны обладать или обладают заданными свойствам, которые он использует по своему усмотрению в соответствии с заранее разработанными планами. Мир инженера это*

созданные или создаваемые конструктивные процессы, при помощи которых инженер осознает существование проблемы, формирует конечные и промежуточные цели, строит планы, организует и контролирует эффективность их выполнения. Возросла ответственность инженера за сохранение и развитие мира.

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 мы относим к миру искусственных объектов (ИО) и конструктивных процессов, который имеет свою, искусственно созданную – физическую природу, свои отличительные законы описания, построения, преобразования, развития. 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 сложном.

1. П.Г. Кузнецов отмечал, что образующийся приоритет прикладных исследований в науке все в большей степени соединяет в одном человеке инженеров двух типов - 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. Закон не может быть навязан природе, он не зависит от отношения к нему инженера. Установление закона говорит, что часть явлений (процессов) могут быть наблюдаемы, а часть нет. Часть явлений не может наблюдаться именно потому, что она вступает в противоречие с установленным законом. Установленный закон позволяет инженеру-исследователю делать

предсказания, но только в той группе явлений, которая характеризуется установленным инвариантом.

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 (назначение, потребительские свойства ИО) и инварианты известных законов, а задачей – нахождение инженерной структуры, которую можно использовать 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.

Многие ученые обращали внимание на это различие, поэтому выделяли в наблюдаемых видах деятельности инженера две логики:

А) *Логика объяснения L^o ,*

Б) *Логика конструирования L^k .*

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

L^k - содержит способ выбора необходимых инвариантов, которые делают материальные воплощения идеи наблюдаемыми, т.е. физически реализуемыми.

Таким образом, L^o *начинает работу с материального воплощения конструкции созданной природой или человеком, а заканчивает идеей, которая принимает вид закона.* 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.

Инженер, как бы, объединяет в своей деятельности две концепции, одна из которых призвана объяснить мир, другая направлена на его построение новых объектов. Построение новых объектов, которые лучше приспособлены для удовлетворения потребностей человека, вместе с этим, открывает для него и новые возможности. Взаимосвязь между потребностями и возможностями можно определить посредством гипотезы Кузнецова П.Г. [1]:

- *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 $L = \langle \{L^O\}, \{L^K\} \rangle P(L^O, L^K)$, некоторым инструментом инженерной деятельности, где $P(L^O, L^K)$ - предикат, характеризующий взаимосвязь логик.

Логика конструирования опирается на идеи формирования целей необходимых для удовлетворения тех или иных потребностей, следовательно, опирается и на идеи роста возможностей. Верно и обратное утверждение: рост возможностей человека невозможен без целей и механизма их воплощения в материальные конструкции.

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 ИО включает два важнейших аспекта: цель и целенаправленная деятельность.

2. Процесс конструирования или проектирования будущего не относится к разряду традиционных исследований, потому что его результат представляет собой инженерную конструкцию, ведущую себя в соответствии с замыслом инженера-конструктора. Учитывая, что каждый инженер-конструктор может иметь свою цель и

теорию, ориентированную на удовлетворение потребности, то результат ее работы можно назвать частным проектом системы, инвариантом которой служит потребность. Известно, что основным психологическим препятствием на пути поиска альтернатив в решении проблемы удовлетворения той или иной потребности, является пребывание инженера (если говорить языком тензорной методологии в теории систем [2]) в неизменной системе координат. *Наиболее радикальным подходом в преодолении этой инерционности, является введение языка инвариантов и соответствующих понятий науки, построение на этой базе обобщенных моделей, описывающих расширенную точку зрения инженера - собирательный образ, в котором частные точки зрения хоть и выступают отдельно, но являются согласованными между собой.*

Этот подход использует ту же основу, что и математика - мы имеем в виду тензорный или инвариантный анализ.

Создаваемое инженером: частное техническое решение, можно назвать проекцией системы данного типа в частную систему координат. Все множество частных проектов может образовать группу преобразований с инвариантом, направленным на удовлетворение той или иной потребности.

Научная и конструктивная ценность заключается в том, что она позволяет перейти от разговоров на тему: «является ли проектирование систем искусством или наукой?» к созданию модельных теорий конструирования инженерных систем для некоторых сфер деятельности человека [3].

Здесь речь идет о сферах построения таких моделей инженерных систем, которые с одной стороны демонстрирует способ достижения цели, а с другой позволяют извлечь из построенной модели план построения объекта и/или процесса по его созданию.

3. Существующие науки о проектировании систем большей частью рассматривают инженерный объект как готовый продукт, искусственно отделяя его от процессов «рождения», «развития», «умирания». Многие исследователи отмечают, что объекты, создаваемые человеком, нельзя рассматривать в отрыве от процесса их создания. Технология построения объектов должна быть достаточно четкой, строгой и корректной в том смысле, в каком математическое доказательство гарантирует нам истинность теоремы. Другими словами, *технология построения объекта должна гарантировать заказчику и пользователю наличие требуемых свойств. Этого можно добиться, придерживаясь одного из принципов конструктивного знания: требуемые*

свойства объекта должны в нем присутствовать или наблюдаться по построению. Здесь, на первое место выходит точка зрения – требования заказчика к объекту.

Проблема создания объектов и процессов с заданными свойствами в методологическом и теоретическом плане часто относят к задачам управления инженерной деятельностью. Инженер возлагает на систему управления инженерной деятельностью задачу достижения цели с заданным качеством протекающих в системе процессов. Поскольку инженер имеет дело с объектами самой разнообразной природы, то и управление столь же разнообразно. *Управлять: техническим объектом, процессом или организацией, что может быть общего между столь различными сторонами деятельности человека?* Когда мы говорим об управлении, то прежде всего, мы каким либо образом должны выделить во-первых, то, чем мы собираемся управлять – объект управления, во-вторых, с помощью чего мы собираемся управлять – управляющая система, и третье, то ради чего мы собираемся управлять – цель управления. Трудно простым перечислением обрисовать все многообразие инженерных задач управления, возникающих на разных уровнях деятельности и в разных формах. *Воспользуемся определением объекта как системы, в этом случае управлять значит иметь возможность варьировать набором элементов, связей, структур, изменять функции параметры и т.п., с целью придания объекту требуемых свойств.* Управлять, значит иметь возможность влиять на свойства системы как объекта управления, влиять, значит подвергать изменению. Если мы подвергаем изменению некоторый объект или процесс, то значит, что он нас в чем-то не устраивает, не обладает желаемым свойством, не соответствует требованию, заданному поведению.

Управление, прежде всего, имеет отношение к искусственному или живому миру. В целенаправленной деятельности человека оно состоит из таких подфункций как: целеполагание, планирование, организация, контроль, мотивация. В конструктивной деятельности мотивация инженера «зашита» в проблемной ситуации. Если определить проблемную ситуацию как «дыру» между желаемым (ощущаемой, предполагаемой, прогнозируемой потребностью) и действительным, то желаемое, становится переменным или постоянным параметром проблемной ситуации. Целеполагание рассматривается как средство решения проблемы или снятия проблемной ситуации. Планирование, это построение процесса достижения цели в пространстве и времени, а также определение необходимых для этого ресурсов (материальных, энергетических, информационных). Организация, это создание из

совокупности элементов (подразделений) и связей некоторой системы, отвечающей за преобразование чего-то существующего, исходного, в необходимое, требуемое, конечное, согласованное с целью, принятым планом. Организованная деятельность получит фактический результат. Сопоставление фактического результата с плановым результатом, может выявить иные проблемы. Решение проблем может потребовать прохождение того же функционального цикла.

Управление, как конструктивный процесс, интегрирует все виды деятельности в единую цепочку. В этом смысле, оно представляет собой некоторый динамический процесс, изменяющийся в пространстве и времени, связывающий между собой управленческие функции, целью которых в конечном итоге является решение проблем и задач организации деятельности. Модель объекта управления, в этом случае, представляет собой сложную иерархическую систему, тесно взаимодействующую с окружающей средой. *Главной идеей модели является факт признания взаимосвязи и взаимозависимости подсистем и всей системы в целом с внешней средой.* Этим теоретическим положением организованная деятельность рассматривается в единстве составляющих ее частей, которые неразрывно связаны с внешним миром. Ключевые факторы успеха управленческой деятельности находятся во взаимодействии с двумя сферами – внешней, из которой она получает все виды ресурсов, включая информацию (т.е. знания), внутренней, сильные и слабые стороны которой создают те или иные предпосылки для преобразования ресурсов в требуемый продукт или процесс. Эффективность организационной деятельности оценивается как системная целесообразность, учитывающая ее способность к саморегулированию и самоорганизации, а также к достижению целей при изменении внешних условий и факторов.

4. Ученые физиологи и психологи исследовали *поведенческие акты* живого организма и пришли к выводу, что *это процесс принятия решения, интеграция и выбор из многих возможностей одной, которая позволяет добиваться наибольшей эффективности.* В физиологическом аспекте поведенческий акт – процесс устранения избыточных степеней свободы у нейрона, на который поступают тысячи возбуждений, а он выпускает одно. Организм только тогда принимает решение, когда нейроны подгонят друг к другу свои степени свободы, что и создает их интеграцию и возможность согласованной работы. (Анохин П.К., Проблемы принятия решений. – М., 1976.) В итоге, принятие решения оказывается не изолированным актом, а одним из

этапов целенаправленного поведения, частью большей системы. Процесс принятия решения обусловлен внешним воздействием, мотивацией, памятью. Бернштейн Н.А. показал, что управление, например, трудовым движением осуществляется не разомкнутой рефлекторной дугой, в которой сигналы идут от мозга к мышцам, а замкнутым «кольцевым контуром», где поступает непрерывный поток сигналов в обратном направлении. Обратная связь, корреляция команд, обеспечивают устойчивость трудового процесса, целенаправленную деятельность человека. Поскольку, даже в простейших физиологических аспектах поведения животного обнаруживается установка на достижение определенного результата, цели, Бернштейн вводит гипотезу о существовании в центре нервной системы в закодированной форме, предвосхищения требуемого итога – модели потребного будущего. *Модель потребного будущего и обратная связь создают основу цикла любого действия животного – так называемого механизма регуляции, т.е. действия с контролем результата.* Где берется модель потребного будущего? Ответ на этот вопрос связан с понятием *активности животного. Активность, определяемая совокупностью потребностей и потенциальных возможностей – вот та причина, то состояние живых организмов, которое является непременным условием их существования в мире.* Активное существо содержит источник и «машинный агрегат» своего собственного движения. Кроме того, источник постоянно воспроизводится в ходе своего собственного движения. Точно также активность *инженера строится на базе выдвигаемой гипотезы о модели потребного будущего, т.е. цели и конструктивном процессе познания закономерностей мира искусственных объектов, соответствующих модели потребного будущего.*

Создавая внутреннюю структуру ИО, мы стремимся навязать ему то, что в определенных условиях должно сохраняться и проявлять себя, т.е. мы наделяем его совокупностью структурных и функциональных инвариантов, согласованных с внешней целью. Для характеристики альтернативности или разнообразия возможных вариантов создания системы, необходимы параметры, позволяющие установить весьма полезное для моделирования конструктивной деятельности понятие числа степеней свободы построения и/или преобразования ИО. Целесообразно расширить понятие «числа степеней свободы», для определения в ИО и конструктивных процессах числа свобод структурной и/или функциональной организации. Но инварианты, это ограничения. Они могут быть заданы относительно того, что мы в состоянии изменить, чем мы пользуемся при создании требуемой функциональной или структурной

организации. По-видимому, способность изменяться, изменять, является не менее характеристическим свойством целесообразной деятельности человека, чем определение инвариантов. Можно ли охарактеризовать «природу» изменчивости? Каждая предметная область обладает некоторым комплексом изменчивости, который мы должны научиться параметризовать, если хотим создавать модельные методы инженерного проектирования. Изменчивость, это то, что определяет возможность создавать альтернативные варианты искусственных объектов.

За каждой созданной или создаваемой системой скрывается то, чем мы постоянно пользуемся, но явно не выделяем. Изменчивость находится вне наших модельных построений. Конечно, она интуитивно присутствует в виде вариантов во всем, что человек строит и перестраивает, но явно не выделяется. *Исследование разнообразных комплексов изменчивости в инженерных задачах – вторая сторона конструктивной деятельности.* Если рассматривать структурно-функциональные инварианты построения ИО как ограничения, в которых реализуется «природа» целесообразной организации объекта или процесса, то естественно в качестве параметров «природы» комплекса изменчивости использовать понятие «свободы». Но, в данном случае, «свободы» это не независимые параметры состояния, это специализированные характеристические параметры, при помощи которых мы актуализируем наши потенциальные возможности структурной и/или функциональной организации (свободы построения) ИО. *Свободы построения и ограничения как инварианты это двойственные понятия, которые проявляют себя в единстве в задачах управления.* Носителями свобод построения могут быть разные объекты и элементы конструктивной деятельности. Изменение целей, ценностей, программ управления, функций, структур, все это проявление свобод изменчивости, но только относительно чего и ради чего? Если мы фиксируем в качестве цели – снять проблемную ситуацию, то свободы изменчивости – проявляются в альтернативности наших целей, планов, функций, структур. Если мы зафиксируем в качестве цели – реализовать программу управления движением материальной точки, то носителями свобод будут, например, альтернативные способы силового принуждения. Таким образом, природа «изменчивости» контекстно зависима и сама по себе не конструктивна. Она становится объектом исследования только при наличии носителей свобод построения и заданной цели. Отсюда следует вывод, что носителями свобод

изменчивости могут быть разные объекты и процессы. Они могут быть актуализированы и использованы только в контексте поставленных целей.

5. Какова категория цели и ее модели? Какое разнообразие процессов и количество функциональных элементов может обеспечить возможность достижения поставленной цели? Какие отношения между множеством функциональных элементов должны быть заданы, чтобы цель оказалась достигнутой? Какова должна быть структура системы из элементов и связей, реализующих ту или иную функцию? Как совместить субъективные цели с объективными законами природы, в которых отражаются физические явления, происходящие в элементах или компонентах ИО? Для этих целей необходима теория управления процессами построения и преобразования моделей ИО. *Процесс управления построением и преобразованием моделей ИО здесь надо рассматривать с позиций существования некоторой надсистемы, целью которой является выбор способа трансформации объективного - моделей физических явлений, для образования требуемых функциональных и структурных свойств элементов ИО.* Прикладная направленность теории, требует реализации ее методов в конструктивном смысле. Особенно тщательно требуется подойти к выбору языка теории, который позволял бы выявлять сходство и различие ИО и конструктивных процессов на разных уровнях структурной и функциональной организации. *Здесь используется расширенное толкование термина «теория».* Вся современная методология науки базируется на рассмотрении фундаментальных, а не прикладных теорий. Ее прямое применение к прикладным теориям затруднительно по следующим причинам:

Существенно затрудняет изучение прикладных теорий их многоязыковость. В теории одновременно присутствуют фрагменты языков самых разных уровней – абстрактных, модельных и даже эмпирических, соседствуют понятия самой разной строгости.

Работа с прикладной теорией неразрывно связана с ее конструктивизацией, с извлечением из нее эмпирических рецептов (эвристик) либо планов более высокого уровня. А современная методология науки целиком базируется на анализе дескриптивных теорий.

Каждая прикладная теория одноаспектна, как, например, статика, динамика, теория деформируемого тела и т.д. Рассматриваемые же нами искусственные объекты всегда многоаспектны. Поэтому никакая прикладная теория не может работать в одиночку, ее применение вовлечет в рассмотрение и другие теории.

Мы можем говорить о конструктивной деятельности как теории инвариантов искусственных объектов. Такая теория должна опираться на два типа аксиом или инвариантов:

первый тип – это инварианты, отражающие физический закон, в рамках которого развиваются явления в базовых элементах ИО; эти инварианты остаются справедливыми для многообразия моделей ИО, создаваемых из заданного набора базовых элементов;

второй тип – это инварианты условия. В них должны быть отражены наши намерения: цели, эффекты, ограничения, т.е. целевые траектории, состояния, события, которые должны произойти и не должны произойти в ИО. Данные инварианты-условия остаются справедливыми для конкретной задачи; к ним можно добавить инварианты конструктивных связей, определяющих типовые отношения между базовыми элементами системы. Каждая предметная область обладает своим набором стандартных связей, которые используются для объединения элементов или источников движения в единую систему и для придания ей системообразующих структурно-функциональных свойств.

Правила вывода такой теории определяются из условий совместности всех видов ограничений, а также из конструирования особого геометрического объекта – тензора преобразования, который содержит информацию, например, о структуре взаимодействия базовых элементов и связей ИО. Правила вывода и структура вывода такой теории представляют собой группу возможных преобразований уравнений движения, которую можно построить только в том случае, если уравнения ограничивающих связей, как инвариантов могут быть приведены к совместности с уравнениями движения [4]. Наборы инвариантов второго типа могут быть расширены или наоборот сужены. При расширении набора инвариантов сужается зона поиска альтернатив, и наоборот, его сужение позволяет расширить возможности построения моделей ИО отвечающих инвариантам второго типа или иначе поставленной цели в заданных условиях. При построении моделей ИО, могут различаться три варианта ситуаций. Во-первых, может случиться так, что ни один из способов построения модели или преобразования уже известной модели ИО не позволит найти такого решения, при котором все типы инвариантов-условий окажутся совместными. В этом случае мы говорим, что инварианты-условия противоречивы и не реализуемы. Во-вторых, может быть и так, что построенная модель ИО будет иметь множество

решений, удовлетворяющих всем инвариантам-условиям. В этом случае, выбранные ограничения хотя и совместны, но недостаточны для получения однозначных решений. Тем не менее, можно утверждать, что цели здесь реализуются множеством альтернативных способов. Чтобы выбрать из множества один из таких способов реализации, необходимо задать дополнительные требования (дополнительные инварианты-условия) и попытаться достроить модель ИО до уровня получения единственного решения. В третьем варианте, построенная модель ИО может иметь единственное решение, удовлетворяющее инвариантам-условиям. В этом случае мы будем говорить, что инварианты-условия необходимы и достаточны.

Если зафиксировать язык теории, то переход, от одной теории к другой состоит в изменении системы аксиом первого типа. В прикладных областях, где в качестве базовых, используются элементы физической природы, этой системе аксиом – инвариантов соответствует система законов природы, описывающих явления, происходящие под действием различного рода источников энергии.

Язык теории, аксиомы-инварианты, правила вывода, структура выводов определяют устройство математических теорий. В качестве языка теории предлагается выбрать язык геометрии многомерных пространств. *Геометрия, в современном понимании, это теория пространства с инвариантным геометрическим объектом, в качестве которого в общем случае выступают многообразия определенной структуры и размерности.*

Конечными результатами теории должно быть пространство определенной размерности, заданное в нем целевое многообразие, возможные виды моделей ИО, допускаемые его структурой, и извлекаемый из них план построения ИО.

6. Каждому классу ИО соответствует своя прикладная теория, поэтому уровни возникающих задач управления можно связать с ее настройкой или перестройкой. Нас будут интересовать такие прикладные теории, которые дают возможность строить модели ИО, удовлетворяющие нашим требованиям, т.е. ее аксиомам. Построенная модель ИО должна приобрести определенную математическую структуру (например, система алгебраических или дифференциальных уравнений), в которой можно выделить характер физических процессов, структуру из элементов и связей, способ управляющего воздействия, совокупность внутренних и внешних параметров, и все это должно отвечать наперед заданным свойствам или требованиям.

В классических прикладных теориях: теория машин и механизмов, общая динамика машин, сопромат и т.п., доминируют модельные методы построения вариантов объектов, неудовлетворительный анализ которых, с точки зрения заданных требований, приводит инженера к поиску новых гипотез об устройстве необходимых ему объектов. В лучшем случае, допустимой является параметрическая оптимизация объекта заданной структуры. *Прикладные науки не могут делать предсказания свойств объекта при изменении его структуры* из элементов и связей. В математических моделях данных наук структура явно не задана и не является объектом варьирования. Однако организованная определенным образом совокупность из физических элементов и связей составляет классы ИО, проявляющие, например, заданную функциональность. Оптимальность на параметрическом, функциональном, структурном уровнях имеет различные степени влияния на заданные требования. Требования, которые не удовлетворяются на параметрическом уровне, можно попытаться удовлетворить на функциональном уровне. Те требования, которые не достигаются на функциональном уровне, можно добиться их реализации на структурном и/или структурно-функциональном уровне организации ИО. Невозможность реализации заданных требований при параметрических настройках моделей ИО создает определенный барьер для инженера. Чтобы преодолеть его, необходимо выйти за пределы конкретной модели, т.е. рассмотреть другую модель, из другой взаимосвязанной совокупности элементов. Для этого необходима прикладная теория, ориентированная на построение рядов моделей ИО определенного класса. Необходимо научиться управлять объектом так, чтобы изменять его структурно-функциональные характеристики. При этом одни свойства должны оставаться неизменными, а другие изменяться в соответствии с требованиями. В этом случае, конструктивный смысл управления раскрывается через процессы структурного или структурно-функционального методов построения и преобразования моделей ИО.

Необходимы такие конструктивные аксиоматические теории, которые должны вносить в конструктивный процесс построения и преобразования ИО альтернативность или свободу структурной и/или функциональной организации ИО. Свободы построения и преобразования ИО не появляются сами по себе. Свободы организации из элементов и связей, соответствующие заданной совокупности свойств как инвариантов – это определенные закономерности, которые можно наблюдать при преобразованиях структуры. Эти закономерности, напрямую связаны с элементами –

носителями свобод и связями – ограничителями свобод, а также целями, выступающими внешними ограничителями свобод. Действительно, от того, сколько и какие элементы необходимо выбрать для целей построения ИО с последующей организацией взаимодействия между ними, зависит размерность пространства, возможные структурные свойства и в конечном итоге число альтернативных способов достижения цели.

Подобным образом организованы движения живых систем. Например, полторы сотни лет известен «потирательный» рефлекс у лягушки. Благодаря нему лягушка сбрасывает кончиком лапки раздражитель, расположенный на ее теле. Успешное смахивание раздражителя происходит в различных позах лягушки и даже в том случае, когда введено искусственное ограничение движения (например, зафиксирован один из суставов). Чтобы выполнить подобные операции лягушка должна иметь альтернативные моторные программы для управления задней конечностью, т.е. свободы в организации движений, инвариантом которых является удаление раздражителя. Т.е. даже у рефлекторных животных, для которых модель мира на протяжении жизни не меняется, имеется альтернативная реакция выполнения двигательной задачи. Животные, которые могут обучаться, обладают: памятью, используют универсальную познающую систему. Это позволяет им создавать внутреннюю модель мира, которая позволяет планировать и запускать новые программы движений, осваивать новые способы решения двигательных задач.

Подобным образом должны работать прикладные аксиоматические теории, позволяющие генерировать альтернативные способы структурно-функциональной организации ИО, отвечающие определенному набору целевых и функциональных инвариантов. Продолжая логическую цепочку мы приходим к выводу, что определенному количеству свобод изменчивости может соответствовать определенное число альтернатив структурно-функциональной организации ИО. Введение новых или дополнительных свобод изменчивости, позволит найти новые свободы построения ИО.

При построении ИО взаимодействие между его элементами происходит посредством различных типов связей, которые можно выбирать или задавать одного вида, различного вида, разного уровня, например, функциональные связи, иерархические связи и т.п. Связи, как ограничители свобод, запрещают существование определенных состояний, конфигураций, в общем случае многообразий. Они вводятся исключительно в контексте наших знаний и намерений реализовать требуемую

функцию или добиться поставленной цели. Разнообразие их типов формируется в предметных областях в процессе создания множества ИО, реализующих требуемые функции и процессы. Поэтому, появление структуры связей в качестве аксиом прикладных теорий, может быть отражением достигнутых, устраивающих нас, готовых инженерных решений.

7. *Всякое конструирование есть выбор, например, определенной организационной совокупности из элементов, связей, ресурсов (в частности источников движения или энергии). Возможность выбора предполагает существование многих вариантов организации и свободы выбора между ними. Существование выбора альтернатив в организации двигательной активности заложено в живом существе, которое при помощи собственных движений пытается достигнуть заранее поставленную цель, в заданных условиях. Для этого оно первоначально актуализирует необходимые для этой цели степени свободы локомоторного аппарата, а затем конструирует заданное движение при помощи различного рода программ. Конструирование движения (или изменения в широком смысле), это процесс выбора нужных движений из мысленно допустимых, осуществляемых посредством ограничений различного рода. Ограничения уменьшают множество допустимых движений, отбрасывая те, которые не могут быть реализованы. Сформулировать принципы отбора в терминах и переменных потенциального объекта или процесса конструирования, значит построить теорию выбора или конструирования.*

На первом уровне допустимой организации систем работают законы сохранения вещества, энергии, информации. Законы сохранения являются, в определенном смысле, контекстными, абсолютными, но они не обеспечивают однозначность возможных движений. В целенаправленной деятельности человека, использующего движения в достижении целей и при функционировании живых организмов происходит отбор движений, которые не являются следствием законов сохранения. Механизмы отбора являются следствием ограничений, определяемых информационными, конструктивными сущностями: целью, программой (планом), системой ценностей. Целенаправленная организация систем, есть переход от модели управления объектом, где управляющие воздействия определяются исходя из программ движения, и являются внешними по отношению к управляемому объекту, к модели управления, где управляющие воздействия окажутся внутренними. В такой постановке, внешние управляющие воздействия, действующие на управляемый объект, должны

быть заменены, по сути, на реакции внутренних связей. Уже здесь мы сталкиваемся с задачей актуализации свобод построения ИО, носителями которых должны быть дополнительные элементы, не относящиеся непосредственно к управляемому объекту.

Таким образом, задача синтеза управляющего воздействия в виде внешней силы, может быть трансформирована в задачу: поиска структуры из взаимодействующих элементов, в которой управляющие воздействия могут быть реализованы посредством реакций связи, внутренней силы. Классическими методами реализации управляющих связей являются обратные задачи, решение которых позволяет синтезировать законы управляющего воздействия. В классической кибернетической задаче управляемого движения критерием отбора (оптимального управления) является функционал, отражающий потенциальную возможность существования оптимальной траектории движения. Можно обнаружить различие между классическими методами решения обратных задач и задачами управления. При решении обратных задач, вводя ту или иную связь, мы не имеем единственного решения и оставляем себе свободу выбора. В кибернетической задаче мы имеем, как правило, единственное решение, удовлетворяющее экстремуму (минимуму или максимуму) функционала. Когда оптимальное решение ищется с учетом ограничений, то минимум или максимум функционала будет выполняться не в смысле переходного процесса, а в некотором ином смысле. Приоритетными становятся ограничения, которые обязательно должны выполняться, а функционал играет роль критерия выбора альтернатив. В принципе, никто не мешает нам рассматривать функционал, как поверхность определенного уровня, в этом случае он превращается в еще одно ограничение, отнимающее от управляемого движения одну степень свободы. Требования минимума времени, энергии, максимума устойчивости и т.д. во многих случаях уводят нас от реальности. Представляется, что более важным является владение семантикой предметной области для задания: интервала времени и программы выполнения переходного процесса системой из одного состояния в другое; энергетического ресурса, который может быть потрачен для реализации этого перехода; явной формулировки ограничений, за которые не должны выходить траектории и т.п. *Совокупность* подобных ограничений-требований, при условии их совместности, будет определять инвариантное многообразие, на котором должны развиваться процессы управляемого движения. В этом случае, многообразие, по сути, определяет целевое пространство состояний и движений управляемого объекта.

8. *Характер движения ИО, как системы, составляет его важнейшую характеристику. В движении проявляется характер внутренних процессов, происходящих в ИО, степень воздействия внешних факторов. Наблюдая за движением ИО, мы изучаем его свойства. Если движение не соответствует поставленной цели, заданным свойствам, то требуется так на него воздействовать, чтобы принудить его приобрести требуемые параметры и свойства. Когда мы говорим о движении, то это не привычное для нас понятие, а некоторая абстракция, характеризующая процесс изменения состояния ИО. При описании состояния ИО необходимо, как правило, учитывать множество факторов, поэтому, состояние ИО описывается вектором. Вектор состояния, это наименьший набор параметров ИО, значения которых в момент времени [to] позволяет определить состояние ИО в момент времени [ti], если задан закон входного воздействия. Количество выбранных параметров, определяет размерность данного вектора состояния и пространства, в котором он может быть задан. Каждому набору значений данного вектора, соответствует точка в пространстве состояний. Мы видим, что возможность представления процессов изменения состояния ИО требует введения понятия пространства. Пространство имеет размерность, его элементами являются точки, а его свойства определяются отношениями между этими точками. Природа отношений для выбранного элементного и/или функционального базиса может быть различной, но все это различие, с математической точки зрения, может быть сведено к некоторым формам связи, ограничениям. Одни ограничения определяют природу физического закона, другие – связи между базовыми или функциональными элементами системы, третьи, могут отражать природу программ управления и т.п. В этом контексте понятие состояния исходной системы может включать в себя существование совокупности не связанных (т.е. свободных элементов) или взаимосвязанных элементов. Выбор элементов, связывание элементов между собой, с источниками энергии, конструктивные акты целесообразного изменения состояния ИО, или принуждения. Актуализируя возможность выбора элементов для конструирования ИО, способы воздействия на элементы системы при помощи: организации разнообразных типов связей, внутренних и внешних сил, полей различной природы т.д., тем самым инженер создает различные пространства, формирует в них различную структуру, добивается проявления в нем необходимых состояний и свойств. Пространство состояний, является базовым пространством, из которого в зависимости от целей можно получить другие абстрактные пространства. Эти*

другие абстрактные пространства связаны с пространством состояний каким либо преобразованием, либо могут быть его подпространствами (например, пространство действий, пространство функций, подпространство обобщенных координат).

Траектория движения изображающей точки в пространстве состояний с заданными начальным вектором состояния и его конечным положением может определять процесс целенаправленного функционирования ИО. Множество траекторий в пространстве могут определять разнообразие альтернативных способов достижения цели. С траекторией движения в пространстве состояний можно связать другие пространства.

В качестве примера рассмотрим два из них: пространство действий и пространство функций. Эти два пространства взаимосвязаны между собой и в каждой предметной области имеют взаимную интерпретацию. Вместе с тем, интерпретация часто не является взаимно однозначной. За каждым действием, могут стоять альтернативные способы его реализации.

Например, организовать работу, проложить маршрут. Альтернативные способы реализации действий могут состоять из различного набора функций, различным образом организованных. *Именно поэтому можно говорить о пространстве действий*, которое, как правило, имеет многоуровневую структуру представления. Нижний уровень структуры представления действий может иметь конечный набор действий. Например, в управлении роботом, имеет место конечный набор действий по включению и выключению определенных простейших программ (включить движение, выключить; начать обработку сигнала, закончить...). На нижнем уровне реализуются простейшие отношения порядка и взаимного исключения.

Из простейших действий можно составить более сложные действия, например, программы операции. Из операций, в свою очередь, можно образовать программы процессы, а из них программы технологии. Выделение тех или иных уровней программ действий, некоторая условность, отражающая словарь понятий некоторой предметной области. Однако, всегда необходимо стремиться определить базовый набор простейших действий, из которого путем создания определенной структуры взаимосвязей можно получить все другие более сложные действия. Размерность пространства действий определяется числом степеней свободы, которым обладает каждое действие, умноженное на число самих действий. Свойства пространства действий, т.е. его структура, будет определяться структурой и видом связей,

накладываемых между действиями. Цели, заданной во времени, можно поставить в соответствие тот или иной путь в пространстве действий, который, соответственно может отражать структуру операций, процессов, технологий и т.п.

Разработанная программа действий, рассматривается в контексте определенной цели или целей, служит средством удовлетворения потребности в той степени, в которой состояния-потребности, или целевая траектория оказываются достигнутыми.

Если задать множество базовых функций некоторого класса ИО, и задать между ними отношения (связи), то можно построить функциональное пространство. Множество точек такого пространства будет отражать возможные состояние совокупности функциональных элементов. Допустимые отношения между точками такого пространства будут формировать его структуру. Пути в функциональном пространстве, будут отражать альтернативные способы решения задач снимающих проблемную ситуацию. Возникающие при этом функциональные структуры будут отражать программы решения задач, разной степени сложности, которые могут точно так же как действия быть многоуровневыми.

Действия, структура действий, а также функции, структура функций, – это понятия, в которых описываются уровни и средства реализации целенаправленной деятельности инженера. Представление ИО посредством задания данных понятий в пространстве и во времени, приводит к многоуровневому представлению конструктивной деятельности, которое, в конечном итоге, может определить в разных семантических формах план достижения цели.

9. Искусственный объект может представлять собой достаточно сложную систему, которая разбивается на подсистемы, поэтому требования к подсистемам должны быть согласованы с требованиями к системе в целом.

Идеальным заказчиком, для разработчика, должен являться тот, кто знает, что ему нужно, зачем это ему нужно; как это представить инженеру.

Если заказчик хочет как-то охарактеризовать инженерный объект, то это он может сделать несколькими способами.

Первый, самый простой, – непосредственно продемонстрировать объект. Демонстрируется то, из чего сделан объект, его внешние форма и очертания, из каких компонент он состоит, как устроен изнутри. Можно продемонстрировать множество подобных объектов, рассмотреть их сходство и различие. В том и в другом случае, мы имеем дело с морфологическими характеристиками объекта.

Второй путь характеристики объекта, это указание на его функциональное назначение. Функциональное описание предполагает, всегда, выделение и фиксацию связей этого объекта с другими.

Каждый из видов описаний, представленных изолированно, не содержат знаний, которые отвечали бы на вопросы: как устроен объект и как его строили. Те же функциональные характеристики могут присутствовать у объектов разной морфологии. Функциональные характеристики могут меняться в зависимости от ситуации, в которой оказывается объект.

В инженерных задачах наибольший интерес представляет описание соответствия функциональных и морфологических характеристик объектов. Описание демонстрирует объективную возможность проявления функциональной характеристики объекта через его устройство. Взаимосвязь между морфологическим и функциональным описанием выделяет из всего множества функциональных характеристик такие, которые специфичны для данного объекта и поэтому должны проявляться при заданной структуре.

Функциональные характеристики объекта относятся к двум группам. Первая группа функциональных характеристик определяется чисто внешними условиями – ситуациями, в которые попадает объект. Вторая группа состоит из тех функциональных характеристик, которые проявляются через морфологию объекта. Морфологическое описание объекта (элементы, связи, структура) генетически содержит ту или иную функциональность, которая может проявить себя в зависимости от ситуации. Задача инженера, в главной своей части, сводится к построению функционально-морфологических характеристик будущего объекта, поиск элементного базиса и такая его организация, которая обеспечит проявление необходимых функциональных характеристик в нужных ситуациях.

Таким образом, главной целью инженера, является создание объектов, обладающих такими функционально-морфологическими характеристиками, реализация которых должна обеспечить проявление предсказуемой функциональности в как можно большем диапазоне изменений внешней среды, т.е. в как можно большем числе ситуаций.

Искусственное происхождение объектов требует построения для них «генетического описания». В генетическом описании предполагается, помимо описания конечного продукта, описать и процесс его создания со всеми

промежуточно-устойчивыми формами существования соответствующих моделей объекта.

Трудности, связанные с построением «генетического описания» системы, в каждой предметной области преодолеваются по-своему. Отсюда многообразие теорий проектирования, использующих свои понятия, язык, методы, модели, которые для многих являются закрытой книгой. Предпринимаемые попытки построить общую теорию систем, все еще находятся в стадии поиска языка, адекватного многообразию возникающих задач, общего для частных теорий проектирования.

Инвариантно-групповая точка зрения на теорию построения и преобразования (проектирования) пространства (т.е. геометрическую теорию) с инвариантами, отвечающими за реализацию той или иной потребности, позволяет объединить в рамках одного и того же языка и теории многообразие дескриптивных и конструктивных процессов имеющих место при решении инженерных задач:

- описания процессов соответствия морфологических и функциональных характеристик объекта;
- функционального, структурного, структурно-функционального анализа;
- синтеза управления и необходимой структурно-функциональной организации систем;
- целенаправленного построения и преобразования структуры и параметров систем, сохраняя одни свойства и изменяя другие и т.п.

Литература

1. Кузнецов, П.Г. Искусственный интеллект и разум человеческой популяции/ Александров Е.А. Основы теории эвристических решений. – М.: Сов. Радио, 1975. – с. 222–246.
2. Петров, А.Е. Тензорная методология в теории систем. – М.: Радио и связь, 1985. – 152 с.
3. Крон, Г. Тензорный анализ сетей: пер. с англ./под ред. Л.Т. Кузина, П.Г. Кузнецова. – М.: Сов. Радио, 1978. – 720 с.
4. Кутергин, В.А. Искусственные объекты и конструктивные процессы. – Ижевск: Уро РАН, Институт прикладной механики, 2007 – 551 с.