**УДК 167.7**

**УДК 37.026.9**

**МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ И ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ АСПЕКТЫ ИННОВАЦИОННОГО ИНЖИНИРИНГА\***

**Ph.D Левков К.Л.1, Prof**. **A**cademician **Фиговский О.Л.2**

1Научный сотрудник лаборатории биосенсоров.

Тель-Авивский университет, г.Тель-Авив, НТА «Экологический императив», Израиль.

**2**Директор по науке и развитию Международного Нанотехнологического центра Polymate, г. Мигдал Ха-Эмек, Израиль.

Инновационный процесс определён как основа социально-экономического развития современного общества. Поэтому одной из приоритетных составляющих экономической политики развитых стран является всемерная поддержка непрерывного процесса *создания инноваций.*

Процесс создания чего-либо из существующих и доступных ресурсов принято называть *инжинирингом*. В соответствии с этим определением инжиниринг (инженерия) – это область человеческой интеллектуальной и практической деятельности, дисциплина, профессия, задачей которой является применение достижений науки, техники, использование законов природы и её ресурсов для решения конкретных проблем, целей и задач человечества.

Исторически возникновение инжиниринга связано со строительством. В дальнейшем смысловое сочетание строительства (построения) и инженерии вошло в определение других инженерных направлений. К этим направлениям, к примеру, относятся: машиностроение, авиастроение, приборостроение и др.

В широком перечне различного рода существующих инжинирингов (строительного, технологического, программного, социального и др.) уже давно созрела объективная потребность в *инжиниринге создания инноваций*. Эта потребность обусловлена низким существующим КПД инновационного процесса. По разным экспертным оценкам он составляет 10% и менее. Т.е., в среднем, только каждая десятая инновационная разработка получает рыночное признание. Если считать, что на каждый из неудавшихся проектов были затрачены значительные материальные средства и время, то становится понятной необходимость в специальном методологическом и образовательном обеспечении инновационного процесса, которое получило название *инновационного инжиниринга.* Он необходим для того, чтобы объект инновационной разработки был востребован в планируемом объёме, т.е. органически вписался в многомерное пространство будущего.

Существует множество отдельных причин и их совокупностей, которые приводят к провальным проектам. Анализ причин, негативно влияющих на конечный результат инновационной разработки является предметом исследований, которые проводятся в рамках методологической составляющей инновационного инжиниринга. На основании этого анализа осуществляется выработка различного рода рекомендаций, построение схем и алгоритмов процесса создания инноваций. Применение методов инновационного инжиниринга позволяют избежать типовых ошибок при создании инновационных продуктов.

Жизненный цикл созданного инновационного продукта состоит из нескольких стадий. Инновационная стадия является первой из них. С неё начинается разработка и в процессе выполнения этой стадии закладываются основные свойства и характеристики разрабатываемого изделия. Если инновационным продуктом является техническая система, то речь идёт об инновационной стадии жизненного цикла технической системы (ИС ЖЦТС). В общем случае, в процессе реализации этапов ИС ЖЦТС, решаются следующие задачи:

1. Проведение функционального анализа первичного инновационного предложения (инновационной идеи). Анализ выполняемых предлагаемым устройством функций и определение существующих способов и устройств для выполнения аналогичных функций. Выявление функциональных, экономических и др. преимуществ предлагаемой инновации перед существующими устройствами аналогичного назначения. Проверка других способов реализации подобного рода функций. Определение принципиальной возможности реализации предлагаемой инновации на базе существующих и доступных ресурсов.
2. Определение и анализ потребности, которая должна быть удовлетворена при реализации предлагаемой инновации. Определение существующих и потенциальных рынков сбыта инновационного продукта, а также их сегментирование для приблизительной количественной оценки потребности в изделии.
3. Определение экономической целесообразности разработки и производства инновации. Проведение предварительного функционально-стоимостного анализа рыночного представления инновации.
4. Проведение проверки предложения на патентную чистоту в отношении потенциальных рынков сбыта.
5. Проведение на основании рыночного и патентного анализов маркетинговой коррекции первичного инновационного предложения путём модификации предлагаемых и добавления дополнительных потребительских свойств. Создание рыночного образа инновации как совокупности свойств и технических характеристик, которые необходимы для обеспечения новых функций.
6. Построение общей структурно-функциональной модели (образа) будущего изделия. Проведение внешнего системного анализа для выявления совокупности различного рода требований к подобного рода изделиям (требования техники безопасности, медицинские требования, военные тактико-технические требования, требования по электромагнитной совместимости и др.). Прогнозирование различного рода последствий (положительных и отрицательных), которые могут проявится в результате практического внедрения инновации. Корректировка структурно-функционального образа изделия по результатам внешнего системного анализа.
7. Разработка подробной функциональной схемы и алгоритма функционирования системы. Проведение внутреннего системного анализа и функционального синтеза. Определение главной, основных и вспомогательных системных функций. Определение функциональных узлов и их характеристик для реализации каждой из системных функций. Распределение системных функций между механической, оптической, гидравлической, пневматической, электрической, электронной, химико-биологической и другими частями инновационной системы. Определение функциональной взаимосвязи всех частей системы, их совместимости, а также характера человеко-машинного взаимодействия.
8. Выявление различного рода противоречий на функциональном уровне, решение проблемных и изобретатательских задач. Подготовка материалов для патентования изобретений.
9. Документальная разработка инновационного предложения с учётом проведенных коррекций и с основными требованиями (техническими, медико-техническими, тактико-техническими, технико-дидактическими и др.) к прототипу предлагаемой инновации.
10. Осуществление компонентного синтеза разрабатываемой системы на основании её функциональной схемы. Разработка принципиальных кинематических, гидравлических, оптических, электрических и др. теоретических чертежей и схем прототипа. Выбор и заказ комплектации и материалов для изготовления прототипа.
11. Разработка и изготовление оригинальных деталей и узлов механических, гидравлических (проточно-каппилярных), пневматических, оптических и др. частей прототипа.
12. Разработка схемотехнических решений электронных частей прототипа, их моделирование и макетирование. Разработка печатных плат и электрический монтаж узлов.
13. Разработка программного обеспечения программируемых электронных компонентов и программ для внешнего компьютерного управления.
14. Сборка, тестирование, лабораторные и производственные (медицинские, полевые и др.) испытания прототипа.
15. Подготовка проекта технического задания на конструкторскую разработку опытных образцов инновационного изделия.

Иновационный инжиниринг выполняет роль инструментального средства для реализации ИС ЖЦТС. В рамках его методологической составляющей применяются и одновременно разрабатываются принципы и практические рекомендации по преобразованию первичной идеи в инновационный продукт. К примеру, приведенный примерный перечень этапов ИС ЖЦТС является проверенной на практике рекомендацией.

На начальных этапах ИС проводится функциональный анализ инновационного предложения и по его результатам осуществляется анализ потребности, которую должен удовлетворить предлагаемый инновационный продукт. При этом анализируются причины возникновения и способы удовлетворения рассматриваемой потребности в прошлом, характер данной потребности и способы её удовлетворения в настоящее время и прогнозирование появления похожих по характеру новых потребностей в будущем.

Для проведения внешнего системного анализа рекомендуется применять практикуемое в теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) понятие "Идеальный конечный результат" как сформированный в сознании образ инновации, описываемый всеми присущими новому продукту свойствами и характеристиками. Идеализированное виртуальное представление объекта инновации до его материальной реализации позволяет оперировать его рыночным образом. Это необходимо для проведения маркетинговых исследований, маркетинговой коррекции и прогнозирования различного рода последствий внедрения инновации (экономических, производственных, социальных, ментальных и др.).

Для осуществления внутреннего функционального синтеза рекомендуется, например, руководствоваться понятием: "Идеальная система". Идеальная система – это система, которая физически не существует, но её функции при этом выполняются. Системная идеализация позволяет увеличить функциональную загрузку компонентов проектируемой системы с целью её упрощения при сохранении всех запланированных характеристик, а также утверждает принцип приоритета выполняемой функции по отношению к реализующему эту функцию устройству. Например, для измерения температуры двигателя необязательно помещать внутри его термометр или термодатчик. Дастаточно использовать существующий ресурс – линейно увеличивающееся при нагреве сопротивление обмотки. Таким образом, обмотка электродвигателя выполняет две функции: создаёт необходимое для вращения ротора магнитное поле и измеряет температуру двигателя без установки дополнительного термосенсора.

Принцип приоритета выполняемой функции весьма важен для осуществления функционального анализа и синтеза. Одна и ту же функцию могут выполнять различные устройства или составные части различных систем. Поэтому в процессах функционального анализа и синтеза оперируют не конкретными устройствами или системными компонентами, а их функциями. Например, внутренний функциональный анализ таких технических систем как энергосистема, система связи и автомобиль показывает их функциональное сходство (функциональный изоморфизм). При разнородности функций назначения: энергоснабжение, связь и транспорт их системные функции очень похожи.

У энергосистемы: преобразование энергии одного из видов в электрическую, преобразование электрической энергии для передачи на большие расстояния, передача электроэнергии по линиям электропередачи, обратное преобразование электроэнергии для использования потребителями.

У системы связи: преобразование информации одного из видов в электрический сигнал, преобразование сигнала для передачи на большие расстояния, передача сигнала по линиям связи, обратное преобразование сигнала в исходный вид информации.

У автомобиля: преобразование тепловой энергии в механическую энергию возвратно-поступательного движения поршней, преобразование возвратно-поступательного движения поршней во вращательное посредством коленвала, передача вращающего момента посредством трансмиссии на движители – ведущие колёса, обратное преобразование вращения колёс в линейно-поступательное движение автомобиля.

У приведнных систем одинаковая последовательная функциональная структура преобразования и передачи энергии или информации.

Функциональный анализ позволяет произвести экспертную оценку принципиальной возможности создания предлагаемого объекта инновации. Для этого определяются существующий научный и технологический потенциал, с помощью которого возможна реализация инновационного продукта.

Оценка принципиальной возможности создания инновации недостаточна для принятия решения о целесообразности её разработки и внедрения. Для этого, на основе функционального анализа, осуществляется функционально-стоимостной анализ. Его результаты используются для экономических расчётов, которые необходимы для определения стоимости разработки и производства инновации, а также для ориентировочного определения её рыночной цены.

Важной операцией, которая должна проводиться в рамках внешнего системного и функционального анализов – это определение совокупности факторов влияния на процесс внедрения инновации. Множество инновационных проектов постигла неудача из-за того, что не было учтено какое-то из требований к данному виду продукции или проигнорирован объективно существующий фактор влияния. В качестве примера можно привести проект аппаратуры для измерения кислотности среды в пищеварительной системе человека. Радиокапсула заглатывалась пациентом, проводила непрерывные pH-измерения по ходу прохождения через пищеварительный тракт и выводилась из организма естественным путём. Далее она извлекалась из каловой массы, промывалась, дезинфицировалась и была готова к проведению обследования следующего пациента. Техническая готовность дорогостоящей капсулы не означала готовность пациента глотать побывавшую в кале радиопилюлю. Вполне логичный отказ пациентов от прохождения данного исследования был следствием того, что разработчиками не был учтён фактор естественной человеческой брезгливости.

Ещё одной и наиболее весомой причиной инновационных неудач является игнорирование или недобросовестное рассмотрение альтернативных путей и способов удовлетворения одной и той же потребности при проведении внешнего системного анализа. В этом случае рыночное признание получает конкурентный метод достижения цели инновационной разработки. Примером может служить инновационный проект одной из израильских стартаповых фирм по весьма эффективному способу сжатия видеоинформации. Способ позволял существенно увеличивать скорость передачи видеоинформации по каналам связи и уменьшать объём памяти для её хранения. Однако, в это же время успешно завершились инновационные разработки, благодаря которым резко возросла пропускная способность каналов связи и существенно подешевела память. Предлагаемый способ сжатия видеоинформации оказался экономически не конкурентным.

В соответствии с определением, инновационный инжиниринг предполагает использование всех существующих средств разработки и ресурсов для создания востребованных инновационных продуктов. При всём многообразии методов и средств, которые используются в процессе создания инноваций, главным инновационным ресурсом являются инновационные специалисты. В соответствии с характером выполняемой работы эта категория специалистов является *инновационными инженерами*. Создание инноваций осуществляется благодаря их личностным качествам и квалификации.

Процесс формирования личностных качеств инновационных инженеров определяется творческой атмосферой в стране и в коллективе, которая должна поддерживаться и стимулироваться государственной инновационной политикой. По разным оценкам существует от 30 до 50 различаемых личностных качеств. Из них, в качестве творческой составляющей могут быть выделены базовые личностные качества – *мотивация*, *воображение и мышление*.

Желание, как конкретизированная потребность, является побуждением к действию или *мотивацией*. Мотивация является важным и первичным фактором в появлении инновационных идей. В сочетании с настойчивостью при решении проблемы, мотивация является существенной составляющей успеха. Человек, озадаченный конкретной проблемой, становится прагматиком в поиске, усвоении и интерпретации всей получаемой информации в проекции на искомое решение.

В отношении к любому виду деятельности мотивация имеет внутреннюю и внешнюю составляющие. Внутренняя (интринсивная) мотивация обусловлена содержанием конкретной деятельности. Т.е. субъекту мотивации нравится сам процесс и характер выполняемой работы. В значительной степени это связано с его способностями к конкретному виду деятельности и устойчивыми положительными результатами выполняемой работы. Внешняя (экстринсивная) мотивация связана с влияющими на её факторами, находящимися вне конкретной деятельности субъекта мотивации. К таким факторам относится материальная заинтересованность, высокие социальные притязания и т.п.

Вторым по значимости фактором, благодаря которому появляются инновационные идеи, является воображение. Воображение, как одна из форм отражения мира, является психическим процессом, заключающимся в создании образов и манипулировании ими в различных ракурсах, состояниях и сочетаниях в прошлом, настоящем и в будущем времени. С помощью воображения осуществляется процесс прогнозирования этапов будущей деятельности и её результатов. Существует несколько форм воображения: активное, пассивное, творческое, воссоздающие, фантазия.

Высшей формой активного воображения является творческое воображение, которое предполагает самостоятельное создание образов и их последующую реализацию. Этот вид воображения – неотъемлемая часть любого вида творчества, так как он присущ любой творческой личности – писателю, художнику, изобретателю. Без этого вида воображения не были бы решены многие изобретательские задачи, не были бы сделаны великие открытия, не появились бы на свет шедевры искусства и т.д.

Творческое мышление является третьим по значимости личностным качеством инновационного инженера. В его базисной основе находится творческое воображение. В отличие от наглядно-образного, наглядно-действенного и словесно логического мышления, обеспечивающих оценку и анализ реально наблюдаемых и воспринимаемых объектов и событий, творческое мышление оперирует виртуальными объектами. Оно требует способности удерживать в воображении множество предметов, образов и взаимосвязей между ними. При этом вся эта синтезированная изначально в статике система подвергается различного рода комбинаторным или целенаправленным структурно-функциональным изменениям до достижения приемлемого результата. Творческое мышление является осуществляемым в воображении процессом мысленных манипуляций с проектируемой системой в статике и динамике, в пространстве и во времени, в подсистемах и в надсистеме с использованием известных операций и способов мышления.

В психологии выделяют следующие операции мышления: анализ, синтез, обобщение, сравнение, классификацию (систематизацию), абстрагирование, конкретизацию. С помощью этих операций осуществляется процесс проникновения в глубь той или иной стоящей перед человеком проблемы, рассматриваются свойства составляющих эту проблему элементов, их взаимосвязь и характер противоречий. Способностью мыслить человек обязан матери-природе так же мало, как и богу-отцу. Природе он обязан мозгом – органом мышления. Умение же мыслить является продуктом воспитания и образования, нормальным результатом развития нормального в биологическом отношении мозга. В этом контексте немецкий философ Карл Ясперс сказал: «Большинство людей думать не умеют, потому что чихать и кашлять человек может с рождения, а думать его надо учить».

Профессиональная подготовка в области инновационного инжиниринга должна происходить в неразрывной связи с формированием системного мышления, базирующегося на всём многообразии мыслительных операций и форм мышления. В отличие от операций мышления, формы мышления – это формальные структуры мыслей. Психологи различают три формы мышления - понятие, суждение и умозаключение. На основе понятий и суждений осуществляются умозаключения, которые бывают индуктивные, дедуктивные и по аналогии. В свою очередь, аналогии бывают прямые, субъективные, символические и фантастические. Благодаря аналогиям, например, утвердившиеся способы постановки и решения задач в различных отраслях человеческого знания могут быть взаимно использованы.

Как видно из перечня этапов ИС ЖЦТС, в большей их части инновационным специалистам приходится оперировать образными представлениями предлагаемых инноваций, проводить системный анализ и осуществлять функциональный синтез. Специфика подобного рода деятельности требует, во-первых постоянного развития методологической составляющей инновационного инжиниринга, а во вторых – использования существующих и создания специальных дидактических методов подготовки инновационных инженеров. Эти методы должны быть направлены, прежде всего, на развитие творческого воображения, а также творческого, системного и функционального мышления.

В качестве учебного пособия по развитию творческого воображения (РТВ) может быть использован, например, одноимённый курс (автор П. Амнуэль). Творческое мышление развивается в процессе решения инновационных и изобретательских задач при разрешении различного рода противоречий. Эффективной методической и обучающей базой для развития творческого мышления является, например, теория решения изобретательских задач (ТРИЗ). Для развития системного и функционального мышления был разработан *двухмерный дидактический метод*.

Метод двухмерной дидактики рассматривается как составная часть процесса квалификационной подготовки инновационных инженеров. Этот метод позволяет более полно и целенаправлено использовать дидактический потенциал изучаемых общетеоретических и специальных дисциплин. Он также применим при реализации функционального обучения. Дидактическая двухмерность при изучении общетеоретических и специальных дисциплин реализуется путём ассоциативной привязки изучаемых законов, явлений, принципов, эффектов и т.д. к соответствующим изоморфизмам других предметных областей.

В качестве примера можно привести общедисциплинарное представление закона Ома. Объективно закон Ома математически описывает не только отношение электродвижущей силы к электрическому сопротивлению. Общая математическая и семантическая модель описывает также:

- отношение магнитодвижущей силы к сопротивлению магнитной цепи;

- отношение гидравлического или пневматического давления к гидравлическому или пневматическому сопротивлениям;

- отношение направленной механической силы или вращающего момента к механическому сопротивлению.

Приведеный неполный перечень реализаций модели закона Ома указывает на существование общедисциплинарного закона, который можно сформулировать следующим образом: "Результат воздействия движущей силы на какой-либо физический объект (тело или частицу) прямо пропорционален величине этой силы и обратно пропорционален величине сопротивления оказываемого этому объекту при его движении".

Модель двухмерной дидактики применяется при функциональном обучении. В основе функционального обучения находится постулат о том, что количество системных функций несравнимо меньше чем систем в которых эти функции реализуются. В качестве примеров можно привести такие функции как преобразование, накопление, охлаждение, усиление, ускорение и др. С позиции подготовки инновационных инженеров весьма важным является формирование знаний, которые необходимы специалистам для осуществления системного функционального синтеза предметов инноваций. Для использования в процессе обучения эти знания группируются по принципу функциональных аналогий. В качестве примера рассмотрим функцию "накопление". Эта функция связана с процессами накопления различного рода ресурсов (денежных, энергетических, информационных и др.) и отдельных факторов.

Функция накопления необходима:

а) при неравномерном поступлении и частичном использовании ресурсов;

б) при кратковременном накоплении и относительно длительном использовании ресурсов;

в) при относительно длительном накоплении и кратковременном использовании всех накопленных ресурсов.

Накопление и частичное использование ресурсов реализуеся банковской системой, конденсаторами в электрических фильтрах нижних частот для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения, маховиками при пульсирующем вращающем моменте, ресиверами компрессорных станций для сглаживания пульсаций давления, буферной памятью вычислительных устройств и систем связи и др.

Кратковременное накопление и относительно длительное использование накопленных ресурсов реализуется, например, при еженедельной покупке продуктов питания, при зарядке аккумуляторов мобильных телефонов, в маховичных аккумуляторах, в конденсаторах аналоговых таймеров, в газобалонных установках и др.

Длительное накопление и кратковременное использование накопленных ресурсов реализуется на уровне потребителя при единовременном использовании большой суммы ранее накопленных денег, в установках электроимпульсного воздействия или электроимпульсной обработки материалов, в копровых устройствах, маховичных ковочных прессах и др.

Факторы накопления могут быть положительными или отрицательными. К отрицательному фактору, для примера, относится процесс накопления дозы радиации или тяжёлых металлов в организме человека. К отрицательному фактору относится также накапливаемая усталость металла, что является частой причиной аварий и техногенных катастроф.

Системами и устройствами, которые осуществляют процесс накопления различного рода ресурсов, являются: банки, кондесаторы, ресиверы, маховики, копры, устройства дисковой и твердотельной памяти вычислительных устройств и др.

Методологической основой инновационного инжиниринга является выбор и использование необходимых ресурсов для создания конкурентного и востребованного рынком продукта с новыми свойствами и характеристиками. Практическая реализация методов последовательного создания инновационных продуктов определяется как инновационный процесс. Совместно с развитием и применением эффективных методов создания инноваций требуется соответствующая профессиональная подготовка инновационных инженеров. Методологический и образовательный сегменты инновационного инжиниринга являются его главными нематериальными ресурсами. Развитие и использование этих ресурсов является основополагающим фактором повышения эффективности инновационного процесса.

***Список литературы:***

1. Levkov K., Figovsky O. On the training of innovative engineers. Scientific Israel – Technological Advantages, vol. 12, No.4, 2010, pp. 179–186.
2. Левков К.Л., Фиговский О.Л. Двумерный метод обучения в процессе подготовки инновационных инженеров. Будущая Россия. Блог Олега Фиговского. 22.07.2011.

<http://www.park.futurerussia.ru/extranet/blogs/figovsk/62/>

1. Levkov K.L., Figovsky O.L. Building a professional model of innovative engineer on the basis of an analysis of its activities. Conference Proceedings "Intercultural Ties in Higher Education and Academic Teaching". Ariel University Center of Samaria. 19 – 21.09.2011.
2. Левков К.Л., Фиговский О.Л. Двумерный метод обучения в процессе подготовки инновационных инженеров. Сборник докладов научной школы с международным участием "Высшее техническое образование как инструмент инновационного развития". Казань. 5 – 7.10.2011.
3. Левков К.Л., Фиговский О.Л. Инновационный процесс и инновационный инженер. Апрель 2012 г.

<http://rehes.org/lst2/lst2_innov.html>

1. Левков К.Л., Фиговский О.Л. Функции инновационного инженера в процессе перевода первичной идеи в инновационный замысел. Июль 2012 г.

<http://rehes.org/lst2/levkov2.html>

1. Левков К.Л., Фиговский О.Л. Использование внешних моделей, аналогий и изоморфных явлений в процессе профессиональной подготовки инновационного инженера. Будущая Россия. Блог Олега Фиговского. 26.09.2012 г.

<http://www.park.futurerussia.ru/extranet/blogs/figovsk/288/>

1. Левков К.Л., Фиговский О.Л. Процесс создания инноваций и его структура. Будущая Россия. Блог Олега Фиговского. 27.09.2012 г.

<http://park.futurerussia.ru/extranet/blogs/figovsk/289/>.

* ***Данная статья была опубликована в Сборнике* «*Актуальные проблемы моделирования, проектирования и прогнозирования социальных и политических процессов в мультикультуральном пространстве современного общества: материалы V международной научной конференции молодых ученых (г. Ростов-на-Дону, 4-8 апреля 2016 г.) – Ростов-на-Дону: Фонд науки и образования, 2016. – 506 с. ISBN 978-5-9908135-7-1».***