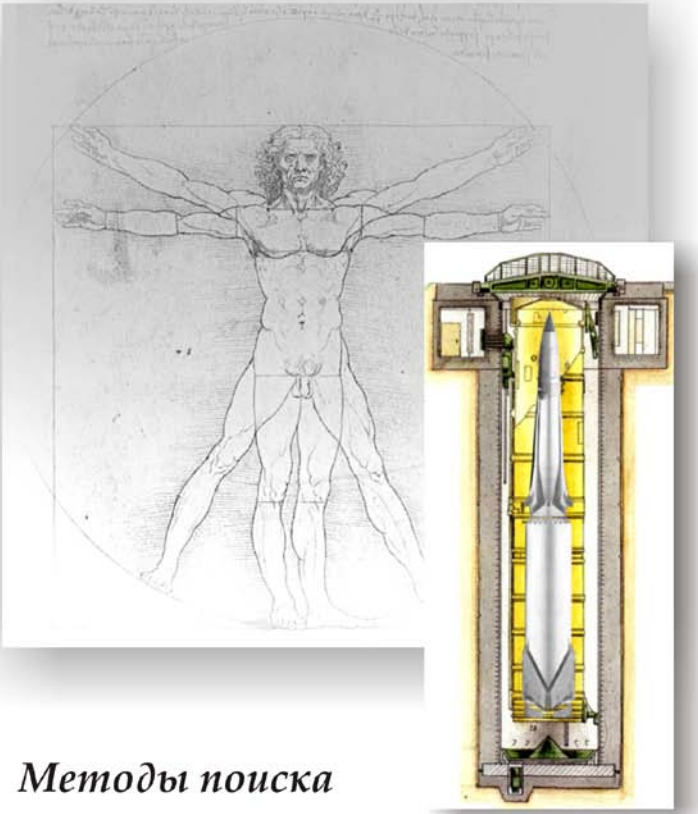
М.Н.Охочинский
С.А.Чириков



Методы поиска новых технических решений в ракетно-космической технике

М.Н. ОХОЧИНСКИЙ,
С.А. ЧИРИКОВ

МЕТОДЫ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ

Министерство образования и науки Российской Федерации
Балтийский государственный технический университет«Военмех»

М.Н. ОХОЧИНСКИЙ,
С.А. ЧИРИКОВ

МЕТОДЫ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ В РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКЕ

Санкт-Петербург
2010

УДК [623.419+629.78]: 001.891(075.8)
О92

Охочинский, М.Н.

О92 Методы поиска новых технических решений в ракетно-космической технике: учебное пособие / М.Н. Охочинский, С.А. Чириков; Балт. гос. техн. ун-т.– СПб., 2010. – 68 с.
ISBN 978-5-85546-566-2

Применительно к ракетно-космической технике рассматриваются методы случайного поиска, методы функционально-структурного исследования технических объектов, методы логического поиска и проблемно-ориентируемые методы. Приведены базовые сведения о законах развития техники и психологических особенностях изобретательской деятельности.

Предназначено для студентов, обучающихся по специальностям «Ракетостроение» и «Моделирование и исследование операций в ОТС», и магистрантов направления «Ракетостроение и космонавтика».

УДК [623.419+629.78]: 001.891(075.8)

Р е ц е н з е н т ы: засл. изобретатель России, канд. техн. наук, проф. каф. ИЗ БГТУ*В.А. Керножицкий*; нач. лаборатории информационных технологий ОАО «КБСМ» *Д.К. Щеглов*

Утверждено редакционно-издательским советом университета

Охочинский Михаил Никитич, Чириков Сергей Алексеевич

Методы поиска новых технических решений в ракетно-космической технике

Редактор *Г.М. Звягина*
Корректор *Л.А. Петрова*
Подписано в печать 30.12.2010. Формат бумаги 60x84/16. Бумага документная.
Печать трафаретная. Усл. печ. л. 4. Тираж 100 экз. Заказ № 7.
Балтийский государственный технический университет
Типография БГТУ
190005, С.-Петербург, 1-я Красноармейская ул., д.1

ISBN 978-5-85546-566-2

© БГТУ, 2010
© Авторы, 2010

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

Методы поиска, позволяющие отыскивать новые, ранее не существовавшие технические решения, которые полностью отвечают требованиям разработчиков, начали создаваться достаточно давно, но своего максимального развития достигли во второй половине XX века. Число таких методов в настоящее время перевалило за сотню, причем многие из них широко применяются в повседневной деятельности каждого человека. Классический метод «мозгового штурма» известен сегодня почти каждому жителю нашей страны благодаря его модификациям, демонстрируемым в телевизионных передачах «Что? Где? Когда?» и «Брейн-ринг».

1.1. Основные понятия и определения

«Для того чтобы задать сложную систему, необходимо (и достаточно) представить описание всех ее элементов и описание взаимодействия между этими элементами». Обычно, когда речь заходит о создании новых, ранее не существовавших технических объектов (систем), мы подразумеваем, что можем достаточно точно описать именно то, о чем говорит в приведенной нами цитате В.Н. Бусленко, – составные части нового объекта и условия и правила их взаимодействия. Иными словами, если на основе каких-либо понятных нам соображений мы сможем описать структуру вновь создаваемого технического объекта, то тем самым мы получим искомое новое техническое решение.

Структуру S всякой технической системы (ТС) будем в дальнейшем считать известной, если определен ее элементный состав и заданы связи между этими элементами. Поэтому структуру можно описать как

$$S = (\{R\}, \{C\}),$$

где $\{R\}$ – множество элементов, входящих в состав ТС; $\{C\}$ – множество связей между этими элементами.

Таким образом, процесс формирования структуры будет представлять собой последовательную генерацию элементов множеств $\{ R \}$ и $\{ C \}$.

Любая проектируемая ТС создается для выполнения определенной целевой задачи, реализации некоторой функции. Если ТС, имеющая определенную структуру, выполняет свою функцию, то ее структура является *работоспособной*; в противном же случае структура *неработоспособна*. Неработоспособность структуры связана с тем, что в ней отсутствуют какие-либо существенные элементы или связи между ними, что делает невозможным выполнение функции системы. Можно сказать, что такая структура является *недостаточной*.

В то же время в некоторых работоспособных структурах можно обнаружить ряд элементов или связей, которые непосредственно не участвуют в реализации основной функции. Иначе говоря, эти элементы и связи не являются *необходимыми*, причем их наличие в структуре обычно отрицательно влияет на показатели качества, применяемые для сравнительной оценки ТС (например, увеличиваются массы и габариты).

Функция системы может быть реализована при различных структурах ТС, поэтому возникает задача синтеза такой структуры, которая наилучшим образом удовлетворяет некоторому критерию.

Оценивать и сравнивать между собой целесообразно такие варианты структуры, которые работоспособны и заведомо не содержат в своем составе элементы (связи), не участвующие в реализации функции системы и ухудшающие ее показатели качества. Иначе говоря, структура допускаемых к сравнению вариантов ТС должка быть необходимой и достаточной, или *непротиворечивой*.

Назовем непротиворечивой такую структуру ТС, в которой отсутствуют противоречия между функцией системы и элементами и связями структуры. Анализ структур ТС различного назначения позволяет выделить два типа таких противоречий: «разрыв» и «неоднозначность». При противоречии типа «разрыв» в структуре отсутствуют необходимые элементы или связи, а при противоречии типа «неоднозначность» присутствуют «лишние», функционально ненагруженные элементы.

Поэтому вполне логично допускать к дальнейшему рассмотрению и сравнению лишь те варианты структуры ТС, которые являются непротиворечивыми и могут быть описаны тройкой:

$$S_{н} = (\{ R \}, \{ G \}, F),$$

где F – функция ТС, определяемая в естественной форме как $F = (D, G, H)$; D – действия системы, приводящие к выполнению ее функции; G – объект: на который направлено действие; H – условия, ограничивающие функционирование ТС.

Если учесть, что действия D определяются, по сути, элементами множеств $\{R\}$ и $\{C\}$, то можно записать:

$$S_{н} = (\{ R \}, \{ G \}, (D(\{ R \}, \{ G \}), G, H)).$$

Таким образом, процесс формирования структуры ТС будет заключаться в генерации элементов множеств $\{R\}$ и $\{C\}$ и последующей проверке непротиворечивости полученной структуры путем контроля выполнения функции системы.

Именно в генерации элементов указанных множеств по большей части и заключается поиск нового технического решения.

1.2. Основные методы формирования структуры технических систем

Известно, что попытки объяснить закономерности творческого мышления предпринимались еще в античное время и нашли отражение в трудах Архимеда, Аполлония, Паипа Александрийского, Гераклита, Сократа и т.д. С современных позиций эти работы были слабо систематизированы, разрозненны, но именно они являлись зачатками *эвристики* – учения о продуктивном творческом мышлении и о методах творчества. Создатель первой логической системы античного периода истории, философ Демокрит, строил ее в основном на индуктивном методе и аналогиях. Техническое творчество, изобретательство занимали настолько большое место в жизни и деятельности Архимеда, что в математических выводах он постоянно использовал аналогии из техники и механики.

Значительный шаг в создании метода творческого мышления сделал Сократ, пытавшийся пробудить скрытые творческие способности людей в процессе диалога. Основные приемы метода Сократа – свободный обмен мнениями, доведение понятий до абсурда, использование аналогий, выявление противоречий и т. д. В изложении вопросов и предложений поощрялись юмор и ирония.

Позднее, в средние века, мысли о некотором универсальном методе познания и творчества проявлялись в работах Р. Бэкона и Р. Луллия, а в период перехода от феодализма к капитализму – у Ф. Бэкона и Р. Декарта. Позднее идею универсальной программы алгоритмического решения творческих задач предложил Лейбниц. Значительный вклад в развитие идей эвристики внес Х. Вольф, который дал ее определение и предложил ряд правил и методов искусства изобретательства. Фундаментальными для эвристики стали труды Б. Больцано и ряда других исследователей.

Однако все упомянутые разработки имели в основном теоретическое значение и в практике массового технического творчества до последнего времени заметного применения не находили. Объяснение тут достаточно простое: явно выраженной общественной потребности в эвристике для широкого применения в творческой деятельности изобретателей еще не существовало. А необходимые для развития темпы научно-технического прогресса вполне удовлетворяло случайное изобретательство, традиционно основанное на методе проб и ошибок.

Современная же ситуация, характерной чертой которой является ускоренное развитие науки, техники и производства, вошла в противоречие со старыми, не самыми надежными, малопроизводительными способами мышления и поиска новых технических решений. Человечество пытается преодолеть это противоречие, создавая специальные научные методы активизации и рациональной организации творчества. Стремление повысить эффективность творческого труда породило ряд приемов, методов и методик, позволяющих рационально организовать поиск новых технических решений, активизировать мышление, развить и реализовать творческие способности человека.

Структурно методы поиска новых технических решений можно разделить на следующие основные группы:

1) случайный поиск;

2) функционально-структурное исследование объектов;

3) логический поиск;

4) проблемно-ориентируемые методы поиска.

Первые три группы включают в себя методики, ориентированные соответственно:

- на исследование проблемы с целью выявления путей ее решения,

- на поиск вариантов конфигурации объектов, реализующих выбранное направление,
- на устранение противоречий и согласование работы подсистем в выбранном объекте.

К последней, четвертой, группе относятся методы, формируемые исходя из конкретных условий, типа решаемой задачи и особенностей лица, занимающегося этим решением (решателя).

В следующем разделе мы рассмотрим основные методы поиска новых технических решений, входящие в указанные выше группы. Предварительно же остановимся на так называемых законах развития технических систем (ЗРТС), которые являются удобным инструментом оценки как направлений совершенствования существующих технических систем, так и поиска перспективных направлений создания принципиально новых образцов техники.

1.3. Законы развития технических систем

Законы развития технических систем впервые были сформулированы Г.С. Альтшуллером и его учениками в рамках теории решения изобретательских задач (ТРИЗ).

Как мы уже отмечали выше, любая ТС создается для выполнения некоторой функции. При этом она характеризуется:

- компонентами (элементный состав ТС);
- структурой (взаимосвязи элементов ТС, в том числе и их взаимное расположение);
- параметрами (качественные и количественные характеристики элементов и связей внутри и вне ТС);
- функциями (предназначение ТС и ее элементов);
- динамикой (изменение элементного состава, структуры, параметров и функций элементов ТС);
- генезисом (история развития ТС).

Главной движущей силой развития ТС является общественная потребность в ее ускоренном развитии. При этом основным направлением становится опережающее развитие ее функциональных показателей по сравнению с показателями затратными.

В ходе создания и совершенствования ТРИЗ ее авторы сформулировали следующие основные законы, составляющие ЗРТС.

Закон повышения идеальности ТС. В своем развитии ТС повышают свою идеальность за счет роста отношения их полезности к затратам. Закон повышения идеальности ТС в принципе является механизмом реализации закона повышения ее устойчивости.

Закон полноты частей технической системы. Необходимым условием принципиальной жизнеспособности ТС являются минимальный набор работоспособных элементов, а также вещественная, энергетическая, информационная и, на этой основе, функциональная проводимость системы.

Закон согласования ТС. В своем развитии различные ТС согласуют (приспосабливают, адаптируют) параметры на уровне системы или на уровне своих элементов с параметрами элементов надсистемы. Закон согласования ТС является механизмом реализации закона повышения идеальности ТС.

Закон повышения динамичности ТС. В своем развитии ТС меняют параметры на уровне всей системы и на уровне элементов. Закон повышения динамичности ТС – механизм реализации закона повышения ее согласования.

Закон перехода ТС с макро- на микроуровень. В своем развитии ТС переходят от использования внешних свойств (параметров) вещества к использованию внутренних свойств (параметров), т.е. все более глубоких уровней и свойств материи. Переход с макро- на микроуровень – один из механизмов реализации закона повышения динамичности ТС.

Закон неравномерности развития частей системы. Поскольку любая ТС создается для воздействия на изделие (объект внешней среды, элемент надсистемы), то естественно, что рабочий орган ТС должен динамизироваться быстрее, чем другие элементы ТС, тоже часто взаимодействующие с объектами внешней среды, элементами надсистемы. Это проявление закона неравномерности развития частей ТС, или, по-другому, закона опережающего развития рабочего органа, что выражается в возникновении противоречий в ТС.

Закон вытеснения человека из ТС. В своем развитии ТС переходят от использования человека, который выполняет роль одного или нескольких элементов системы, к его вытеснению из ТС. Вытеснение человека из ТС – одно из направлений реализации закона повышения динамичности ТС.

Закон перехода технической системы в надсистему. В своем развитии ТС осуществляют переход в надсистему (иначе говоря, объединяются с другой равноправной системой) для получения новых ресурсов развития. Закон перехода технической системы в надсистему – один из механизмов реализации закона повышения ее идеальности.

Закон объединения альтернативных систем. Это частный случай закона объединения ТС, закона перехода ТС в надсистему.

Закон повышения пустотности ТС (был предложен Г.С. Альтшуллером и И.М. Верткиным). Стремление ТС «соединиться с пустотой» обусловлено действием закона повышения степени идеальности. Пустота дает объекту возможность увеличить число выполняемых функций (или снизить затраты на объект) без введения новых элементов. Простейший путь к увеличению числа выполняемых функций – переход к бисистеме или к полисистеме, но такой переход связан с усложнением объекта. Разрешение противоречия (потребность в «объединении без объединения») заключается в «объединении с пустотой».

Закон повышения самообслуживания ТС (предложен Ю. Гормах). Любая ТС нуждается в обслуживании, что выражается в появлении обслуживающих систем – $ТС_{обсл}$. Возможное размещение $ТС_{обсл}$.:

- в надсистеме (НС) рассматриваемой ТС. При переходе в НС в зоне взаимодействия остается только РО технической системы, а все остальные элементы переходят в НС (по сути, это реализация закона переход ТС в НС);
- в самой рассматриваемой ТС – происходит универсализация элементов ТС.

Необходимо отдельно отметить особенности *совместного действия ЗРТС*:

1. Все ЗРТС действуют одновременно. Раздельное изучение их действия – лишь удобный методический прием.

2. Совместное действие выявленных ЗРТС (с учетом, что одновременно могут действовать и невыявленные до настоящего времени законы) определяет уровень развития ТС.

3. При взаимодействии законов закономерно возникают противоречия. Образно говоря, законы «толкаются локтями», причем здесь возможны такие случаи:

- за «толкание законов» мы принимаем ложные симптомы;

- возможно, это признак того, что «на стыке» может быть сделано открытие, которое снимет выявленное противоречие.

4. Могут наблюдаться и отклонения от ЗРТС, причем и здесь возможны различные варианты:

- когда развитие ТС диктуется законами развития более высокой системы: экономической, политической, социальной;
- когда ТС находится в точке перегиба S-образной кривой (рис. 1), описывающей ее развитие во времени (иначе называемой *точкой бифуркации*).

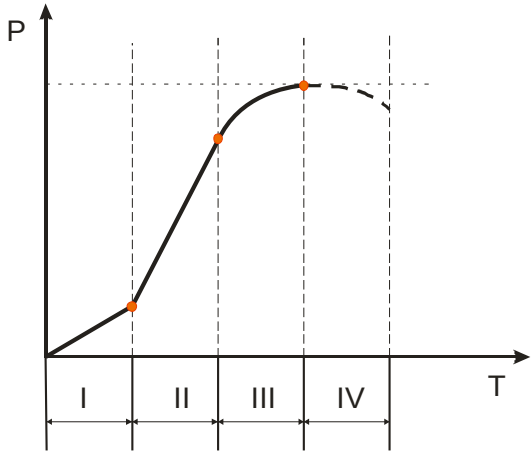


Рис. 1

2. ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

2.1. Методы случайного поиска

2.1.1. Метод мозгового штурма

Метод мозгового штурма (метод мозговой атаки, англ. – Brain Storming) – один из наиболее известных и применяемых методов коллективного поиска решений. Его создание относится к 30-м года прошлого века и связано с именем американского исследователя А. Осборна.

Основная цель метода – настроить работу группы специалистов таким образом, чтобы каждый из участников сделал как можно больше предложений по обсуждаемой проблеме.

Работу по методу мозгового штурма обычно проводят в несколько этапов: подготовка, проведение штурма, оценка и отбор идей, проработка и развитие наиболее ценных идей.

На *этапе подготовки* четко формулируют и в общих понятиях фиксируют задачу, затем разбивают ее на максимальное число подзадач. При этом целесообразно использовать специальные вопросы, например: почему это необходимо, где должно быть сделано, кто должен сделать, что конкретно и как должно быть сделано, и др.

В подготовку включают также подбор фактического материала (аналог объекта, данные о принципах действия, причинах предыдущих неудач, имеющихся ограничениях и др.).

На этом же этапе осуществляют выбор участников поисковой группы, которые условно делятся на *генераторов* (людей, обладающих богатым творческим воображением и фантазией) и *экспертов* (людей с аналитическим складом мышления, высококвалифицированных специалистов).

Группа «генераторы», во-первых, комплектуется специалистами из разных областей науки и техники. Во-вторых, представители этой группы должны обладать творческим воображением, бурной фантазией, быть смелыми и оригинальными в своих предложениях, способными к абстрактному мышлению, т.е. могущими отвлечься от подробностей, от реальной жизни. В число «генераторов» не должны включаться люди, находящиеся в административном (иерархическом) взаимном подчинении, т.е. среди них не должно быть начальников и подчиненных в повседневной жизни. Таким образом, исключается стеснение друг друга.

В группу «экспертов» включаются люди с аналитическим, практическим складом ума. Обычно это разносторонне развитые люди, также не связанные друг с другом никакими административными отношениями. Эксперты обычно не принимают участия в поиске решений, в генерации идей и решений – они эти решения оценивают потом.

Важно, что никакого предварительного обучения участников не требуется. Общее руководство группой специалистов («генераторов» и «экспертов») осуществляет наиболее опытный специа-

лист в той области науки и техники, где необходимо найти новое техническое решение (современное название такой должности – «модератор»).

Число участников мозгового штурма обычно составляет 5–15 человек, сам процесс длится 30–45 мин.

Этап проведения. Основные правила проведения мозгового штурма – заинтересованность участников, их психологическая совместимость, свободная непринужденная форма обсуждения, запрет критики высказываемых идей, поощрение шуток, каламбуров.

Все высказанные идеи фиксируют, для чего используют стенографирование, аудио- или видеозапись. Из зафиксированных идей эксперты затем выбирают и развивают наилучшие. И генерацию идей, и последующее обсуждение проводят в быстром темпе.

Благодаря таким достаточно простым и логичным правилам организации и ведения мозгового штурма достигается главный результат: за короткий промежуток времени можно получить большое число самых разнообразных решений задачи, стоящей перед участниками.

Существует несколько разновидностей мозгового штурма. В частности, известен вариант, когда участники записывают свои идеи самостоятельно на специальных карточках (на это дается 10 мин), а затем по очереди зачитывают их вслух, остальные записывают на своих карточках мысли, вызванные говорящим. Считается, что запись идей на карточках сокращает время, необходимое для классификации результатов.

Определенный интерес представляет так называемый *обратный мозговой штурм*, который используют для решения конкретно поставленных задач.

На *первом этапе* работы все внимание участников сосредоточивают на выявлении всевозможных недостатков объекта. Анализ вскрывает недостатки, ограничения, дефекты и противоречия, имеющиеся в конкретной идее или техническом объекте, который требуется разработать или усовершенствовать. Предварительную их оценку проводят участники штурма – «генераторы», более тщательную – эксперты, которые вычеркивают явно ошибочные утверждения, уточняя тем самым перечень обнаруженных недостатков.

На *втором этапе* обратного штурма ведут поиск путей ликвидации недостатков, причем здесь используют правила уже обычного мозгового штурма.

Разновидность метода мозгового штурма – так называемый *«диверсионный метод»* (разработка Злотина, Литвина и Фейгенсона). Он помогает обнаружить так называемые «скрытые задачи» (иначе говоря, есть одна, вполне определенная задача, но она на начальном этапе меняется на противоположную по постановке, и ищется ее решение, которое затем используется «с обратным знаком»).

Примером использования мозгового штурма в формате «диверсионного метода» является поиск решения так называемой «задачи подрыва колесной техники». Результаты, полученные при экспериментальных подрывах автомобильной техники, имеющей колесную базу на шинах низкого давления (далее по тексту – *колесная техника*), вошли в серьезное противоречие с реальным боевым опытом. В проведенных экспериментах значения типовых поражающих факторов минного подрыва, измеренные по стандартным для бронетехники методикам, находились в допустимых пределах. Водитель, размещенный в кабине транспортного средства, не должен был получить травмы, приводящие к смертельному исходу. В то же время аналогичные инциденты в реальной жизни в большинстве своем завершались гибелью людей.

Задача, поставленная перед группой исследователей, была сформулирована следующим образом: определить факторы, приводящие к гибели людей, и выявить способы нейтрализации воздействия этих факторов.

По своим основным признакам такие задачи принято относить к классу исследовательских – выявление причин неопознанного явления, для решения которых целесообразно использовать диверсионный метод.

Изменение формулировки задачи. В рассматриваемой задаче по неустановленной причине происходит гибель человека, сидящего в кабине подорвавшегося на мине автомобиля. Необходимо выяснить причины этого и выработать меры по обеспечению безопасности водителя. Условия задачи были изменены на прямо противоположные: участники мозгового штурма должны были найти такие условия, которые обеспечили бы уровни опасных факторов, превышающие допустимые пределы, и вызвали гарантированное поражение водителя при подрыве колесной техники.

Выявление опасных факторов. Для анализа возможных опасных воздействий на водителя было принято решение использовать

схему зон допустимых условий для человека-оператора (рис. 2), приведенную, в частности, в книге П. Хилла «Наука и искусство проектирования» (М: Мир, 1973).

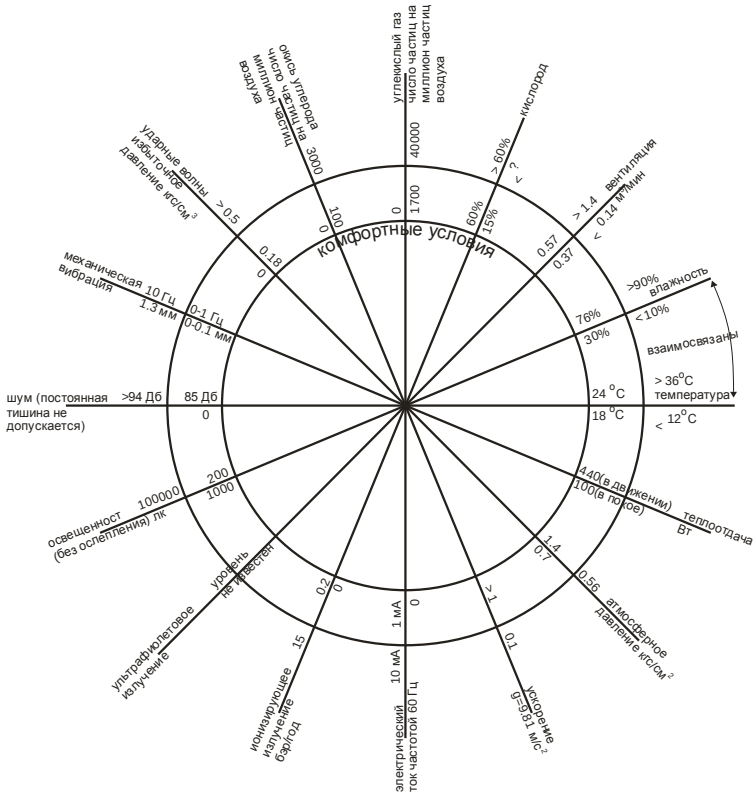


Рис. 2

Ясно, с учетом упомянутых выше экспериментов, что в качестве поражающих факторов в задаче будут выступать:

- ударная волна (избыточное давление $p > 0{,}5 \cdot 10^5$ Н/м^2;
- температура ($t > 38$°С);
- шум ($P > 94$ дБ);
- ускорение ($a > 0{,}1$ g);
- перемещения тела человека (ограничены свободным пространством кабины).

Подрыв в экспериментах происходил в воздушной среде, поэтому уровень воздействия всех поражающих факторов был про-

порционален расстоянию до места установки заряда взрывчатого вещества (ВВ), а также его мощности. Традиционно для гарантированного поражения водителя либо увеличивают массу заряда ВВ, либо стремятся приблизить место подрыва к водителю.

Последнее решение реализовано в большинстве противотанковых (противоднищевых) мин отечественного и иностранного производства, однако решавшаяся задача не предусматривала возможность динамического изменения места подрыва. Поэтому остался лишь один лишь способ обеспечить гарантированное поражение – увеличить массу заряда ВВ.

Типичное расположение места подрыва по отношению к кабине приводит к тому, что легкодеформируемые элементы конструкции автомобиля частично экранируют водителя от прямого воздействия ударной волны и потока раскаленных газов, образующихся при взрыве. Поэтому применяемое для обеспечения гарантированного поражения увеличение массы ВВ не ведет к росту перепада давления в кабине и к непосредственному контакту водителя с горячими газообразными продуктами взрыва. Отметим, что и шумовое воздействие взрыва как поражающий фактор также мало завязано на увеличение массы ВВ: действительно, шум может нанести тяжелые повреждения человеку, но, как правило, не ведет к его гибели, тем более, что и он экранируется элементами конструкции кабины.

Таким образом, в качестве наиболее значимых опасных факторов в рамках рассматриваемой задачи оказались ускорение и перемещения. Последние вызывают травмы при соприкосновении тела водителя с элементами конструкции кабины, но, поскольку при экспериментах зарегистрированные перемещения находились в допустимых пределах за счет элементов фиксации тела водителя (ремни безопасности), для дальнейшего анализа участники мозгового штурма выбрали только опасное воздействие ускорений.

Аналоги воздействия. Был предложен поиск документально подтвержденных результатов воздействия ускорений на человека в ближней предметной области (официальная статистика гибели людей при подрывах колесной техники), но он удовлетворительных результатов не дал. Для расширения зоны поиска аналогов был применен прием инверсии. В данном случае это смена направлений действующих сил на противоположные: вместо силы воздействия ударной волны рассматривается сила, возникающая

при неупругом (жестком) ударе движущегося транспортного средства о препятствие. В соответствии с рассматриваемым методом новая формулировка задачи звучала так: создать такие условия размещения водителя в кабине, чтобы при жестком ударе автомобиля о препятствие гарантировалось его поражение.

Известно, что при жестком ударе технического устройства о препятствие, помимо обычных, растянутых во времени ускорений, возникают ускорения с малой продолжительностью действия (менее 1 с) – так называемые ударные ускорения. Воздействие таких ускорений на человека более всего характерно для авиации и ракетно-космической техники, поэтому к анализу были привлечены результаты исследований травматизма летчиков при катапультировании из самолетов, потерпевших аварию. Подобные данные в обобщенном виде можно найти в книге Э. Цихоша «Сверхзвуковые самолеты» (М: Мир, 1983).

Как показывает практика полетов, на высотах ниже 300 м попытка использовать парашют без специальных дополнительных приспособлений ведет к гибели пилота из-за неполного раскрытия купола. Кроме того, при скоростях более 600 км/ч пилоту обычно не удается самостоятельно покинуть самолет, поскольку это находится за пределами его физических возможностей. В результате были созданы системы катапультирования, выстреливающие пилота вместе со специальным сиденьем на безопасное расстояние с заданной скоростью.

Первые образцы самолетных катапульт снабжались связанным с сиденьем пилота поршнем, который под воздействием сжатых газов перемещался в размещенном в фюзеляже цилиндре, придавая сиденью необходимую скорость. Ограниченные габариты кабины и, как следствие, малый ход поршня привели к тому, что пневмо- или пиропривод катапульты за чрезвычайно короткое время сообщал человеку ускорение, подпадающее под категорию ударных.

Аналогичные устройства были применены и на космических кораблях серии «Восток», когда незадолго до приземления пилот катапультировался с применением пружинного стреляющего устройства, а затем с помощью двигательной установки кресла уводился на безопасное расстояние от корабля.

Анализ воздействий. Предложенная П. Хиллом механическая аналоговая модель тела человека, в рамках которой отдельные ор-

ганы рассматриваются как инерционные тела (рис. 3), позволяет проанализировать воздействие ускорений, в том числе ударных, на организм. Допустимое значение ускорения определяется свойствами тканей тела, повреждение которых происходит при превышении их прочности при работе на растяжение, сжатие или срез.

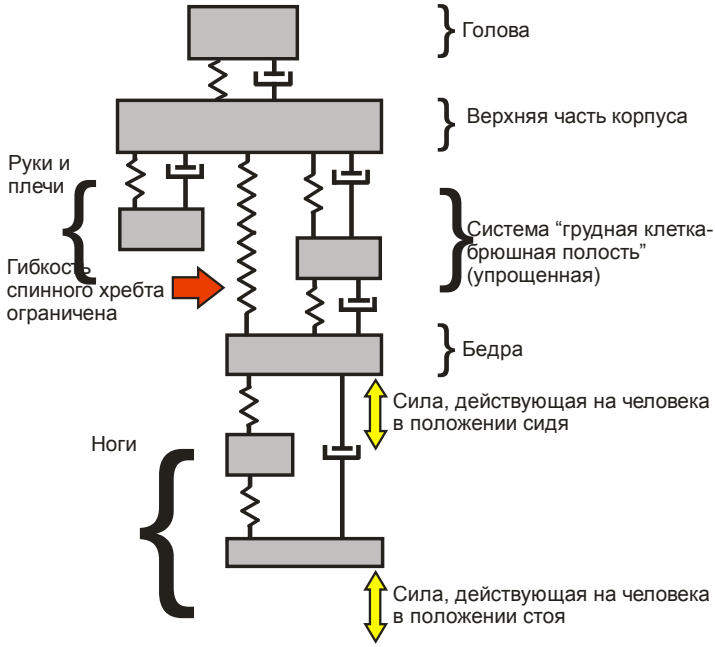


Рис. 3

Если вектор ускорения направлен от головы человека к ногам вдоль его позвоночника, то кровь становится настолько тяжелой, что сердце оказывается не в состоянии подавать ее к головному мозгу. Начиная с ускорения в 5 g человек испытывает ощущение «черной пелены» перед глазами и теряет сознание. Кроме того, при таком направлении вектора ускорения возникает опасность нарушения целостности позвоночника, особенно в его шейном отделе.

Катапульты в ряде случаев создавали ударные ускорения до 18–20 g, направленные по линии позвоночника, что превышало естественный физиологический предел прочности тканей и становилось причиной гибели пилотов. Впрочем, и при нормальном

функционировании механизмов в 43,5% случаев катапультирования фиксировались механические травмы позвоночника различной степени тяжести.

Анализ воздействия на приведенной механической аналоговой модели тела человека позволяет оценить значение допустимого ударного ускорения, которое зависит от прочности тканей, ведущих себя при таких ускорениях как инерционные тела.

Если вернуться к последней формулировке рассматриваемой задачи, можно сделать вывод: для гарантированного поражения водителя необходимо создание ударной перегрузки, по направлению совпадающей с положением его позвоночного столба, а по величине равной 20 g и более.

С учетом характерного направления распространения ударной волны при подрыве автотранспорта и типовой схемы установки сидений в кабине можно утверждать, что причиной гибели человека при подрыве колесной техники является действие ударного ускорения.

Тот факт, что при экспериментальных подрывах данные о воздействии ударных ускорений не были зафиксированы и этот опасный фактор во внимание не принимался, вполне объясним тем, что, как выяснилось, применявшаяся аппаратура не была ориентирована на регистрацию ускорений с малым временем действия.

Снижение влияния опасных факторов. Учитывая, что причина, ведущая к гибели людей, была установлена, вторая часть рассматриваемой задачи формулировалась следующим образом: предложить технические решения, снижающие ударные ускорения, действующие на водителя автомобиля при жестком ударе о препятствие в направлении «сверху вниз».

Поиск в расширенной предметной области позволил участникам мозгового штурма вспомнить о результатах исследований, в течение долгого времени проводившихся при создании пилотируемых космических кораблей. Ракетно-космическая техника накопила данные о воздействии ударных ускорений на человека при катапультировании космонавтов из спускаемого аппарата (СА), аварийном отделении космического корабля от ракеты-носителя и посадке СА на сушу или воду.

Известно, что переносимость ударных ускорений зависит от ряда факторов. Кроме конструкции кресла (ложемента) и тренированности человеческого организма, необходимо учитывать позу

космонавта и скорость нарастания ударных ускорений. При отработке аварийных посадок СА на сушу была определена оптимальная поза космонавта, при которой действие перегрузки направлено от груди к спине. Космонавт в этом случае находится почти в горизонтальном положении (наклон спины к горизонту 12°), угол между спиной и бедром около 100°, между бедром и голенью 117°. Такое положение обеспечивает эффективное кровоснабжение головного мозга космонавта при длительных ускорениях до 10 g.

При катапультировании скорость нарастания ударного ускорения почти 200–500 g/c, поэтому предел переносимости составляет 20–22 g при времени воздействия всего 0,1–0,2 с. При жесткой аварийной посадке скорость нарастания ударного ускорения доходит до 2000–3000 g/c, что при тех же временах воздействия находится уже за границей переносимости. Поэтому в результате многолетних исследований были определены основные типы амортизаторов, значительно снижающие ударные ускорения при жестком ударе СА о твердый грунт в момент посадки.

Учитывая функциональную аналогию, в рассматриваемой задаче в качестве базовых были использованы конструктивные решения, применяемые в системах амортизации СА.

1. Пассивные амортизационные устройства:

- конструкции, рассчитанные на разрушение в заданных местах при приложении определенной нагрузки (панели или узлы с сотовым заполнителем);
- силовые конструкции с переменной в зависимости от пластических перемещений жесткостью.

2. Активные амортизационные устройства:

- амортизационные стойки с масляными гидравлическими амортизаторами;
- амортизаторы из пенопластов, аналоги конструкций с сотовыми заполнителями, допускающие изготовление на месте путем смешивания жидкостей непосредственно перед применением;
- фрикционные амортизационные устройства (по типу автомобильных тормозов);
- пневматические амортизационные цилиндры;
- амортизационные стойки сотовой конструкции;
- металлорежущие стойки, принцип действия которых основан на гашении ударной нагрузки за счет врезания в материал стойки специальных ножей;

- разрезные или разрываемые трубы, разрушаемые при расчетной нагрузке;
- разрушаемые трубчатые амортизаторы с программируемым разрушением за счет специально нанесенных концентраторов напряжений.

Поэтому в дальнейшем работы по выработке конструкций, предохраняющих водителя и экипаж колесной техники от возникающих при подрыве ударных ускорений, могли вестись на базе этих, хорошо зарекомендовавших себя в космонавтике, технических решений. Оснащение кабин автомобилей специальными амортизирующими устройствами в значительной степени повышает безопасность членов экипажа автомобилей от вторичных поражающих факторов минного подрыва.

Таким образом, в результате применения «диверсионного» метода мозгового штурма (а также, кстати, метода «усиления противоречий», инверсии, функциональных аналогий, метода аналогового моделирования) была решена задача подрыва колесной техники. Определен ранее не известный фактор, приводивший к гибели людей, и предложены базовые технические решения для разработки устройств, повышающих безопасность экипажа. Указанные методы системного анализа являются мощным инструментом в решении исследовательских задач при их нечеткой исходной постановке.

2.1.2. Метод записной книжки

Один из основных недостатков мозгового штурма является продолжением его несомненных достоинств: из-за динамичности штурма отсутствует время на полное осознание и глубокое осмысление задачи. Кроме того, для многих людей, составляющих группу «генераторов», нередко более эффективным оказывается процесс индивидуального творчества.

С целью устранения этих недостатков Дж.В. Хефеле предложил так называемый *метод записной книжки*.

В соответствии с рекомендациями, данными разработчиком метода, тему поиска его участникам задают задолго до проведения коллективного обсуждения. Им выдаются записные книжки (вот откуда название метода), в которых два раза в день рекомендуют фиксировать свои идеи. Эту организационную форму дополняют

методическими рекомендациями; участникам выдают также опросные листы со списком контрольных вопросов. Например:

- можно ли использовать конструкцию в других целях, если ничего не менять или произвести незначительные изменения?
- с чем можно сравнить конструкцию?
- что можно в ней изменить?
- что можно увеличить (количество, время, частоту, прочность, высоту, длину, толщину, стоимость, число компонентов и т.д.)?
- что можно уменьшить?
- можно ли заменить конструкцию (или ее составные части) на что-нибудь?
- что можно сделать наоборот?

Некоторые вопросы следует помнить и задавать себе на протяжении всего поиска. К их числу относится и последний упомянутый вопрос: «что можно сделать наоборот», имеющий, по мнению автора метода, большую эвристическую ценность. Примеры таких «переходов наоборот» из области технических устройств: гидравлический цилиндр (движется поршень – движется цилиндр); транспортировщик (вагонетка на колесах – рольганг); регистратор (вращающаяся стрелка – вращающийся циферблат); упругий элемент (растягивающая пружина – сжимающая пружина).

Подчеркнем, что при использовании опросного листа каждый из вопросов поочередно видоизменяют до тех пор, пока он не оказывается прямо относящимся к поставленной проблеме, совершенствуемому объекту. Постановку того или иного вопроса нельзя считать правильной или неправильной, так как эти вопросы – всего лишь заготовки для выявления оптимальных вариантов.

Практика показывает, что применение метода записной книжки нередко дает необходимый результат едва ли не быстрее, чем обычный мозговой штурм, несмотря на заложенную в основу метода «медлительность». И все же этот метод должен рассматриваться как одна из модификаций мозгового штурма, поскольку все основные признаки последнего здесь наличествуют.

2.1.3. Метод фокальных объектов

Этот метод предложен американским специалистом Ч. Вайтингом и применяется с целью поиска новых, оригинальных вариантов исполнения заданного объекта, поиска совместимых с ним дополнительных функций.

Фокальным в методе называют технический объект, который собираются совершенствовать, поскольку он находится «в фокусе» внимания.

Метод заключается в попытке преодолеть обычную инерцию человеческого мышления, а его суть состоит в том, что признаки нескольких *случайно выбранных* объектов переносят на совершенствуемый объект. В результате получаются необычные сочетания «объект–его свойство», сформировать которые путем обычных рассуждений удается лишь немногим людям, мышление которых отличается яркой образностью.

Последовательность шагов выполнения этого метода.

1. Формулируют цель работы (определяют совершенствуемый объект и цель его совершенствования).

2. Произвольно выбирают – по памяти либо из каталогов, словарей, случайных книг – нескольких случайных объектов (их также могут предлагать участники работы).

3. По каждому из выбранных случайных объектов составляют перечень их основных характеристик и признаков.

Примечание. Целесообразно предложить участникам работы выполнить второй и третий шаги *до оглашения* объекта анализа, что позволяет непредвзято осуществлять выбор характеристик.

4. Признаки выбранных случайных объектов переносят на совершенствуемый объект.

5. Производят анализ полученных сочетаний, при этом обращают особое внимание на внешне несовместимые, «дикие» сочетания, развитие которых, как правило, приводит к наиболее интересным решениям.

6. Проводят итоговую оценку полученных решений и их отбор для дальнейшего анализа.

Известно, что в США метод фокальных объектов широко применяется в рекламной индустрии: для поиска новых форм рекламы, для оригинального оформления традиционных товаров. В отечественной же практике метод также нашел свое применение, например при поиске и совершенствовании объектов массового спроса. Кроме всего прочего, этот метод может быть полезен и как средство тренировки фантазии, воображения.

Предположим, в качестве создаваемого объекта выступает устройство «планетоход», т.е. аппарат, предназначенный для самостоятельного перемещения по поверхности удаленной от Земли

планеты. Случайно выбираем четыре объекта (используем газетную полосу, из которой случайным образом «выдергиваем» отдельные слова). Например, получилось «лист», «катер», «клетка», «сетка».

Составляем список характерных признаков этих объектов (табл. 1). Генерирование идей, как мы уже отмечали, происходит путем присоединения признаков случайных объектов к фокальному объекту. Что из этого получается? Интересными могут стать такие сочетания «объект–свойство», как «планетоход–гибкий», «планетоход–многолетний», «планетоход–с циклами развития», «планетоход–самоходный», «планетоход–складной». Эти сочетания наводят на мысль о создании самоходного аппарата с циклическим – в зависимости от времени суток или года – способом перемещения.

Таблица 1

Случайный объект	Признаки случайного объекта
Лист	Широкий, узкий, плоский, цветной, гибкий, резной, бумажный, металлический, пластмассовый, прозрачный, зеленый, однолетний, многолетний.
Катер	Самоходный, скоростной, управляемый, обтекаемый, сигнальный, речной, морской, спасательный.
Клетка	Самоорганизующаяся, самонастраивающаяся, живая, закодированная, растущая, биологическая, для зверей, с циклами развития.
Сетка	Прочная, заградительная, игровая, звукопоглощающая, фильтрующая, арматурная, координатная, цифровая, настроечная, складная.

Не менее интересными для порождения новых технических идей могут стать и другие сочетания, в чем и рекомендуется попрактиковаться читателю.

2.1.4. Метод гирлянд ассоциаций и метафор

Метод гирлянд и ассоциаций был предложен советским исследователем Г.Я. Бушем. Его цель – обеспечить поиск разработчиком решения изобретательских задач при изначальном дефиците информации, т.е. при невозможности использовать традиционные логические средства. При этом опять ставится задача преодолеть

инерцию человеческого мышления и получить неожиданные, ранее не существовавшие сочетания «объект–свойство».

Одним из средств достижения поставленной цели служит использование цепочек (иначе – гирлянд) ассоциаций и метафор, что позволяет совершить переход в новую область знаний, интерпретировать по-новому ранее разрабатываемые идеи. Иными словами, в качестве своеобразного информационного фонда выступает ассоциативная память разработчика.

От метода фокальных объектов рассматриваемый метод отличается тем, что он дает значительно большее число сочетаний фокального объекта за счет использования его синонимов. Например, для слова «планетоход» в качестве синонима могут использоваться слова и сочетания «луноход», «ровер», «устройство для передвижения по космическим объектам» и т.п.

Рассмотрим основные этапы метода при совершенствовании заданного объекта.

1. Определение максимально возможного числа синонимов исследуемого объекта и образование из них первой гирлянды – гирлянды синонимов.

2. Произвольный выбор случайных объектов. Совершенно произвольно, любым способом, например на память или из энциклопедического словаря, выбирают несколько имен существительных, которые не обязательно должны обозначать даже технические объекты. Из отобранных слов образуют вторую гирлянду – гирлянду случайных объектов.

3. Составление парных комбинаций из элементов гирлянды синонимов и гирлянды случайных объектов путем последовательного соединения каждого синонима рассматриваемого объекта с каждым случайным объектом.

4. Составление перечня возможно большего числа признаков случайных объектов. Эти признаки целесообразно определять в течение ограниченного времени, например за две–три минуты. Успех поиска в значительной степени зависит от широты охвата признаков случайных объектов, поэтому стоит перечислять как основные, так и второстепенные, малозначительные признаки.

5. Генерирование идей путем поочередного присоединения к техническому объекту и его синонимам признаков случайно выбранных объектов. Аналогично образуют перечень новых конструкций, получаемых путем поочередного присоединения к гирлянде синонимов признаков других случайных объектов.

6. Генерирование гирлянд ассоциаций. Из признаков случайных объектов, выявленных на четвертом шаге, генерируют гирлянды свободных ассоциаций. Для каждого отдельного признака гирлянды могут быть практически неограниченной длины, поэтому генерирование следует ограничить по времени или по числу элементов гирлянды. Если генерирование гирлянды ассоциаций осуществляют в коллективе, то каждый его член занимается этим самостоятельно.

7. Генерирование новых идей. К элементам гирлянды синонимов технического объекта поочередно пытаются присоединить элементы гирлянд ассоциаций. На этом шаге решают вопрос, есть ли среди сочетаний синонимов технического объекта с элементами гирлянд ассоциаций достаточное число оригинальных и перспективных идей. Если, по предварительной оценке, таких идей мало, можно продолжать образовывать гирлянды ассоциаций, начиная с какого-нибудь нового элемента гирлянд, созданных на шестом шаге. Как правило, среди множества нерациональных, тривиальных и даже нелепых идей найдутся идеи оригинальные и рациональные.

8. Оценка и выбор рациональных вариантов идей. Генерирование новых вариантов решения задач на предыдущих шагах обычно дает достаточно большое множество вариантов.

Отбор вариантов рекомендуется производить в несколько этапов. Сначала вычеркивают явно нерациональные варианты, затем отбирают оригинальные идеи сомнительной полезности, но привлекающие своей неожиданностью. Список таких вариантов целесообразно изучать уже с привлечением экспертов или творческого коллектива (по сути, обращение к идее мозгового штурма). В список рациональных решений включают варианты, наилучшим образом отвечающие поставленным целям.

9. Отбор наилучшего варианта из числа рациональных осуществляют разными способами, например простым и достаточно эффективным способом экспертных оценок.

2.1.5. Метод «Система КАРУС»

Советским исследователем В.А. Моляко был разработан оригинальный метод конструирования новых технических объектов, получивший по первым буквам названий применяемых действий наименование «Системы КАРУС».

Он включает пять основных типов действий, именуемых автором метода «стратегиями».

1. Стратегия *комбинирования*, или комбинаторные действия, которые предусматривают совместное использование самых разнообразных объектов и их функций для построения нового объекта.

Примером может служить создание реактивных ускорителей для самолетов укороченного взлета, когда объект получается путем комбинирования – соединения в единую конструкцию ракетных систем и авиационной техники.

Данная стратегия в основном включает различные перестановки, уменьшение и увеличение размеров, изменение расположения деталей в существующей конструкции и т.п.

2. Стратегия *аналогизирования*, которая подразумевает поиск аналогов с использованием ранее известного объекта или его части, отдельной функции при создании нового объекта.

В данном случае примером может служить уже упоминавшееся нами применение традиционной для авиационной техники системы катапультирования пилота при создании СА космического корабля «Восток». Применение системы, аналогичной авиационной, позволило решить проблему безопасного возвращения космонавта на Землю при невозможности снижения до допустимой скорости касания поверхности.

3. Стратегия *реконструирующая*, или реконструктивные действия, основывается на реализации принципа «наоборот». Если, например, в конструкции выполнялось вращательное движение, то при реализации реконструирующей стратегии может быть изменено направление вращения или даже тип передачи, прямоугольная деталь заменена круглой и т. д. По мнению автора системы, данная стратегия реализует самый творческий подход.

Принцип такой стратегии в ряде случаев формулируется так: «кто нам мешает, тот и поможет». Имеется в виду, что тот фактор (или явление), с которым долгое время боролись, в новой конструкции может быть использован уже как системообразующий. Например, система мягкой посадки транспортной платформы на поверхность Луны, использующая не прочные опорные поверхности, как этого требует традиция, а сминаемые амортизирующие устройства, которые теряют свою форму, но выполняют главную функцию.

4. Стратегия *универсальная*, которая предусматривает одновременное применение аналогизирования, комбинирования и реконструирования.

5. Стратегия *случайных подстановок*, которая дополняет предложенную автором метода классификацию стратегий до полной. Суть таких подстановок состоит в отказе от заранее намеченного плана работ и осуществлении дальнейшего поиска случайными методами, можно сказать, вслепую.

По мнению автора, все пять стратегий «Системы КАРУС» направлены на структурно-функциональные преобразования некоторого исходного объекта. Эти стратегии в рамках метода осуществляют с помощью набора конкретных действий, сочетание которых представляет определенную тактику.

«Система КАРУС» предусматривает применение следующих возможных тактик:

1) тактика *интерполяции* – включение в уже имеющийся объект какой-либо новой части, которая будет соответствовать искомой функции;

2) тактика *экстраполяции* – внешнее добавление того или иного элемента к объекту;

3) тактика *редукции* – уменьшение размеров, скоростей и т.п.;

4) тактика *гиперболизации* – увеличение размеров, форм, скоростей;

5) тактика *дублирования* – точное использование в новом объекте известной детали, узла или функции;

6) тактика *размножения* – использование в объекте не одной, а двух и более одинаковых деталей или же выполнение несколькими элементами, узлами одной и той же функции;

7) тактика *замены* – полная замена в объекте определенной детали, узла;

8) тактика *модернизации* – приспособление объекта к новым условиям;

9) тактика *конвергенции* – преобразования, основанные на сочетании в какой-то части двух противоположных особенностей или структур (например, в устройстве используют возвратно-поступательное движение в сочетании с колебательным);

10) тактика *деформации* (трансформации) – определенные изменения, например, устройства, которые, однако, не влияют на сущность структуры или функции;

11) тактика *интеграции* – построение какого-то нового объекта из уже известных частей;

12) тактика *базовой детали* – использование какой-то одной части объекта, которая служит основой для последующего построения всех остальных частей;

13) тактика *автоматизации* – выделение в целом объекте какой-то отдельной части и последующая перестройка других частей;

14) тактика *последовательного подчинения* – действие по цепи в определенной последовательности, когда поочередно строят все части объекта без пропусков.

15) тактика *смещения или перестановки* – изменение расположения какой-либо детали в пределах одного и того же объекта ;

16) тактика *дифференциации* – специальное разделение структур и функций в объектах.

Кроме перечисленных выше тактик, позволяющих путем их сочетания приходить к нужному результату, в «Системе КАРУС» применяют и набор дополнительных приемов для стимулирования интеллектуальной деятельности (снова преодоление инерции мышления). К ним относятся следующие методы.

1. Метод временных ограничений (МВО). Предусматривает тренировку с целью учесть влияние временного фактора на умственную деятельность, а также решить задачи в условиях дефицита информации.

2. Метод внезапных запрещений (МВЗ). Заключается в запрещении человеку, решающему задачу, использовать определенные средства (как правило, им уже хорошо освоенные). Применение этого метода дает возможность тренировать гибкость мышления.

3. Метод скоростного эскизирования (МСЭ). Применяется для диагностики мыслительной деятельности, способствует повышению контроля над этой деятельностью.

4. Метод новых вариантов (МНВ). Основан на требовании находить в процессе решения задачи все новые и новые варианты.

5. Метод информационной недостаточности (МИН). Применяется тогда, когда ставится задача особой активизации деятельности на первых этапах решения. Суть метода – постановка задачи при явном недостатке данных, необходимых для решения. Недостающую информацию выдают только по запросу обучаемых.

6. Метод информационной перенасыщенности (МИП). Основывается соответственно на включении в условие задачи заведомо излишних сведений.

7. Метод абсурда (МА). Заключается в предложении решить заведомо невыполнимую задачу и применяется для выявления стиля творческой деятельности.

8. Метод ситуационной драматизации (МСД). Связан с введением помех в ход решения. Это могут быть вопросы преподавателя, сбивающие с хода решения задачи, или введение в процессе работы новых условий, изменение бюджета времени и т.п.

Даже анализ приведенных названий методов, используемых в «Системе КАРУС», показывает, что они по своей сути служат упражнениями, предназначенными для индивидуальной работы лиц, находящихся в начале изобретательского пути.

Опытные же изобретатели могут предложить ряд дополнительных средств, которые помогают разработчику находить наилучшие идеи. К числу таких средств стимуляции творческой деятельности относятся рекомендации, предложенные американским исследователем Э. Криком.

2.1.6. Перечень рекомендаций Э. Крика

Для повышения эффективности изобретательской работы и стимуляции творческой деятельности Э. Крик предложил следующие 12 рекомендаций.

1. *Прилагайте необходимые усилия* – нельзя творить без умственных усилий.

2. *Не погружайтесь слишком глубоко в трясину подробностей*. Если увязнете в ней, будет трудно обратиться к радикально иным идеям. Старайтесь вначале мыслить широко, концентрируя внимание на решении задачи в целом и откладывая на более поздний срок рассмотрение деталей.

Начав разрабатывать подробности первого найденного «хорошего» решения, Вы помешаете себе и не сможете уже думать по-другому. Вдобавок, если Вы все же так поступите и, в конце концов, придете к наилучшему решению, Вы отдадите предпочтение первому, поскольку на выяснение его деталей уже затрачено много времени и сил.

3. *Чаще спрашивайте себя: почему*? Настойчивое применение этого простого, но очень действенного вопроса особенно полезно. Выясняйте таким образом основные цели поставленной задачи, ограничения, характеристики существующих и предполагаемых решений и т.д.

4. *Отыскивайте больше возможных решений*. Если суметь найти максимальное число решений, то среди них, наверное, окажутся и полезные.

5. *Избегайте консерватизма*. Кажется естественным брать идеи, испытанные временем, поэтому они пользуются большим доверием. Если удалось сделать большой скачок, всегда можно вернуться и отказаться от достигнутого. Поэтому пусть Вас не смущают идеи, радикально отличающиеся одна от другой.

6. *Избегайте поспешных решений*. Не торопитесь отвергнуть найденное. Некоторые идеи при первом рассмотрении могут показаться не заслуживающими внимания или даже бесполезными. Естественно поэтому стремление сразу же отбросить их. Но таким образом можно лишиться некоторых достойных рассмотрения решений. Более того, через некоторое время эти идеи могут быть после небольшой модификации применены. Одно из качеств квалифицированного инженера – настойчивость в применении новых идей, радикально отличающихся от всех предыдущих.

7. *Избегайте преждевременного удовлетворения* проделанной работой. Не соблазняйтесь первой встретившейся «хорошей» идеей или улучшающей уже имеющееся решение, когда на самом деле оправданы дальнейшие поиски. Весьма легко оказаться ослепленным блеском первой попавшейся идеи и пренебречь активными дальнейшими поисками. Есть отличный способ избежать этого: нужно всегда считать, что имеется решение лучшее, чем известное. Если Вы последуете такому правилу, будете реже ошибаться.

8. *Обращайтесь за идеями к аналогичным задачам*. Попробуйте мысленно решить аналогичные задачи, но в иных ситуациях.

9. *Консультируйтесь с другими специалистами*. Активно собирайте информацию от инженеров, заказчиков, потребителей, продавцов и др. Такие беседы не только расширяют знания инженера, но и могут натолкнуть его на правильную мысль.

10. *Попытайтесь отвлечься от существующих решений*, хотя это и нелегко. Существующие решения «давят» своим авторите-

том, однако при определенной дисциплине ума отвлечься от них можно.

11. *Попробуйте групповой метод* поиска новых решений.

12. *Всегда помните о неограниченных возможностях человека* в процессе создания идей. Если инженер постоянно отдает себе отчет в том, что могут возникнуть ложные ограничения, если старается не быть чрезмерно консервативным и не делать поспешных выводов, он, значит, делает важный шаг в преодолении тенденций, которые буквально «душат» изобретательность.

2.1.7. Правила М. Тринга и Э. Лейтуэйта

Не менее любопытный свод правил поиска новых решений предложили английские инженеры М. Тринг и Э. Лейтуэйт.

1. Всегда необходимо четко сформулировать задачу.

2. Видеть в задаче некую человеческую потребность и пытаться найти наилучший способ ее удовлетворения.

3. Если задача имеет два и более различных решений, каждое из которых обладает достоинствами и недостатками, необходимо провести анализ каждого решения и выяснить, нельзя ли сделать усовершенствования, улучшающие технические и экономические показатели любого из этих решений применительно к поставленной задаче.

4. Когда задача выбрана, следует определить главную и дополнительную цель будущего изобретения, а также ограничения, накладываемые на решение задачи.

5. Создать при решении задачи дополнительный эмоциональный заряд. Весьма полезно для этого установить жесткие сроки, применить метод «высиживания», систематической работы над изобретением, а также использовать метод мозгового штурма, привлекая на помощь группу специалистов.

6. После того как найдена стоящая идея, необходимо пользоваться методом последовательных приближений. Не следует при этом конкретизировать идею больше, чем это нужно для перехода к следующему этапу работы. Важно всегда оставлять для себя как можно более широкий выбор.

7. Для проверки идеи рекомендуется следующий перечень контрольных вопросов, ответы на которые дадут правильное представление о достигнутом результате:

- не противоречит ли идея законам техники;
- работоспособно ли найденное техническое решение;
- отвечает ли идея планируемым параметрам;
- будет ли найденное решение надежным и простым в эксплуатации;
- можно ли осуществить изобретение на базе известных материалов и с применением существующих технологий;
- можно ли управлять им и регулировать его при необходимости;
- будет ли изобретение дешевым;
- какова будет стоимость его эксплуатации и обслуживания;
- каков будет срок службы;
- как часто возможны поломки и будут ли они иметь катастрофические последствия.

2.1.8. Список контрольных вопросов А.Осборна

Широкую известность в инженерной среде получил список вопросов, составленный разработчиком метода мозгового штурма, американским психологом А. Осборном, который может применяться для проверки адекватности достигнутого в ходе работы результата.

1. Какое новое применение технического объекта можно предложить? Возможны ли новые способы применения? Как модифицировать известные способы применения?

2. Возможно ли решение изобретательской задачи путем приспособления, упрощения, сокращения? Что напоминает данный технический объект? Вызывает ли аналогия новую идею? Имелись ли в прошлом аналогичные проблемные ситуации, которые можно использовать? Что можно копировать? Какой технический объект нужно опережать?

3. Какие модификации технического объекта возможны? Приемлема ли модификация путем вращения, изгиба, скручивания, поворота? Какие изменения назначения (функции), движения, цвета, запаха, формы, очертаний можно применить? Другие возможные изменения?

4. Что можно увеличить в техническом объекте? Что можно присоединить? Возможно ли увеличение срока службы, воздейст-

вия? Имеет ли смысл увеличить частоту, размеры, прочность, повысить качество? Можно ли присоединить новый градиент, продублировать? Возможны ли мультипликации рабочих органов, позиций или других элементов? Целесообразна ли гиперболизация элементов или всего объекта?

5. Что можно в техническом объекте уменьшить или заменить? Можно ли что-нибудь уплотнить, сжать, сгустить, сконденсировать, применить способ миниатюризации, укоротить, сузить, отделить, раздробить, приумножить?

6. Что в техническом объекте можно заменить? Что и сколько можно замещать в нем, использовать другой ингредиент, другой материал, другой процесс, другой источник энергии, другое расположение, другой цвет, звук, освещение?

7. Что можно преобразовать в техническом объекте? Какие компоненты допустимо взаимно заменить? Можно ли изменить модель, разбивку, разметку, планировку, последовательность операций? Можно ли транспонировать причину и эффект, изменить скорость или темп, режим?

8. Что можно в техническом объекте сделать наоборот? Нельзя ли поменять местами противоположно размещенные элементы или повернуть их задом наперед, низом вверх, поменять местами? Нельзя ли поменять полярность, перевернуть зажимы?

9. Какие новые комбинации элементов технического объекта возможны? Можно ли создать смесь, сплав, новый ассортимент, гарнитур? Можно ли комбинировать секции, узлы, блоки, агрегаты, цепи? Можно ли объединять признаки, идеи?

2.1.9. Перечень рекомендаций и вопросов Т. Эйлоарта

Не менее интересен и продуктивен перечень вопросов, предлагаемых английским изобретателем Т. Эйлоартом для интенсификации инженерного творчества.

1. Перечислить все качества и определения предполагаемого изобретения. Попытаться изменить их.

2. Сформулировать задачи наиболее ясно, а затем попробовать подобрать новые формулировки. Четко определить второстепенные, аналогичные задачи и выделить главные.

3. Перечислить недостатки имеющихся решений, их основные принципы и сформулировать новые предположения.

4. Набросать молекулярные, биологические, химические, экономические и другие аналоги, пусть даже фантастические и маловероятные.

5. Построить математическую, гидравлическую, электронную, механическую и другие модели (модели точнее выражают идею, чем аналогии).

6. Попробовать различные виды материалов и энергии:

- газ, жидкость, твердое тело, гель, пена, паста и др.;
- тепло, магнитная и электрическая энергии, свет, сила удара и т. д.;
- различные длины волн, поверхностные свойства и т.п.;
- переходные состояния: замерзание, конденсация, переход через точку Кюри и т.д.;
- эффекты Джоуля–Томпсона, Фарадея и др.

7. Установить варианты зависимости, возможные связи, логические совпадения.

8. Узнать мнение некоторых совершенно не осведомленных в данном деле людей.

9. Устроить весьма свободное групповое обсуждение, особенно во время непринужденной беседы, выслушивая каждую идею без критики.

10. Попробовать так называемые «национальные» решения (иногда их еще именуют «собственными», «хитрыми»):

- хитрое («шотландское»),
- всеобъемлющее («немецкое»),
- расточительное («американское»),
- сложное («китайское») и т.д.

11. Не расставаться с проблемой во время сна, идя на работу, на прогулке, во время купания, в поезде, при игре. Надо быть всегда с ней, с проблемой (или, как выражаются некоторые специалисты», «спать с проблемой»).

12. Стараться находиться в стимулирующей обстановке (технические музеи, магазины дешевых вещей, свалки лома), просматривать много журналов.

13. Набросать таблицу цен, величин, перемещений, типов материалов и т. д. для разных решений проблемы и ее частей, поискать пробелы в решениях или новые комбинации.

14. Определив идеальное решение, разрабатывать возможные.

15. Видоизменить решение проблемы с точки зрения времени (скорее или медленнее), размеров, вязкости и т. п.

16. В воображении «залезть» внутрь объекта.

17. Определить альтернативные проблемы и системы, которые изымают определенное звено из цепи и таким образом создают нечто совершенно иное, уводя в сторону от нужного решения.

18. Уточнить, чья это проблема. Почему именно его?

19. Кто придумал это первым? Какова история вопроса? Какие ложные толкования этой проблемы имели место?

20. Кто еще решал эту проблему и чего добился?

21. Определить общепринятые граничные условия и причины их установления.

Список и перечень Т. Эйлоарта очень интересен тем, что в нем рекомендации и вопросы выстроены не в случайном порядке. Это уже не просто список или перечень, а скорее некоторое подобие методики, алгоритма действий. Как пишет эксперт в области теории решения изобретательских задач А. Барышников, «этот список имеет оптимальную степень обобщения вопросов. Кроме того, он является настолько исчерпывающим, что мне не удалось припомнить ни одного готового решения, которое не подпадало бы под его действие».

2.1.10. Перечень советов и вопросов Д. Пойа

Еще больший интерес применительно к рассматриваемым нами методам стимулирования изобретательства представляет собой перечень, предложенный Дьёрдем Пойа (Джорджем Полиа), в котором эти вопросы и советы расположены по определенной системе (в других изобретательских списках вопросы, в принципе, можно менять местами).

1. *Понимание задачи*. Нужно ясно понять постановку задачи: «глупо отвечать на вопрос, который Вы не поняли. Невесело работать для цели, к которой Вы не стремитесь». Что неизвестно, что дано, в чем состоит условие, возможно ли его удовлетворить? Достаточно или нет это условие для определения неизвестного? Не чрезмерно ли оно, не противоречиво ли? Сделайте чертеж, введите подходящие обозначения, разделите условие на участки и постарайтесь записать их.

2. *Составление плана решения*. Нужно найти связь между данными и неизвестными. Если не удается сразу обнаружить эту связь, возможно, будет полезным рассмотреть вспомогательные задачи. В конечном счете, необходимо прийти к плану решения.

Не встречалась ли раньше эта задача, хотя бы в несколько иной форме?

Известна ли какая-нибудь родственная (близкая по смыслу) задача?

Не знаете ли теоремы, которая могла бы оказаться полезной?

Рассмотрите неизвестное и постарайтесь вспомнить знакомую задачу с тем же или подобным неизвестным. Если есть задача, родственная данной и уже решенная, нельзя ли ею воспользоваться, применить ее результаты? Имеет ли смысл ввести какой-нибудь вспомогательный элемент, чтобы стало возможным воспользоваться прежней задачей? Нельзя ли ее иначе сформулировать, и еще иначе?

Вернитесь к определениям.

Если не удастся решить данную задачу, попытайтесь сначала решить сходную. Можно ли придумать более доступную сходную задачу, более общую и более частную или же аналогичную задачу?

Постарайтесь решить часть задачи. Сохраните только часть условия, отбросив остальное.

Насколько определенным окажется тогда неизвестное, как оно может меняться? Нельзя ли извлечь что-либо полезное из данных или придумать другие данные, из которых можно было бы определить неизвестное? Нельзя ли изменить неизвестное или данные или, если необходимо, и то, и другое так, чтобы новое неизвестное и новые данные оказались ближе друг к другу?

Все ли данные и все ли условия использованы? Приняты ли во внимание все существенные понятия, содержащиеся в задаче?

3. *Осуществление плана*. Осуществляя план решения, контролируйте каждый свой шаг. Ясно ли, что предпринятый шаг правильный? Сумеете ли доказать, что он правилен?

4. *Взгляд назад*. Нельзя ли проверить результат и ход решения?

Считается, что список Пойа предназначен преимущественно для решения учебных математических задач, хотя он вполне применим и для задач изобретательских. Сам Пойа высоко ставил эвристику как искусство находить решение и как метод обучения,

способствующий развитию находчивости, в свое время сетуя, что эвристика не в моде, и надеясь, что её ждёт большое будущее.

2.1.11. Метод синектики

Метод синектики (совмещение разнородных элементов – греч.) предложил в середине 50-х годов прошлого века американский исследователь У. Гордон. В принципе, в основу синектики положен мозговой штурм, однако тут есть некоторые существенные отличия. Обычный мозговой штурм проводят люди, которые не обучены специальным творческим приемам, а синектика предполагает создание постоянных групп мозгового штурма. Такие группы, постоянно накапливая опыт, вырабатывая свои специфические приемы, работают, естественно, плодотворнее случайно собранных коллективов.

Синектика широко использует аналогии и ассоциации, помогающие находить новые идеи. Решение задачи синектическая группа начинает с ознакомления с «проблемой, как она дана» (ПКД), затем, уточняя, превращает ее в «проблему, как она понимается» (ПКП).

Далее группа осуществляет собственное решение, основанное, как пишет Гордон, «на превращении непривычного в привычное и привычного в непривычное: на систематических попытках взглянуть на задачу с какой-то новой точки зрения и тем самым сбить психологическую инерцию». Достигается это двумя путями: применением аналогий и развитием неожиданных сочетаний, ассоциаций.

В синектике используют четыре вида аналогий.

Прямая аналогия (ПА) предусматривает сравнение совершенствуемого объекта с более или менее аналогичным объектом из другой отрасли техники или с объектом живой природы.

Личная аналогия (ЛА), или, как ее еще называют, эмпатия, базируется на том, что решающий задачу вживается в образ совершенствуемого объекта, пытаясь выяснить возникающие при этом чувства, ощущения.

Символическая аналогия (СА) является обобщенной, абстрактной.

Фантастическая аналогия (ФА) предусматривает введение в задачу каких-нибудь фантастических существ, выполняющих то, что требуется по условиям задачи.

Ход синектического заседания обязательно фиксируют на магнитофоне или видео, а затем тщательно изучают запись с целью совершенствования тактики решения.

Определенный интерес представляет набор требований к участникам работы (синекторам):

- уметь абстрагироваться от обычного суждения, мысленно отвлечься от обследуемого объекта, выделить сущность задания и побороть привычный ход мышления;
- иметь склонность к свободным раздумьям, доходя до уровня фантазии;
- уметь задержать дальнейшее развитие найденных идей и верить в то, что впереди появятся лучшие;
- благожелательно воспринимать идеи даже в тех случаях, когда они нечетко сформулированы;
- обладать целенаправленностью и иметь твердую веру в успешное решение задачи, быть уверенным в своих изобретательских способностях и способностях других участников;
- находить в обычном необычное и в необычном обычное, уметь усматривать в ординарных предметах и явлениях нечто особенное, использовать это особенное в качестве исходного пункта для развития творческого воображения.

2.1.12. Интегральный метод «Метра»

Этот метод, разработанный под руководством французского исследователя И. Бувена, по своей форме представляет почти полный аналог метода синектики.

Сам автор указывает, что его метод включает элементы мозгового штурма, метода синектики, метода морфологических матриц Моля, элементы активизации свободных ассоциаций, объединенных в аналоговую методику «Метра», которая состоит из следующих этапов.

1. Перед исследователями творческой группы ставят задачу в формулировке, полученной от заказчика. На этом этапе ведущий призывает участников творческого процесса свободно высказывать любые идеи.

2. Проводят расщепление исходного представления об объекте на понятийный спектр в различных аспектах. При этом используют методику свободных ассоциаций.

3. Пересматривают первоначальную формулировку и к новой постановке задачи применяют мозговой штурм.

4. Осуществляют развитие аналоговых представлений об объекте, позволяющих разделить задачу на ряд вспомогательных. Выбор рабочих аналогий определяют мотивацией творческой группы.

5. Начинают так называемое «путешествие в мир аналогий». Смысл этого этапа заключается в свободном поиске отдельных аналогий с изучаемым объектом путем фантастических модельных представлений.

6. При анализе результатов, полученных в ходе «путешествия в мир аналогий», снова возвращаются к поставленной проблеме, а выдвинутые аналогии переводят на язык корректных деловых терминов

Метод неоднократно успешно использовался для решения комплексных социально-технических задач. Отметим, что применение метода предполагает наличие группы целенаправленно подготовленных специалистов, что делает его еще более схожим с методом синектики.

2.1.13. О постановке новых целей

Специализированные списки контрольных вопросов, рекомендаций и формальных приемов, подобные приведенным выше, в настоящее время используются достаточно широко. Но, как правило, все методы изобретательства и проектирования в качестве исходной информации для проведения работ требуют указания функции, для выполнения которой создается новое изделие. При этом вопрос, как сформулировать эти функции, остается за рамками решаемой задачи. В этом смысле интерес представляют рекомендации по постановке целей, изложенные Х. Ясухисо в книге «Идея и разработка товаров широкого потребления». Предлагаемые рекомендации разработаны на основе опыта ряда японских фирм и предназначены, заметим, в основном для производителей товаров широкого спроса, поскольку автор определяет несколько основных источников рождения новых идей потребительских товаров. Однако в принципе подобный подход может использоваться и в других отраслях техники.

В качестве *первого источника* выступают претензии потребителей к уже выпускающимся товарам. Отмечается, что в настоящее время фирмы-производители относятся к претензиям потребителей не как к чему-то позорящему, а в основном как к источнику новых идей. Схема работы с претензиями имеет следующий вид:

а) претензии потребителя;

б) обработка претензий;

в) анализ информации о претензиях;

г) усовершенствование товаров; разработка ассортимента новой продукции.

Вторым источником является учет того факта, что потребитель, покупая товары, стремится обрести надежность и устойчивость. Источником новых идей поэтому может быть анализ тревожащих население сторон жизни. К важнейшим из них, по мнению автора, относятся здоровье, воспитание и образование детей, опасность отравления пищевыми и лекарственными веществами, преступления, предупреждение преступлений, несчастные случаи на транспорте и в быту, стихийные бедствия.

Беспокойство и тревога рождают новые потребности. Их надо анализировать и думать о предоставлении новых услуг.

Третий источник информации – анализ причин отсутствия спроса на неходовые товары. В упомянутой книге приводится перечень возможных причин отсутствия сбыта товара, даются краткие рекомендации по устранению этих негативных явлений. В частности, в процессе анализа может появиться идея нового или значительно более усовершенствованного товара.

Четвертый источник – анализ изменения ценностей потребителей. Отмечается, что в основном ценности меняются весьма медленно, однако кризисы, эпидемии и другие подобные явления часто приводят к быстрому и существенному изменению ценностей (в качестве примера автор приводит знаменитый энергетический кризис 1973 г.).

Последний, пятый, источник информации – анализ образа жизни «странных» личностей. Обычный потребитель товаров живет стереотипами, формируемыми самими товарами. Выход на новые потребности у него встречается крайне редко и в неявно выраженной форме. Более ценным источником идей будет исследование людей, живущих по своим законам, людей, которые представляются окружающим «странными».

2.2. Методы функционально-структурного исследования объектов

2.2.1. Метод морфологического ящика

Метод морфологического ящика разработан в 1942 г. известным швейцарским астрономом Ф. Цвикки. Отметим, что ему принадлежит авторство в создании ряда методов морфологического исследования, из которых метод морфологического ящика является наиболее разработанным и широко применяемым. Основная его цель состоит в построении всех возможных вариантов реализации исследуемого объекта, как правило, для определения возможных границ его изменения.

Задача разработки этого метода для организации творческого процесса возникла именно в астрономии в связи с тем, что в этой науке ученые впервые столкнулись со сложными динамическими системами (звездами, галактиками). Первая попытка состояла в построении диаграммы «спектр–светимость» нидерландским астрономом Э. Герцшпрунгом и, независимо от него, американским астрофизиком Г. Расселом. На одной оси диаграммы указаны спектральные классы, на другой – светимость звезд. Оказалось, что каждому спектральному классу соответствует определенная светимость; они выстроились в виде «главной последовательности». Были также упорядочены представления о развитии звезд: с увеличением возраста меняется спектр звезды и она смещается вдоль «главной последовательности». В дальнейшем диаграмма совершенствовалась, уточнялась для отдельных классов звезд (звезд-гигантов, звезд-карликов).

В 1939 г. Ф. Цвикки, анализируя белые пятна на диаграмме «масса–светимость», сделал открытие – теоретически доказал существование нейтронных звезд. В 1942 г. Цвикки привлекли к ракетным разработкам, где он применил метод построения многомерных диаграмм, который позднее был назван морфологическим методом.

«Морфология» – по-гречески учение о форме. Согласно методу сложная система разделяется на составные части по характерным функциональным признакам. По каждому признаку составляется список возможных вариантов реализации. Эти признаки и варианты их реализации представляются в виде таблицы или матри-

цы («морфологического ящика»). Перебирая варианты сочетаний разных признаков и варианты их реализаций, можно, в принципе, найти новое решение.

В ходе работ по ракетным двигателям Ф. Цвикки только для одного варианта построения прогноза при 11 показателях признаков получил 36864 возможных комбинаций (решений, подлежащих анализу и выбору наилучших из них).

Метод морфологического ящика реализуется в следующем порядке.

1. Дают точную формулировку проблемы, подлежащей решению. На этом этапе очень важно привести общее описание исследуемого объекта.

2. Формируют (выявляют) важные характеристики (свойства, функции) объекта, совокупность которых обеспечивает его существование и функционирование, решение проблемы.

3. Раскрывают возможные варианты реализации каждой характеристики (свойства, функции).

4. Совокупность полученных вариантов сводят в морфологическую матрицу, или морфологический ящик.

5. Выбирают решения из морфологического ящика и определяют их функциональную ценность.

В качестве примера рассмотрим процесс создания нового космического транспортного средства – планетохода.

Выделим самые основные части конструкции будущего планетохода по главным признакам и варианты их реализации, представив это в виде матрицы Цвикки – морфологического ящика (табл. 2).

Таблица 2

Основные признаки и варианты их реализации при создании планетохода

Элементы конструкции (признаки)	Номер рассматриваемого варианта			
	1	2	3	4
Двигатель (А)	Электрический	Химический	Реактивный	Ядерный
Движитель (Б)	Колесный	Гусеничный	Шагающий	Шнековый
Кабина (В)	Герметичная	Негерметичная	–	–
Управление (Г)	По радио	Бортовым устройством	Дистанционно с применением компьютера	–

Сопоставим с таблицей матрицу возможных вариантов:

А1	А2	А3	А4
Б1	Б2	Б3	Б4
В1	В2		
Г1	Г2	Г3	

Комбинируя варианты из разных столбцов и строк, получим множество вариантов конструкции планетохода.

Например, вариант А1–Б1–В1–Г1 – планетоход с электродвигателем, колесным движителем, герметичной кабиной и управлением по радио, что соответствует реализованному варианту космического самоходного аппарата «Луноход-1» (СССР, 1970).

Вариант А1–Б1–В2–Г2 – планетоход с электродвигателем, колесным движителем, негерметичной кабиной и бортовой системой управления, что соответствует реализованному варианту космического самоходного аппарата Lunar Rover (США, 1971).

Общее число вариантов определяется произведением количества элементо в в каждой из стр ок; в рассматриваемом примере $N = 4\times4\times2\times3 = 96$ вариантов.

Перебирая все возможные варианты и оценивая их по некоторому устанавливаемому заранее критерию, можно получить наилучший вариант.

Метод морфологического ящика в том виде, как его предложил Ф. Цвикки, наиболее применим при определении стратегических направлений развития новых объектов. В качестве недостатков метода следует указать избыточное количество вариантов, которые трудно анализировать, и отсутствие уверенности в том, что все значимые признаки в процессе составления матрицы были учтены (в противном случае выпадает слишком много продуктивных вариантов). Кроме того, метод морфологического ящика в постановке Ф. Цвикки включает в себя исключительно морфологический анализ. Процедуры выбора решений из полученного массива в классическом описании метода не разработаны.

Отметим, что метод морфологического ящика применяется на стадии реализации выбранного направления решения проблемы в то время, когда конкретное техническое средство окончательно еще не выбрано. Метод используют также при прогнозировании развития технических систем, в работе экспертов, определяющих новизну технических решений.

2.2.2. Методы ступенчатого подхода к решению задачи

Метод разработал английский ученый А. Фрейзер. Он предложил новый подход к решению сложных проблем, возникающих в технике. По своей сути это метод анализа причин, приведших к нежелательному эффекту. Автор разделяет все задачи на два класса (в его терминологии): а) задачи по защите (работа в рамках существующей системы); б) задачи по разработке (построение новой системы).

Процесс решения задачи состоит из следующих этапов:

1. Определение конечных целей.
2. Выяснение причин, приведших к нежелательному эффекту.
3. Определение признаков.
4. Определение препятствий.
5. Поиск средств для преодоления препятствий.
6. Построение модели задачи.
7. Проверка правильности решения.

Как видно из данного короткого описания, шесть первых этапов – это сбор информации. Современные исследователи отмечают, что метод может быть полезен на стадии постановки и уточнения задачи.

2.2.3. Метод функционального изобретательства

Автор этого метода, основанного на базе анализа развития технических систем, К. Джоунс, разработал и представил его в 1970 г. Метод предназначен для работы в условиях существенного изменения среды функционирования технических систем, иначе говоря, в условиях, когда они уже не могут удовлетворительно выполнять свои функции. В рамках метода предполагается совершать целенаправленный и системный поиск возможных изменений технической системы на основе существующих физических знаний. Интерес при анализе данного метода вызывает и то, что работа практически сразу проходит вокруг основной функции, иными словами, совершается довольно экономно.

Метод включает в себя следующие основные этапы:

1. Определение функций каждого конкретного элемента существующего решения.

2. Определение основной функции, для которой другие являются вспомогательными.

3. Определение любых изменений основной функции, которые могут привести к совершенствованию данной конструкции.

4. Объединение результатов 2-го и 3-го этапов для нахождения новой (измененной) основной функции.

5. Поиск альтернативных решений для деления новой основной функции на вспомогательные и закрепление каждой из них за конкретным элементом конструкции.

2.2.4. Программа проектирования Э.Фанге

Так называемая «Программа проектирования» Э. Фанге состоит из последовательного выполнения шести основных этапов:

1. Определение основного направления.
2. Определение способа оценки результата.
3. Усовершенствование.
4. Поиск оптимального варианта.
5. Окончательное оформление.
6. Доказательство преимуществ нового решения.

Первый этап можно было бы охарактеризовать вопросом: «о чем же идет речь?». На этапе постановки задачи обычно нет полной уверенности в правильности выбранного направления, корректности и необходимости решения задачи. Отсутствие исследований по данной проблеме, даже неточности в формулировке задачи могут иметь очень серьезные последствия.

П р и м е р. На одной из фирм, выпускающих малогабаритные электродвигатели, обнаружили, что упаковка двигателей требует много ручного труда. Поэтому конструкторы задались целью спроектировать и создать автомат для упаковки двигателей в небольшие, но удобные ящики. Когда автомат был готов, решили выяснить отношение заказчиков к новой упаковке. Оказалось, что 90% клиентов являются оптовыми закупщиками, для которых поштучная упаковка товара нежелательна.

Второй этап заключается в определении способа оценки результата. Как правило, оценку полученных результатов многие разработчики склонны оставлять на самый последний момент. Эта процедура предполагает выявление определенных преимуществ

нового объекта в отношении способа его производства, затрат на такое производство или в отношении спроса на рынках сбыта. Однако в производственных условиях трудно выявить большинство из этих преимуществ. Целесообразно поэтому выявить набор критериев, которые можно учесть и на промежуточных этапах работы.

Третий этап предусматривает усовершенствование. На этом этапе можно использовать самые различные методы поиска новых технических решений.

Четвертый этап заключается в поиске оптимального варианта. Э. Фанге посчитал важным выделить в своей «Программе» этот этап в связи с тем, что разработчики проявляют недостаточно внимания к развитию найденных идей, внешнему оформлению решений, удобству обращения с ними.

Пятый этап – окончательное оформление найденного решения в принятых на данном производстве формах. Э. Фанге обращает особое внимание на координацию работ между различными отделами, участвующими в выполнении заданий, а также на подготовку итогового отчета о проделанной работе.

Шестой этап – доказательство преимуществ нового решения. Многие хорошие предложения не используются только из-за неумения авторов обосновать их полезность и эффективность. Вполне можно говорить о том, что появление таких предложений практически наносит ущерб, поскольку оно потребовало определенных затрат труда и иных ресурсов, которые в результате не окупились. Э. Фанге подчеркивает важность процесса доказательства преимуществ нового решения и дает ряд рекомендаций, часть из которых стоит привести.

Так, имеет смысл написать для посторонних краткий, но содержательный отчет. Значение такого отчета и впечатление от него в несколько раз усилятся, если к нему приложить для наглядности опытный образец или макет, отражающий внешнее оформление нового изделия.

Следует заблаговременно предугадать или просто выяснить, какие сомнения или возражения может вызвать данное изобретение. Нужно быть готовым ответить на них еще до высказывания критиками подобных сомнений или возражений.

Непосредственные начальники и другие вышестоящие лица способны задать массу таких вопросов, на которые трудно ответить кратко. Надо поэтому стремиться отвечать сначала на суть

вопроса и лишь после этого приводить доводы и доказательства, а не наоборот.

Защищая свою точку зрения, не следует давать волю чувствам, поскольку любое проявление высокомерия, надменности и раздражения вызывает, как правило, яростное сопротивление, несмотря на очевидность ценности новой идеи. Уважение к мнению оппонентов в немалой степени служит залогом успеха.

Следует постоянно поддерживать тесный контакт с лицом или лицами, непосредственно заинтересованными в данном изобретении, для выяснения их мнений, требований и пожеланий.

Как видно, в своей «Программе» Э. Фанге попытался максимально алгоритмизировать не столько процесс поиска и создания нового изделия, сколько этапы работы, предшествующие творческому этапу и идущие после него.

2.2.5. Метод организующих понятий Ф. Хансена

В 1953 г. Ф. Хансен предложил метод, в рамках которого были определены основные этапы процесса конструирования. По Хансену, процесс разработки нового объекта включает следующие операции:

- определение главной идеи задания, общей для всех решений;
- комбинирование всех привлекаемых элементов с целью получения возможных решений;
- определение недостатков, присущих каждому решению, и поиск возможностей уменьшить их последствия;
- поиск решений с минимальным числом недостатков;
- создание основ для возможной практической реализации.

При этом предлагается использовать эти операции на следующих этапах поиска нового технического решения:

1) предварительное установление основного принципа,

2) поиск решения элементов и комбинирование принципов действия,

3) критика ошибок и улучшение принципов действия,

4) оценка эффективности оптимального (выбранного) принципа действия.

Главную цель каждого задания необходимо сформулировать как можно более абстрактно, чтобы не отсечь изначально возможные решения. Постановка задания включает в себя формулирование общих функций (функции цели), ограничения и информационный массив (фонд используемых элементов). На этапе комбинирования проводят методичный поиск исполнения тех или иных элементов. При этом для каждого элемента отыскивают некоторое «организующее понятие» (как правило, на функциональном уровне), которое затем развивают до уровня конкретной реализации. Оценку сформулированных организующих понятий производят на основе следующего критерия: данное понятие (функция) должно содержаться в каждом возможном решении. По мнению Хансена, тщательная отработка организующего понятия позволяет на ранних стадиях исследования уйти от слабых вариантов, неперспективных направлений работы.

2.2.6. Метод формирования идей

При реализации этого достаточно распространенного метода исследуемый объект всесторонне рассматривается в следующей последовательности:

1) составление полного перечня недостатков, которым обладает рассматриваемое изделие;

2) перечисление всех возможностей улучшения рассматриваемого изделия, без рассмотрения способа практической реализации;

3) выявление иных функций, которые может выполнять рассматриваемое изделие (функций, для которых оно не было первоначально предназначено);

4) изучение возможности:

- изменения отделки, формы, внешнего вида, массы, габаритов рассматриваемого изделия;
- увеличения значений параметров изделия (размер, масса, прочность и т.п.);
- уменьшения значений параметров изделия (размер, масса, прочность и т.п.);

5) изучение изделия-заменителя или внешне похожего изделия;

6) изучение возможности:

- изготовления изделия с использованием имеющихся избыточных ресурсов (отходов);
- реализации прямо противоположного технического решения или применения иного физического принципа действия;
- применения принципиально нового цветового решения, дизайна, упаковки;
- применения конструктивных решений, характерных для предшественника или далекого предка изделия;
- изменения традиционной компоновки изделия;
- замены материала, цвета, формы, способа изготовления деталей изделия;

7) исследование различных комбинаций идей, выдвинутых на предыдущих шагах генерации идей;

8) изучение специальных мер, повышающих эргономичность изделия (повышение быстродействия и производительности, уменьшение энергетических затрат человека вплоть до его полного вытеснения из процесса);

9) изучение мер, повышающих безопасность функционирования изделия.

2.2.7. Метод синтеза изделий Э. Тьялве

Датский ученый Э. Тьялве предложил рассматривать процесс создания изделий как последовательное выявление требуемых свойств (функций), манипулирование с основными свойствами (характеристики) в процессе проектирования, а затем оценку реализованных свойств.

В качестве набора основных свойств или характеристик изделия, выбираемых под конкретную функцию, автор предлагает рассматривать следующие: структура, форма, материал, размеры, поверхность. Основную функцию изделия Э. Тьялве рассматривает как способ, с помощью которого «выходные данные определяют посредством входных данных».

Построение основной функции или системы основных функций – важнейший элемент процесса синтеза, который фиксируется в виде древовидной схемы «функция–средство» (в виде «дерева целей–средств»). При работе по схеме Тьялве важна четкая последовательность и определенность производимых на каждом этапе

действий. Запрещены забегание вперед, чрезмерная детализация и уточнение параметров на ранних стадиях работы.

Важна и выработка системы критериев. «В начальной точке синтеза изделия встречаются два вида выходных данных, вытекающих из анализа проблемы, а именно: с одной стороны, определение требуемой функции (основная функция), а с другой, перечень требуемых свойств, которые могут быть описаны как критерии оптимального изделия. Критерии для оптимального изделия используются на протяжении всего процесса конструирования в качестве руководящих данных и для управления каждым шагом при принятии решений».

Заметим, что в этом методе особо подчеркивается значение формы изделия и составляющих его элементов. Если имеют значение эстетические критерии, то конструкция элементов должна быть приспособлена к общей конструкции. При преобладании технических и экономических критериев преимущество принадлежит конструкции элементов. Важнейшим моментом при конструировании формы элементов изделия является рассмотрение функциональных поверхностей.

На каждом этапе синтеза изделия проводится общая последовательность действий: поиск решений, изучение решений, оценка, выбор решений для дальнейшей работы.

Поиск решений рекомендуется производить с помощью интуитивной или системной генерации идей, причем цель поиска на каждом этапе «состоит в исследовании области, образуемой множеством теоретически возможных решений».

Важным в методе Тьялве является утверждение о снижении интуитивности (при переходе от этапа к этапу) и о необходимости учета на последних этапах большого числа взаимно взвешенных критериев. Критериям оценки придают то же значение, что и генерируемым идеям: «окончательный результат (изделие) зависит от двух фундаментально различных факторов: во-первых, от генерируемых идей и, во-вторых, от критериев, с помощью которых решается вопрос, какие идеи должны быть выбраны».

С целью повышения эффективности данного метода рекомендуется применять систематический перебор вариантов. Полные и обозримые перечни можно составить лишь в том случае, когда число элементов невелико, и в этом плане в качестве основы для построения предлагается выбирать наиболее важные элементы (порядка двух–трех).

2.3. Методы логического поиска

2.3.1. Метод Р.Л. Бартини

В 1930-е годы советский авиаконструктор Р.Л. Бартини предложил метод, ставший впоследствии логическим предшественником широко распространенных алгоритмических методов. Базовыми в этом методе явились понятия «функциональная модель разрабатываемой технической системы» и «диалектическое разрешение противоречий».

Р.Л. Бартини рекомендовал начинать процесс проектирования с мысленного представления себе, *что же требуется* при отсутствии ограничений по конструкторским материалам и энергии. Снятие ограничений, по мнению Бартини, означает, что разработчик должен представить себе наличие материалов с любыми требуемыми свойствами, наличие любого вида энергии в любом количестве в требуемой точке пространства.

Задача разработчика в данном случае – понять, что же является истинной целью существования технической системы и каковы ее функции. Данная модель имеет большую эвристическую ценность. Бартини указывал, что лучший агрегат самолета – это такой агрегат, который во время полета остается в ангаре, а функции его выполняются. После уточнения целей и требуемых функций необходимо понять, что же мешает их осуществить в первоначальном виде. Бартини пишет об этом так: «При решении поставленной задачи необходимо установить сколь возможно компактную фактор-группу сильной связи, определить факторы, которые играют решающую роль в рассматриваемом вопросе, отделив все второстепенные элементы. После этого надо сформулировать наиболее контрастное противоречие «ИЛИ-ИЛИ», противоположность, исключающую решение задачи... Решение задачи надо искать в логической композиции тождества противоположностей».

В настоящее время подход, предложенный Р. Бартини, реализован в применяемых методах, в частности, объединенных под общим названием в отечественной разработке – теория решения изобретательских задач (ТРИЗ). Одна из основных ее разновидностей – алгоритм решения инженерных задач (АРИЗ).

2.3.2. Алгоритм решения инженерных задач

Алгоритм решения инженерных задач (АРИЗ) разрабатывался с конца 50-х годов группой исследователей под руководством Г.С. Альтшуллера. Предложена система правил (алгоритм), последовательное выполнение которых позволяет найти решение поставленной задачи. Как отмечалось выше, при решении технических задач часто выявляются противоречия, имеющие физическую природу. В АРИЗ используется алгоритм по выявлению или уточнению, а также устранению таких противоречий. При этом используются четыре следующих механизма:

1) формирование идеального (воображаемого) решения, удовлетворяющего всем требованиям (не задумываясь о том, как оно будет реализовано);

2) выявление технического противоречия, т.е. того, что мешает осуществить задуманное;

3) переход от технического противоречия к физическому (выявление физического явления, мешающего достижению желаемого результата);

4) устранение физического противоречия.

Примером одной из первых модификаций метода является разработанный Г.С. Альтшуллером алгоритм решения творческих задач, предусматривающий следующие действия.

1. Уточнение задачи.

1.1. Определить конечную цель.

1.2. Проверить, можно ли достичь той же цели «в обход», решением другой задачи.

1.3. Определить, решение какой задачи (первоначальная или «обходная») может дать больший эффект.

1.4. Определить требуемые числа показателей (скорость, габариты, точность, производительность, быстродействие и т.п.).

1.5. Уточнить требования, названные конкретными условиями.

2. Аналитическая стадия.

2.1. Что желательно получить в самом идеальном случае?

2.2. Определить, что мешает реализации (получению) идеального конечного результата.

2.3. Почему мешает?

2.4. Определить, при каких условиях исчезает помеха.

3. Оперативная стадия.

3.1. Проверить возможность устранения технического противоречия, изменяя данные объекта (решить задачу типовым приемом).

3.1.1. Количественные изменения.

3.1.2. Изменения условий работы объекта.

3.1.3. Разделение.

3.1.4. Соединение.

3.1.5. Компенсация.

3.1.6. Наоборот.

3.1.7. Динамизация.

3.2. Проверить изменение среды или других объектов.

3.3. Перенести решение из других областей техники.

3.4. Применить обратные решения.

3.5. Использовать «прообразы» природы.

4. Синтетическая стадия.

4.1. Определить, как данные объекты изменены после изменения одной части, а затем другой части объекта.

4.2. Определить, как данные объекты работают вместе с другими. Проверить, может ли измененный объект быть применен по-новому.

4.4. Использовать найденную техническую идею (или идею обратную найденной) при решении других технических задач.

2.3.3. Метод анализа функций технической системы

Исходные положения метода анализа функций технической системы разработаны А.И. Половинкиным и группой его учеников и сотрудников. Метод позволяет на основе сформулированных целей и функций исследуемой ТС, а также известных физических эффектов, используемых для достижения результата при функционировании системы, выявить необходимые структурные элементы и определить связи между ними. Авторы метода утверждают, что «каждый элемент технического объекта (ТО) или его конструктивный признак имеют хотя бы одну функцию по обеспечению реализации функции ТО, т.е. исключение элемента или признака приводит к ухудшению какого-либо показателя ТО или прекращению выполнения им своей функции. Соответствие всех та-

ких соответствий в ТО представляет собой функциональную структуру».

Построение структуры ТС в рассматриваемом методе полностью основывается на упомянутом выше соответствии между функцией и структурой ТС. В структуре технически грамотно спроектированной системы каждый элемент – от сложных узлов до простых деталей (и каждый конструктивный признак) – имеет вполне определенную функцию по обеспечению функционирования всей ТС в целом (иными словами, нет «лишних» узлов и деталей).

В основу анализа функций ТС и построения на этой основе ее структуры положен принцип выделения и рассмотрения структуры *с двухуровневой иерархией*: любую ТС можно разделить на несколько элементов, каждый из которых имеет вполне определенную функцию (возможно, и несколько функций). При этом каждый выделенный элемент можно рассматривать как самостоятельную ТС, которую также можно разделить на несколько функциональных элементов, и т.д. Глубина такого разделения будет определяться характером решаемой задачи, но в любом случае существует *предельное деление* ТС, т.е. разделение возможно только до неделимых в функциональном смысле элементов.

Неделимым в функциональном смысле принято называть элемент с минимальным числом функций (не менее одной) по обеспечению функционирования других элементов, относящихся к более высокому уровню иерархии, при любом делении которого появляются элементы, не обладающие самостоятельной функцией (или ряд элементов с одинаковыми функциями).

В результате получаемая таким образом структура будет представлять собой ориентированный граф, вершинами которого явятся выделенные элементы, а ребрами – связи (функции) между этими элементами – функциональные связи. Ребра выходят из вершин, соответствующих элементам, обеспечивающим функционирование элементов, описываемых вершинами, в которые они входят.

Можно дополнить этот ориентированный граф со строго вертикальными связями дополнительными связями, ставящими в соответствие выполнение функций элементов, находящихся на одной ветви графа, выполнению функции элементов, находящихся в другой ветви графа. Такой дополненный горизонтальными связя-

ми граф называют *графом функциональной взаимосвязи*. Дополнив граф рядом конструктивных признаков, можно получить И-ИЛИ-дерево, описывающее ряд вариантов структуры ТС.

Применяется следующая последовательность формирования структуры ТС методом анализа функций.

1. Составляется перечень функций проектируемой ТС (на основе логического анализа возможности выполнения главной функции или анализа функций известных ТС аналогичного назначения). При этом необходимо принимать во внимание два условия:

- четкость формулировки функции, недопустимость ее расширенной, неоднозначной трактовки;
- объединение однотипных функций по группам: «вспомогательные», «подготовительные», «исполнительные», «сервисные» и т.п.

2. Устанавливается зависимость выполнимости одних функций от выполнения других и определяются иерархические уровни проектируемой ТС (в виде двухуровневых парных связей). Таким образом формируется граф функций проектируемой ТС.

3. В полученном графе функций ТС, обладающем строго вертикальной иерархией, устанавливаются дополнительные горизонтальные связи между функциями, показывающие взаимозависимость выполнения функций, принадлежащих к различным ветвям графа.

4. Каждой функции из полученного графа функциональных взаимосвязей ставится в соответствие некоторый элемент, обеспечивающий реализацию этой функции. Для этого выбирается *физический принцип действия* (ФПД) элемента и задается набор признаков, показывающий возможности конструктивного исполнения.

Признаки конструктивного исполнения должны включаться в структуру в следующей последовательности:

- тип связи с другими элементами (положительная, отрицательная, информационная и т.п.);
- взаимное расположение в пространстве по отношению к другим элементам;
- материал элемента;
- геометрические характеристики элемента;
- массовые характеристики элемента;
- соотношения между характеристиками элемента.

2.4. Проблемно-ориентируемые методы

2.4.1. Фундаментальный метод проектирования Э. Мэтчетта

Основная цель метода, разработанного английским ученым Э. Мэтчеттом, – научить проектировщика понимать и контролировать свой образ мыслей и более точно соотносить его со всеми аспектами проектной ситуации. Для этого используют следующие приемы:

- применение «режимов мышления» (мышление стратегическими схемами, в параллельных плоскостях, с нескольких точек зрения, «образами», в основных элементах);
- разработка языка, дающего возможность «мыслить о мышлении»;
- подавление критических способностей для выявления творческой фантазии;
- самоконтроль и самонастройка на отдельных этапах процесса проектирования.

Делая основной упор на личный опыт, интуицию и мыслительные способности проектировщика, фундаментальный метод проектирования не предусматривает проведение научных исследований и испытаний для уменьшения неопределенности, но широко применяет информационный поиск. Выделяют следующие стадии метода:

1) проектирование (выявление и разрешение конфликтов в многомерных ситуациях) идет с учетом закономерностей исторического развития технологии, что позволяет получать прогрессивные идеи и конструкции умозрительным способом;

2) в ходе обучения методу практикуют подробное ознакомление с другими, более практичными и простыми методами проектирования.

Большое внимание уделяется также элементам рационального мышления (контрольные перечни вопросов, графическая интерпретация процесса поиска и мышления и др.). Э. Мэтчетт считает очень важным умение видеть процесс решения задачи как бы со стороны. При этом появляется возможность своевременно корректировать стратегию поиска. Основной педагогический принцип заключается в том, чтобы начинать с методов, которые уже освоены учащимися, не навязывая им совершенно новый, в который

они, возможно, никогда не поверят и от которого откажутся при первых же затруднениях.

2.4.2. Проблемно-ориентируемый метод проектирования

В 1983 г. отечественный ученый А.В. Кудрявцев предложил проблемно-ориентируемый метод решения поисковых задач. В результате анализа методов поиска было выяснено, что система решения задач, основывающаяся на выборе наиболее подходящего в каждом конкретном случае метода, в настоящее время не может считаться оптимальной по ряду причин. К важнейшим из них относятся большая трудоемкость изучения разнообразных методов, инерционность в работе, сложность перехода от одного метода к другому, сложность в подключении всех решающих задачу к интенсивной работе в силу различных психологических установок и навыков.

Все это определило необходимость перехода на новый принцип руководства поисковой деятельностью. Особенностью метода А.В. Кудрявцева является синтез поисковых процедур исходя из особенностей конкретной задачи и возможностей решающих ее лиц.

Процесс решения проблемы характеризуется в этом методе двумя основными принципами:

1) объект анализа не остается постоянным в течение всего процесса решения;

2) при работе с одним и тем же объектом цели исследования все время меняются.

Следовательно, процесс решения проблемы в общем случае состоит из большого числа разнообразных этапов, различающихся как по объектам, так и по целям их обработки. Отсюда можно сделать вывод о том, что для оптимальной деятельности на каждом этапе работы она должна быть разделена на столь же мелкие элементы, оптимально подходящие к каждому этапу.

Метод дал возможность организовать систему логических операторов, а также разработать правила, позволяющие формировать из них разнообразные процедуры. Система базируется на операторах, привлеченных из различных методов поиска новых технических решений, а также на специально разработанных опе-

раторах. Область использования каждого оператора однозначно определяется двумя характеристиками: объектами исследования и целью их исследования. Это позволило создать матрицу, в которой размещены все операторы поисковой деятельности.

Матрица организована следующим образом: в вертикальном ряду размещены виды объектов, с которыми приходится иметь дело в поисковой деятельности, а в горизонтальном – виды деятельности при исследовании и решении задач.

При формировании шкалы видов деятельности за основу взята система принципов диалектического метода исследования (отражение, активность, всесторонность, единство индукции и дедукции, детерминизм, взаимосвязь количественных и качественных характеристик, историзм, противоречие, диалектическое отрицание, восхождение от абстрактного к конкретному, единство логического и исторического, единство анализа и синтеза). Система операторов, сформированная подобным образом, обладает, кроме методической, еще и методологической функцией, т.е. позволяет прогнозировать появление новых операторов, формируя их описания.

3. ПСИХОЛОГИЯ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ

3.1. Некоторые психологические особенности решения инженерных поисковых задач

Нет нетворческой работы, есть нетворческие люди.

И.Н. Пац

Поиск новых технических решений – творческая работа, которая требует предельной концентрации внимания и мобилизации всех способностей изобретателя. Основной инструмент, решающий творческие задачи, – головной мозг с его развитым ассоциативным мышлением и сложной организацией процесса систематизации и обработки исходной информации. Незнание психологических особенностей процесса мышления приводит к значительному снижению эффективности инженерного труда и невозможности эффективно использовать имеющиеся внутренние ресурсы человека.

Основа творчества в инженерной сфере (и не только) – это способность человека запоминать в виде образов огромный объем информации, а затем, в нужный момент, быстро найти ее.

Исследователи установили, что человеческая память может быть условно разделена на оперативную и долговременную.

Оперативная память содержит в основном информацию, к которой человек обращается очень часто или которая является частью его ежедневной профессиональной деятельности. Эта информация может достаточно длительно находиться в зоне оперативного доступа даже тогда, когда она не используется, а только активизируется в момент ее пополнения и уточнения (например, при чтении научных и научно-популярных статей).

Долговременная память содержит массивы информации, получаемые человеком на протяжении всей жизни. Некоторые исследователи утверждают, что вся информация, поступающая к человеку через все органы чувств, запоминается и хранится постоянно. Однако для доступа к этой базовой информации необходимы определенные условия, которые запустят алгоритм ассоциативного поиска и помогут «вспомнить» конкретную ситуацию, предмет и т.п.

Основное различие двух видов памяти заключается в относительно малом объеме и большой скорости доступа в оперативной и огромном объеме и малой скорости доступа в долговременной.

Объективно установлено, что эффективность решения творческих инженерных задач зависит от нескольких факторов. К ним относятся:

- психофизиологическое состояние человека-решателя;
- степень мотивации решения конкретной задачи;
- умение снять психологическую инерцию мышления;
- возможности и навыки решать параллельно несколько задач;
- общеинженерный кругозор и техническая эрудиция в предметных областях, смежных с областью профессиональной деятельности;
- степень практического владения формальными методами поиска новых технических решений.

Количество одновременно контролируемых параметров, идей является величиной ограниченной и зависит от возможностей конкретного человека. Для среднего инженера количество одновре-

менно решаемых разнородных задач не превышает 2–3, в лучшем случае – до 4.

Психологическое состояние человека при решении творческих инженерных задач очень сильно влияет на эффективность полученных результатов. Доказано, что наилучшие результаты получаются в основном при решении изобретательской задачи (в случае возникновения изобретательской ситуации).

Признаками изобретательской ситуации являются:

- нечеткость и неопределенность исходной постановки задачи;
- возникновение явно выраженного технического противоречия при решении задачи типовым способом (ситуация, описываемая пословицей «нос вылез – хвост увяз»);
- невозможность решения задачи в рамках традиционных методов, типовым способом, характерным для данной предметной области.

Следует иметь в виду, что попытка решения изобретательской задачи неизбежно требует мобилизации всех резервов и возможностей инженера. Только в этом случае включаются механизмы творческого мышления и получаются сильные технические решения.

В психологии объективно доказано, что генерация новой творческой идеи происходит в несколько этапов:

1. *Беспокойство и осознание задачи.* Возникшая задача обязательно должна быть решена, но сходу просто не решается. На этом этапе важна мотивация человека-решателя. Если такой мотивации нет, задача решена не будет.

2. *Подготовка.* Рассматриваются все возможные решения из ближней области или их комбинации, которые могут дать положительный результат. Если не получается, значит, необходимо еще более детально ознакомиться с условиями задачи и возникшими противоречиями. На этапе подготовки очень полезно посмотреть литературу, посвященную проблеме, познакомиться с патентным фондом.

3. *Вынашивание идеи.* На этом этапе вся необходимая информация для выработки решения имеется, но выбрать окончательный вариант не удается, время поджимает, необходимо переходить к решению следующей задачи. В этот момент происходит переход на подсознательный уровень, мозг самостоятельно «крутит» раз-

личные варианты, в том числе ранее забытые. Главное в этом случае – не мешать.

Существуют два принципиально противоположных метода активизации работы мозга на подсознательном уровне:

- «метод Менделеева». Человек-решатель полностью расслабляется, занимается обычными бытовыми проблемами, не думает о проблеме. Мозг полностью освобожден для решения задачи. Решение приходит зачастую во сне;
- «метод Павлова». Человек-решатель выполняет сложную физическую работу, требующую достаточной концентрации внимания и координации движений. Учитывая, что мозг существенно занят решением поставленной задачи, такая дополнительная нагрузка требует подключения дополнительных резервов, часть из которых используется и для решения творческой задачи. Как правило, чем сложнее физическая деятельность и двигательная активность, тем эффективней решается задача. Решение приходит после снятия физической нагрузки или в ходе расслабления и отдыха.

4. *Озарение.* Решение поставленной задачи возникает при переключении внимания на решение других задач или в момент отдыха, сна, после выполнения физической нагрузки.

5. *Проверка.* Выявленное решение подвергается проверке на соответствие условиям задачи. Можно провести эксперимент или использовать внешних экспертов. Проверка – наиболее трудоемкий и ответственный процесс.

Стоит остановиться также на причинах психологической инерции, которая нами уже упоминалась как один из факторов, затрудняющих поиск новых технических решений:

- отсутствие психологической гибкости – прочная ассоциация предмета с его назначением и функцией, ассоциация назначения с функцией;
- сила привычки – установившийся, типовой способ решения проблемы, вновь возникшая проблема решается старым способом;
- узкопрактический подход к решению задачи – поспешный переход к решению частных задач без анализа задачи в целом, отсюда – возможная потеря сильных решений из-за спешки;
- чрезмерная специализация человека-решателя – ограниченность кругозора и технической эрудиции, попытка решить за-

дачу с использованием хорошо знакомых средств, без перехода в смежные области знаний;

- психологическое влияние авторитетов – подавление инициативы признанными лидерами в решении задач аналогичного класса;
- боязнь критики со стороны окружающих – часто встречающееся явление, поскольку с позиции обычной логики любое предлагаемое решение, как правило, является трудно выполнимым или невозможным, а это может порождать боязнь критики и отказ от высказывания новых продуктивных идей.

Можно также отдельно выделить и административные причины, вызывающие психологическую инерцию:

- стремление к немедленному внедрению высказанных идей – инициатива снизу наказуема предписанием исполнения сверху;
- недоверие к нетривиальному решению;
- стремление вышестоящих руководителей самостоятельно возглавлять процесс (выдача «ценных указаний»);
- стремление не принимать административных решений, уход от ответственности за принятое решение, низкие деловые качества руководителя (связанные обычно с достижением предела компетентности – так называемый «принцип Лоренса Питера»);
- отсутствие у фирмы идеологии и стратегических целей, частая смена курса развития;
- разногласия руководителей по вопросам текущей тактики фирмы;
- отрицательные результаты предшествовавших экспериментов;
- отсутствие контакта между персоналом и руководителем;
- отсутствие мотивации персонала.

Применительно к группе административных причин низкой эффективности творческой деятельности целесообразно рассмотреть элементы теории элитных групп, поскольку формирование, становление, развитие и, возможно, упадок таких групп в значительной степени определяют результативность работы коллектива.

Элита (иначе – *элитная группа*) – термин, означающий совокупность элементов, в чем-то лучших, чем остальные рассматриваемые.

Коллектив – группа людей, объединенная общей целью, достижение которой зависит от каждого из членов группы.

Таким образом, любой коллектив может рассматриваться как элитная группа, т.е. группа людей, отличающихся от окружающих уже хотя бы тем, что они принадлежат к этому коллективу.

3.2. Элементы теории элитных групп

В математике известны модели поведения элитных групп, в конце 80-х годов разработанные А. Ефимовым и В. Кутеевым. Результаты исследования этих моделей были опубликованы в специальных, а затем и в научно-популярных журналах, применены на практике при планировании испытаний радиоэлектронной аппаратуры (при отборе узлов для наиболее ответственных технических устройств). Модели демонстрировали, что отобранная при помощи некоторого эталона элита, предоставленная естественному ходу вещей, могла, в зависимости от правил, по которым заменялись выбывающие из нее элементы, идти разными путями. В одних случаях она продолжала оставаться группой лучших, а в других могла деградировать, растворяясь в общей массе, а то и превращаясь в «антиэлиту», вбирая в себя элементы, по качеству противоположные исходному эталону.

Кстати, чисто математические аналогии нашли свое подтверждение и в конкретных исторических фактах. Так, святой Франциск Ассизский основал нищенствующий монашеский орден францисканцев, отбирая подобных себе аскетов-подвижников, чтобы вести работу по поддержанию веры среди беднейших слоев населения. Но после его смерти орден францисканцев, оставив идею нищенствования, превратился в банкира католической церкви.

Эти математические подходы позднее были использованы представителями ленинградской школы ТРИЗ для прогнозирования динамики состояния отдельных творческих коллективов. Рассмотрим конкретные модели элитных групп применительно к перспективам развития человеческих коллективов, в том числе инженерно-технических и научных.

Модель первая – «претендент–рекомендатель». Рассматривается ситуация, когда из множества объектов (генеральной сово-

купности) приходится выделять группу с улучшенными в каком-то смысле свойствами (иначе говоря, повышенной полезности). Будем сравнивать этот «полезный параметр» наугад выбранного объекта (его прочность, производительность, продуктивность творческого мышления и т.д.) с некоторым заданным порогом, и если данное свойство объекта окажется не меньше этого порога, считать объект «элитным» и включать в формируемую элитную группу. Измеритель этого порога является эталоном, который есть объект внешний по отношению и к исходной совокупности, и к формируемой группе. Он привносится извне и вообще может иметь иную природу, чем сортируемые объекты. Оперируя эталоном и найдя в исходной совокупности нужное число элементов, не худших, чем эталон, мы тем самым сформируем элитную группу.

Такая схема формирования идеальна; при сравнении с эталоном вполне возможны ошибки, поэтому в результате в элитной группе может оказаться и небольшое число элементов неэлитных, иначе говоря, «сорных». И с долей таких «сорных» элементов и без нее элитная группа сформирована и может начать работать.

Необходимо учесть, что в процессе работы группы обычно возникает необходимость ее пополнения, поскольку некоторые элементы выбывают (израсходовав ресурс, потеряв свои качества, погибнув в физическом смысле и т.д.). При этом следует учесть важное условие: к помощи ранее использованного эталона прибегнуть уже нельзя. Это в особенности касается социальных элитных групп, поскольку к моменту, когда необходимо произвести сравнение, эталон уже отсутствует (в приведенной исторической аналогии с орденом францисканцев Франциск Ассизский, сформировавший орден, после смерти причислен к лику святых). Эталон был доступен только на этапе формирования группы.

На практике эта проблема обычно решается простым способом. Поскольку вся элитная группа в свое время прошла проверку эталоном, можно наугад выбрать элитный элемент, назвав его «рекомендатель», и так же наугад сравнить его с элементом из исходной совокупности («претендент»). Если претендент окажется не хуже рекомендателя, он включается в элиту.

Необходимо учесть, что элементы элитной группы неизбежно стареют (если мы говорим о членах коллектива, то и в чисто человеческом смысле), параметры их меняются, некоторые будут из группы выбывать. Целесообразно в данном случае исследовать два

режима выбывания элементов: когда первыми выбывают худшие и когда лучшие. Момент выбытия очередного элемента можно считать этапом, или шагом, в развитии элитной группы.

Если лучший элемент будет существовать в группе дольше, чем «сорный» (проявляется положительная обратная связь), то на первых же шагах «вымирает» часть «сорных», попавших в элиту в результате ошибочного применения эталона, и возрастает доля элитных. Дальнейшие шаги делают группу все более элитной.

Если же лучшие выбывают первыми (действует отрицательная обратная связь), то уже начальный шаг уносит самых лучших («сверхэлиту») и процесс пополнения идет без нее: они рекомендателями быть уже не смогли, а остальные, в том числе «сорные», послужат основой для отбора претендентов. Результат каждого шага, каждого пополнения, выполняемого по описанному нами правилу, приводит к постепенному увеличению в группе числа «сорных» элементов.

К сожалению, в социальных группах по большей части функционирует второй механизм. Можно сказать, что социальная элитная группа при длительном восполнении своего состава по модели «претендент–рекомендатель» в конечном итоге деградирует. Причем постепенно происходит ухудшение ее состава до такого уровня, когда «сорные» элементы встречаются в элитной группе даже чаще, чем в генеральной совокупности. А затем состав элитной группы выравнивается с генеральной совокупностью – механизм отбора формально продолжает действовать, но ничего в соотношении «хороших» и «плохих» работников не изменяется.

В жизни реальное взаимодействие претендента и рекомендателя гораздо сложнее, чем в описанной модели, достаточно упрощенной, где необходимо, чтобы некий механизм сравнения зафиксировал, что претендент «не хуже». В жизни рекомендатель – это чаще всего руководитель, видящий в претенденте либо преемника, либо будущего сотрудника. Тут, кроме таких факторов, как личная симпатия, преданность и т.д., важен и диапазон чисто профессиональных свойств, из которого рекомендатель готов избрать претендента. И часто этот диапазон можно определить как «не хуже, но и не намного лучше», а еще вернее: «пусть и чуть хуже, лишь бы не намного лучше». В модели с таким правилом приема в элитную группу группа неудержимо деградирует.

Модель вторая – «прополка». Формирование элитной группы в данной модели рассматривается как результат целенаправленной деятельности некоего экспериментатора над двумя множествами: генеральной совокупностью и группой элементов, которой требуется придать свойства элиты. Экспериментатору – селекционеру, руководителю, тренеру – при этом может быть доступен либо лишь один из этих объектов, либо оба.

Можно сформировать и поддерживать в необходимом состоянии элитную группу и в случае, когда экспериментатор распоряжается лишь судьбой элементов, находящихся в группе, и в случае, когда в его силах лишь решать, какие из элементов исходной совокупности следует включать в эту группу.

Представим себе, что, имея группу из заданного числа элементов, мы желаем придать ей элитные свойства. При этом мы вправе на каждом шаге жизни модели исключить из группы несколько определенных элементов и заменить их тем же числом наугад взятых из исходной совокупности. Такую операцию в теории принято называть «прополкой». Важно, что для осуществления «прополки» не обязательно знать значение полезного параметра элемента, можно обойтись лишь местом, которое он занимает в упорядоченном по полезности списке группы (иначе говоря, его рангом).

Если в процессе «прополки» удалять на каждом шаге «худшие» элементы, элитная группа будет повышать свою суммарную полезность, прогрессировать, превращаться в суперэлиту. В противном же случае она будет деградировать и, даже будучи элитной, растеряет свои свойства. При этом «прополка» тем эффективнее, чем меньше элементов удаляется на каждом шаге и чем ниже их ранг: изгнать одного наихудшего оказывается выгоднее, нежели вместе с ним всю нижнюю половину списка.

В чистом виде описанная модель встречается в спорте, но вполне может служить основой кадровой политики в любой организации. Когда во главе научного или инженерного коллектива появляется руководитель, деловые качества и авторитет которого достаточны для независимости в кадровых вопросах (например, руководители класса А.Ф.Иоффе, А.Н.Туполева, С.П.Королева), то происходит расцвет блестящих коллективов, решающих задачи, определяющие судьбу страны.

Анализ двух приведенных моделей показывает, что главным условием, обеспечивающим высокую эффективность элитных

групп, является создание механизма, успешно удаляющего из группы худшие элементы. Если подобная «прополка» производится по «правильному» параметру полезности, успех вполне достижим.

Модель третья – процедура делегирования. В модели «прополка» имелась возможность распоряжаться судьбой элементов, уже находящихся в группе: для достижения цели – повышения полезности группы – можно было изгнать тех, кого считали нужным.

Возможна и противоположная ситуация: выбывание элемента на каждом шаге происходит случайным образом (помимо воли руководителя-экспериментатора), а управлять можно лишь выбором элемента из исходной совокупности кандидатов на включение в группу. В основу третьей модели положена идея делегирования, что означает, что процедура пополнения организуется вне группы – в исходной генеральной совокупности.

В генеральной совокупности выбираются нескольку элементов, их ранжируют и лучшего (лучших) включают, делегируют, в элитную группу. Через определенное число шагов группа станет состоять только из таких «делегатов» и при достаточно длинных «делегирующих цепочках» сохранять элитные свойства при любом режиме выбывания. Принципиальное отличие «делегирования» от схемы «претендент–рекомендатель» заключается в отказе от сравнения включаемого элемента с уже пребывающим в группе. Теория показывает, что этот способ предохраняет элиту от деградации. Предельная полезность элитной группы, сформированной и функционирующей благодаря делегированию, выше, чем у групп, полученных путем «прополки».

Учитывая три приведенные модели пополнения элитных групп (иными словами, формирования и поддержания на должном уровне инженерно-технических и научных коллективов), можно добиться того, что административные причины, сдерживающие творческую активность и, соответственно, эффективность инженерного творчества, будут устранены или, по крайней мере, их влияние будет существенным образом снижено.

Библиографический список

1. *Автоматизация* поискового конструирования / Под ред. А.И. Половинкина. М.: Радио и связь, 1981.
2. *Альтшуллер Г.С.* Алгоритм изобретения. М.: Московский рабочий, 1973.
3. *Альтшуллер Г.С.* Найти идею. Введение в ТРИЗ – теорию решения изобретательских задач. М.: Альпина Бизнес Букс, 2007.
4. *Ефимов А.Н.* Элитные группы, их возникновение и эволюция // Знание – сила. 1988. №1. С. 56 – 64.
5. *Золотин Б.Л.*, Зусман А.В. Законы развития и прогнозирования технических систем. Кишинев: Прогресс, 1989.
6. *Крик Э.* Введение в инженерное дело. М.: Энергия, 1970.
7. *Кудрявцев А.В.* Обзор методов создания новых технических решений. М.: ВНИИПИ, 1988.
8. *Методы* поиска новых технических решений. Йошкар-Ола: Изд-во МарПИ, 1976.
9. *Моляко В.А.* Психология конструкторской деятельности. М.: Машиностроение, 1983.
10. *Одрин В.М.*, Картавов С.С. Морфологический анализ систем. Киев: Наукова думка, 1977.
11. *Пойа Д.* Как решать задачу. М.: Учпедгиз, 1961.
12. *Половинкин А.И.* Основы инженерного творчества: учебное пособие. 3-е издание. СПб.: Лань, 2007.
13. *Тринг М.*, Лейтуэйт Э. Как изобретать? М.: Мир, 1980.
14. *Тьялве Э.* Краткий курс промышленного дизайна. М.: Машиностроение, 1984.
15. *Ханзен Ф.* Основы общей методики конструирования: пер. с нем. Л.: Машиностроение, 1966.
16. *Эйлоарт Т.* Приемы настройки творческого инженерного коллектива // Изобретатель и рационализатор. 1970. № 5.
17. *Ясухисо Х.* Идея и разработка товаров широкого потребления. М.: Искра, 1983.
18. *Fangue E.* Professional Creative Work. Prentis-Holl. 1959.
19. *Hefele J.W.* Creative Work and Innovating. New-York, Reinhold Publication K°, 1962.
20. *Osborn A.F.* Applied imagination. New-York, Sckibner's Sons, 1953.
21. *Whiting Ch.S.* Creative thinking. New-York, Reinhold, 1958.
22. *Zwicky F.* The morphological approach to discovery invention research and construction. Berlin, Springer, 1967.

Электронные ресурсы

1. http://www.serendip.narod.ru/voir/metod/obzor/obzor.htm. Обзор методов создания новых технических решений.
2. http://www.inventech.ru/. Центр креативных технологий.
3. http://trizmag.mgn.ru/. Технология изобретательства.
4. http://www.altshuller.ru/. Официальный фонд Г.С. Альтшуллера.
5. http://triz.natm.ru/. ТРИЗ Интернет – школа.

О Г Л А В Л Е Н И Е

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ... 3
1.1. Основные понятия и определения ... 3
1.2. Основные методы формирования структуры технических систем ... 5
1.3. Законы развития технических систем ... 7
2. ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ... 10
2.1. Методы случайного поиска ... 10
2.1.1. Метод мозгового штурма ... 10
2.1.2. Метод записной книжки ... 20
2.1.3. Метод фокальных объектов ... 21
2.1.4. Метод гирлянд ассоциаций и метафор ... 23
2.1.5. Метод «Система КАРУС» ... 25
2.1.6. Перечень рекомендаций Э. Крика ... 29
2.1.7. Правила М. Тринга и Э. Лейтуэйта ... 31
2.1.8. Список контрольных вопросов А.Осборна ... 32
2.1.9. Перечень рекомендаций и вопросов Т. Эйлоарта ... 33
2.1.10. Перечень советов и вопросов Д. Пойа ... 35
2.1.11. Метод синектики ... 37
2.1.12. Интегральный метод «Метра» ... 38
2.1.13. О постановке новых целей ... 39
2.2. Методы функционально-структурного исследования объектов ... 41
2.2.1. Метод морфологического ящика ... 41
2.2.2. Методы ступенчатого подхода к решению задачи ... 44
2.2.3. Метод функционального изобретательства ... 44
2.2.4. Программа проектирования Э.Фанге ... 45
2.2.5. Метод организующих понятий Ф. Хансена ... 47
2.2.6. Метод формирования идей ... 48
2.2.7. Метод синтеза изделий Э. Тьялве ... 49
2.3. Методы логического поиска ... 51
2.3.1. Метод Р.Л. Бартини ... 51
2.3.2. Алгоритм решения инженерных задач ... 52
2.3.3. Метод анализа функций технической системы ... 53
2.4. Проблемно-ориентируемые методы ... 56
2.4.1. Фундаментальный метод проектирования Э. Мэтчетта ... 56
2.4.2. Проблемно-ориентируемый метод проектирования ... 57
3. ПСИХОЛОГИЯ ПОИСКА НОВЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ... 58
3.1. Некоторые психологические особенности решения инженерных поисковых задач ... 58
3.2. Элементы теории элитных групп ... 63
Библиографический список ... 68