

Г.С. Альтшуллер, Б.Л. Злотин, А.В. Зусман, В.И. Филатов
«Поиск новых идей: от озарения к технологии». Кишинев, Картая Молдовеняскэ,
1989г.

Межотраслевого научно–технического центра «Прогресс», лауреат премии
ЛКСММ в области науки и техники *B.N. Просяник*
Редактор *B. Фрунзе*

Проблема повышения эффективности общественного производства – важнейшая задача нашего общества, решение которой возможно лишь при условии активизации творческой деятельности каждого из нас. В настоящей книге рассказывается, как можно подойти к этой проблеме с позиций созданной в нашей стране теории решения изобретательских задач (ТРИЗ). Речь пойдет об изобретательстве, но мы не ограничиваемся традиционной областью его приложения – техникой, а также юридическим понятием изобретения.

Этимологический словарь утверждает, что термин «изобретение» происходит от древнерусского слова «обретение», и толкует его как создание чего-то нового, прежде неизвестного, в любой области человеческой деятельности: в технике, науке, искусстве, медицине, организации труда, общества и т. п. Из этого общечеловеческого понятия изобретения мы и будем исходить, тем более что принципы поиска нового в разных областях весьма близки.

В этой книге сделаны попытки раскрыть основное содержание ТРИЗ, рассказать о ее сегодняшних возможностях, показать ее перспективы развития и место в процессе перестройки нашего общества. Помимо теоретических положений ТРИЗ большое внимание уделено ее практическому использованию, в том числе и в рамках функционально-стоимостного анализа (ФСА) – современного эффективного метода совершенствования продукции. Все приведенные рекомендации основаны на большом практическом опыте работы авторов и их коллег в области, применения ТРИЗ, обучения методологии изобретательства, внедрения полученных решений и т. п., проиллюстрированы, примерами из практики.

Благодаря охвату большого количества материала книга может служить пособием для специалистов, проходящих обучение по ТРИЗ, а также для тех, кто захочет овладеть ТРИЗ самостоятельно. Она будет полезна всем, кто разрабатывает или совершенствует новую технику, встречается в своей деятельности с творческими задачами, стремится к увеличению доли творчества в своей работе.

Авторы благодарят коллег, специалистов по ТРИЗ и ФСА, чьи советы и конкретная помощь сделали возможным появление этой книги: В.М. Герасимова, совместно с которым был проведен ФСА мясорубки; В.В. Митрофанова, С.С. Литвина, Э.С. Злотину, В.М. Петрова, Л.А. Каплана, З.Е. Ройзена, И.М. Верткина, И.Л. Викентьева, В.С. Ладошкина, Г.И. Иванова, Ю.П. Саламатова, В.М. Цурикова, Ю.В. Бычкова, В.В. Сычева, М.И. Бреннера и многих других, а также тех, кто участвовал в проведении описываемых в. книге работ по ФСА.

От озарения к технологии

Как человек придумывает новое? Откуда берутся идеи изобретений, рационализаторских предложений? Почему порой очень нужная и, казалось бы, очевидная идея опаздывает на десятилетия, а другие появляются за столетия до их возможной реализации? Подобные вопросы волнуют в наше время многих. И нет недостатка в ответах – в работах психологов, в воспоминаниях ученых и изобретателей описывается примерно одно и то же: человек сталкивается со сложной проблемой, постоянно мысленно ищет решение, перебирая варианты, пробует, ошибается и наконец находит. Это и есть метод перебора вариантов или, как его чаще называют, метод проб и ошибок – древнейший способ поиска нового.

Методом проб и ошибок создавались первые кремнёвые ножи и луки, пушки и ветряные мельницы, здания и корабли. Поразительно совершенны ладьи русских поморов, китайские джонки и катамараны полинезийцев. Каждая их линия, каждая мельчайшая деталь имеет наилучшую из возможных форм. Однако раскопки показали, что еще 500 лет назад эти суда были несравненно хуже. Повторяя из столетия в столетие как – будто одни и те же очертания, строители тем не менее все время вносили какие–то изменения. Те, которые оказывались неудачными или чаще приводили к гибели кораблей, забывались, удачные – закреплялись. Это был долгий путь, подобный эволюции живой природы, требовавший больших жертв, гибели множества неудачных конструкций.

Но развитие техники ускорялось, и метод проб и ошибок становился все менее пригодным. Невозможно строить тысячи образцов, чтобы отобрать наилучшую конструкцию паровой машины или быстроходного крейсера. И тогда на помощь пришла наука – изучение и использование законов природы. Она позволила искать наилучший вариант при помощи расчетов, целенаправленных исследований.

Сегодня никому и в голову не придет строить новые машины на глазок, в расчете на то, что удастся угадать. И только в области поиска принципиально новых решений и идей, в области творчества, изобретательства все еще царит старый способ. Никакие ограничения при этом не признаются: можно проверять любые варианты. Практически, конечно, перебор начинают с привычных, традиционных вариантов, потом переходят к чему–то более «дикому». Когда рассмотрены сотни или тысячи вариантов, а решения нет, в ход идут случайные подсказки: например, взгляд случайно упал на чайник – нельзя ли использовать пар, кипяток...

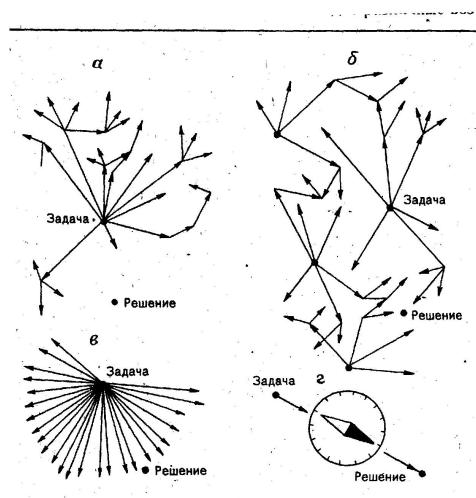
Эффективность перебора зависит от сложности задачи, ее можно охарактеризовать количеством проб, которые необходимо сделать для получения гарантированного результата – решения задачи. История изобретательства показывает, что это количество может колебаться в очень широких пределах – от десятка проб для самых простых задач до сотен тысяч для сложных. Метод проб и ошибок достаточно эффективен, когда речь идет о необходимости перебрать десять–двадцать вариантов, а при решении более сложных задач приводит к большим потерям сил и времени.

Метод проб и ошибок не только неэффективен при решении сложных задач, но и затрудняет их постановку, так как обычно задача, ставится в случайной, неточной формулировке, зачастую без необходимой информации, зато с избытком ненужной. Метод проб и ошибок не позволяет своевременно увидеть действительно важные проблемы и тем самым отодвигает их решение на

десятилетия, а иногда и на столетия. Так менисковый телескоп, по признанию его изобретателя Д. Д. Максутова, мог быть создан еще во времена Декарта и Ньютона. Была потребность и была возможность создания такого телескопа. Задачу просто не увидели, до попыток ее решения дело дошло только в середине XX века. Флеминг, создатель пенициллина, утверждал, что его изобретение могло быть сделано лет на 20 раньше и спасло бы 20 миллионов жизней.

Неэффективность метода проб и ошибок для решения сложных задач долгое время компенсировали за счет увеличения числа людей, работающих над той или иной проблемой. Но к середине XX века стало очевидно, что даже самое полное использование людских ресурсов не может обеспечить необходимых темпов производства изобретений. Появилась общественная потребность в простых и доступных каждому методах поиска нового. Как мы знаем, спрос рождает предложение. Сегодня известно свыше полусотни различных методов поиска нового [1, 3]. Далеко не все они одинаково полезны. Среди них есть и непроверенные, надуманные, искусственно формализованные, не дающие никакого практического выхода. Ряд методов имеет ограниченное применение: в определенных условиях, для определенного типа задач.

Даже при решении одинаковых задач разные люди по-разному пробуют, по-своему ошибаются... Но есть и общие черты, свойственные всем. Поиск решений можно изобразить графически (рис. 1, а):



1. Последовательность поиска новых решений при использовании различных методов поиска:
α — перебор вариантов методом проб и ошибок; β — увеличение хаотичности перебора вариантов (войной штурм, метод фокальных объектов, синектика и т. п.); γ — систематизация перебора вариантов (морфологический анализ, контрольные вопросы, функциональный анализ и т. п.); δ — направленный поиск решений (РИЗ)

человек находится в исходной точке «задача», ему нужно прийти в точку «решение», но он не знает, где эта точка; он выбирает произвольное направление, делает одну попытку, вторую, третью, убедившись, что решения нет, меняет «курс» и делает новые попытки. Большинство из них сосредоточено в одном приблизительно направлении, привычном для решающего (чаще всего общепринятым, общеизвестным), которое получило название «вектор психологической инерции». А изобретательская задача потому и трудна, что ее решение — в новом, неожиданном направлении. Исходя из модели процесса поиска как серии более или менее случайных, осознанных или неосознанных последовательных проб, можно выделить две различные возможности повышения его эффективности: увеличение хаотичности поиска и систематизация перебора

вариантов.

К первой группе относятся специальные психологические методы, позволяющие избежать инерционной направленности поиска, вводящие элементы случайности, непредсмотренности, активизирующие ассоциативные способности человека, увеличивающие число проб (рис. 1,6). Это так называемые методы психологической активизации творчества. Наиболее известным из них, получившим широкое распространение во всем мире, является созданный А. Осборном (США) в конце тридцатых годов **мозговой штурм**, который часто называют мозговой атакой, или брейнстормингом (англ.) [1,3]. Известен ряд модификаций этого метода: групповое решение задач, конференция идей, массовая мозговая атака и т. д.

В основе мозгового штурма лежит простая мысль: процесс генерирования идей необходимо отделить от процесса их оценки. При обсуждении задачи многие не решаются высказать смелые, неожиданные идеи, опасаясь ошибок, насмешек, отрицательного отношения руководителя и т. д. Если же такие идеи все же высказываются, то их зачастую (порой справедливо) подвергают уничтожающей критике сами участники обсуждения. И новые мысли гибнут, не получив развития. А. Осборн предложил вести поиск в обстановке, когда критика запрещена, и каждая идея, даже шуточная или явно нелепая, всячески поощряется. Для этого отбирают по возможности разнородную группу из 6–8 человек, склонных генерировать идеи. В группу не включают руководителей, а сам процесс генерирования стремятся вести в непринужденной обстановке. Высказанные идеи записываются на магнитофон или стенографируются. Полученный материал передают группе экспертов для оценки и отбора перспективных предложений.

Что же дает такое разделение труда? Опыт показал, что за час группа из 8 человек может выдвинуть до 50–60 предложений, среди которых, как правило, множество банальностей, повторов, чепухи. После отбора могут остаться 1–2 хорошие идеи. Но даже одна идея – совсем не плохо. Ведь иногда эту идею, перебирая варианты, ищут многие годы.

30–40 лет назад с мозговой атакой связывали большие надежды. И сегодня во многих публикациях можно прочитать, что овладеть техникой мозгового штурма просто, а результаты он дает очень высокие. В действительности это далеко не так. Именно кажущаяся простота, отсутствие подробных рекомендаций по технике ведения штурма и вызывают трудности. Мозговой штурм оказывается эффективным тогда, когда ведущий группы имеет большой опыт решения задач, владеет техникой общения и проведения коллективной работы, обладает личным обаянием, остроумием и многими другими качествами. Но и в этом случае с помощью мозгового штурма успешно решаются относительно несложные задачи. Чем задача сложнее, тем меньше вероятность ее решения из-за отсутствия в процессе работы критического анализа высказываемых идей и соответственно их развития. Тем не менее мозговой штурм помогает организовать коллективную работу, уменьшает психологическую инерцию членов группы.

Более эффективен **метод синектики**, разработанный У. Гордоном (США) в пятидесятые годы [1,3]. Синектика основана на мозговой атаке, которую ведут профессионалы, имеющие значительный опыт такой работы. При этом используют приемы, основанные на различных видах аналогии. При синекторной атаке допустима конструктивная критика.

Обучение синектике, согласно утверждениям специалистов, возможно только на практике, путем участия в работе уже подготовленных групп синекторов, прослушивания плёнок заседаний синекторских групп. Такое обучение ведется фирмой «Синектике инкорпорейтед» в США. Большинство синекторов прекращает свою деятельность через несколько лет работы, возможно потому, что она оказывает разрушающее влияние на их нервную систему [1]. По этим причинам можно считать бесперспективными и ненужными попытки внедрения синектики в нашей стране.

Полезно могут быть использованы некоторые модификации мозгового штурма. Так, например, обратный штурм не запрещает критику, а наоборот, разрешает только критические замечания, заставляет отыскивать как можно больше недостатков у идеи, конструкции. Обратный штурм позволяет хорошо проверить идею «на прочность». Полезен он, когда какой-нибудь узел, деталь кажутся слишком «благополучными», не имеющими недостатков.

Мозговой штурм позволяет «растормозить» людей, избежать привычных и потому бесплодных ассоциаций. Усилить этот процесс можно, используя методы, подсказывающие неожиданные сравнения, позволяющие взглянуть на объект под необычным углом. К ним относится **метод фокальных объектов**, предложенный в 1926 году профессором Берлинского университета Э. Кунце и усовершенствованный в 1953 году американским специалистом Ч. Вайтингом. Суть метода состоит в том, что совершенствуемую техническую систему держат как бы в фокусе внимания (отсюда название) и переносят на нее свойства других, не имеющих к ней никакого отношения, объектов. При этом возникают необычные сочетания, которые стараются развивать дальше путем свободных ассоциаций.

Данный метод применяется следующим образом: выбирается совершенствуемый объект;
формируется цель его совершенствования;

выбираются из книг, каталогов, журналов несколько случайных объектов, записываются их признаки;
эти признаки переносятся на совершенствуемый объект. Как правило, получаются интересные сочетания, из которых иногда рождаются новые идеи.

Эффективно можно применить метод фокальных объектов при поиске новых возможностей выпуска товаров народного потребления, для решения задач рекламы. Применяется он и для тренировки, развития творческого воображения слушателей, проходящих обучение изобретательству.

Ко второй группе относятся методы, позволяющие систематизировать перебор вариантов, увеличить их число, исключить свойственные ненаправленному поиску повторы, постоянный возврат к одним и тем же идеям (рис. 1, в). К методам систематизации перебора относятся в первую очередь **морфологический анализ** и его различные модификации, а также многочисленные списки контрольных вопросов.

Морфологический анализ создан швейцарским астрофизиком Ф. Цвикки, который применил этот подход в 30-е годы к решению астрофизических проблем и предсказал благодаря, этому существование нейтронных звезд [1,3]. Сущность морфологического анализа заключается в стремлении систематически охватить все (или хотя бы главнейшие) варианты структуры совершенствуемого объекта, исключив влияние случайности. Метод включает следующие шаги: выбирается объект;

составляется список основных характеристик или частей объекта;
для каждой характеристики или части перечисляются ее возможные исполнения;

выбираются наиболее интересные сочетания возможных исполнений всех частей объекта.

Анализ удобно вести с помощью многомерной таблицы, получившей название морфологического ящика, в которой выбранные характеристики или части объекта играют роль основных осей [1, 3,8].

Наиболее существенным недостатком этого метода является чрезвычайно

большое количество возможных комбинаций. Например, если в морфологическом ящике имеется 10 основных осей и по каждой из них возможно 10 вариантов исполнения (достаточно скромные требования), то число возможных комбинаций составит 10^{10} . Правил отбора нет, поэтому приходится действовать наугад. Между тем «сильное» сочетание может «прятаться» среди миллионов слабых и вообще бессмысленных. Это резко снижает эффективность метода, но в тех случаях, когда система несложная и количество комбинаций невелико, он вполне применим, в особенности когда решение уже имеется, но нужно его развернуть, рассмотреть возможные варианты реализации.

Повысить эффективность поиска можно, заранее сформулировав наводящие вопросы (**метод контрольных вопросов**). Составлять списки таких вопросов пытались неоднократно. Среди них есть более–менее удачные, в том числе списки А. Осборна и Т. Эйлоарта [3].

Описанные методы легко видоизменяются, их можно комбинировать: отсюда и кажущееся многообразие. Но они не дают достаточно действенных инструментов для решения сложных задач. При первом знакомстве они кажутся шагом вперед по сравнению с традиционным методом проб и ошибок. Однако это шаги в тупиковом направлении, так как сохраняется та же основа – поиск решений путем перебора вариантов.

Все упомянутые методы были созданы изобретателями–практиками. Между тем изучением изобретательства занимались и ученые. На протяжении целого столетия, с тех пор как началось сравнительно регулярное изучение творчества, внимание исследователей было сосредоточено на психологии изобретательства. Считалось (да и по сей день считается), что главное – это мыслительные процессы, происходящие в мозгу изобретателя. Исследуя их, надеялись понять, как появляются новые идеи. В лучшем случае допускалось, что, раскрыв «секреты» изобретательства, можно в какой–то мере повысить эффективность творчества. Но успеха на этом пути не было достигнуто. Нужен был другой подход.

Технические системы материальны, это очевидно. Столь же очевиден и факт их развития, подчиняющегося, как и всякое развитие, всеобщим законам диалектики. Отсюда со всей определенностью следует: изучать нужно в первую очередь не психику изобретателя, а объективные историко–технические материалы, и прежде всего уникальный, имеющийся только в техническом творчестве, патентный фонд.

Патентный фонд содержит описания миллионов изобретений. Каждое описание является документом, относящимся к эволюции техносферы. Изучение этих документов показывает, что жизнеспособными оказываются только такие изобретения, которые изменяют исходную систему в направлении, предписываемом законами развития технических систем. Знание закономерностей дает возможность резко сузить зону поиска, заменить угадывание научным подходом. Практически единственной в настоящее время методологией поиска новых решений, основанной на этом подходе, дающей стабильные положительные результаты при решении самых разных задач, доступной для массового изучения и использования в производственных условиях и не влияющей вредно на психику человека, является теория решения

изобретательских задач.

ТРИЗ принципиально отличается от метода проб и ошибок и его модификаций. Основной постулат ТРИЗ: технические системы развиваются по объективно существующим законам, эти законы познаемы, их можно выявить и использовать для сознательного решения изобретательских задач.

Теоретическим фундаментом ТРИЗ являются законы развития технических систем, выявленные путем анализа больших массивов патентной информации (десятки и сотни тысяч патентов и авторских свидетельств), изучения истории и логики развития многих технических систем. ТРИЗ строится как точная наука, имеющая свою область исследования, свои методы, свой язык, свои инструменты.

Основными механизмами совершенствования и синтеза новых технических систем в ТРИЗ служат алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ) и система стандартов на решение изобретательских задач. ТРИЗ располагает собственным методом анализа и записи преобразований систем – венеральным анализом. Особое значение в ТРИЗ имеет упорядоченный и постоянно пополняемый информационный фонд: указатели применения физических, химических и геометрических эффектов, банк типовых приемов устранения технических и физических противоречий.

Значение законов развития технических систем позволяет не только решать имеющиеся задачи, но и прогнозировать появление новых.

ТРИЗ стремится к планомерному развитию технических систем: задачи, связанные с развитием, должны выявляться и решаться до того, как обострившиеся противоречия станут сдерживать темпы развития систем. Таким образом, теория решения изобретательских задач постепенно перерастает в теорию развития технических систем (ТРТС).

Теоретические основы ТРИЗ

Изобретательские задачи. Уровни изобретений

Основная функция инженера – решение технических задач проектирование электропривода насосной установки, расчет теплового режима трансформатора и т. п. Предполагает что квалифицированный инженер знает, где взять сведения, необходимые для решения той или иной задачи, и как эти сведения использовать. Решение технических задач способствует количественному изменению техники. Для качественного изменения техники необходимо решение изобретательских задач, то есть таких задач, средства решения которых еще не зафиксированы в технической литературе, не воплощены в известных квалифицированному инженеру, правилах, приемах, рекомендациях и т. д.

Задача 1. При испытании новой конструкции парашюта применяют небольшой макет, устанавливая его в прозрачной трубе, по которой идет поток воды. Главное при таких испытаниях – киносъемка движения вихрей воды за всеми частями модели (купол, стропы). Как сделать эти вихри видимыми? Попробовали покрывать макет растворимой краской, но краска быстро смывается, и приходится часто прерывать испытания. Как быть?

Данная техническая задача не поддается решению обычными способами, необходимо изобретение. Отметим две важные особенности:

1. Неопределенность исходной формулировки, позволяющая перейти к решению следующих задач: нужна более эффективная краска для покрытия макета;

Нужен новый способ покрытия макета имеющейся краской; надо отказаться от применения краски и перестроить киносъемочную аппаратуру так, чтобы она фиксировала движение неокрашенной воды; необходимо предложить неоптический способ исследования.

Исходную неопределенную формулировку проблемы принято называть **изобретательской ситуацией**. Изобретательская ситуация – это описание технической системы с указанием на тот или иной недостаток: нет такого–то нужного свойства или, наоборот имеется такое–то ненужное (вредное) свойство. Многие трудности, возникающие при решении изобретательских задач, обусловлены попытками сразу осилить ситуацию – без обоснованного перехода от «вороха» задач к одной конкретной.

2. Возникновение противоречий при использовании обычных средств решения. Технические системы представляют собой целостные «организмы». Поэтому важнейшая особенность всякой изобретательской задачи состоит в том, что попытки улучшения одной части (функции, свойства) системы путем использования известных технике средств обычно приводят к недопустимому ухудшению других частей (функций, свойств) системы – возникает **противоречие**.

Пример. Вскоре после изобретения электроэррозионной обработки металлов началось производство электроэррозионных станков. Выяснилось, однако, что эти станки имеют существенный недостаток: электрический разряд воздействует и на изделие, и на инструмент. Повысилась трудоемкость обработки, приходилось часто менять изношенный инструмент. Возникла изобретательная ситуация. Эту ситуацию вначале пытались свести к задаче быстрого восстановления изношенных инструментов (их выполняли из мягкой меди или латуни). Между тем росли требования к качеству обработки, а эрозия инструмента, даже на начальном этапе, мешала получить требуемую точность. Была поставлена другая задача – не допустить износа инструмента. Инженеры предложили пойти обычным путем: ввести в схему электроискрового контура станка дополнительное сопротивление и тем самым растянуть время разряда импульса тока. Это позволило уменьшить износ инструмента, но катастрофически упала производительность обработки. Выигрыш в одном привел к проигрышу в другом.

В зависимости от степени сложности изобретательских задач можно выделить 5 уровней изобретений:

Первый уровень – мельчайшие изобретения, не связанные с устранением противоречий. Задача и средства ее решения лежат в пределах одной профессии, поэтому она под силу каждому специалисту. Число вариантов, которое необходимо рассмотреть для решения, невелико – обычно не более десяти.

Пример. Ковш одноковшового экскаватора со сплошной полукруглой режущей кромкой. Для обеспечения быстрой и удобной замены последняя выполнена из отдельных съемных секций, прикрепленных к передней стенке ковша.

Большую деталь трудно менять, поэтому предложен набор небольших деталей, каждую из которых легко заменить.

Второй уровень – мелкие изобретения, полученные в результате устранения противоречия способами, известными в данной отрасли (например, машиностроительная задача решается способами, уже известными в машиностроении, но применительно к другим техническим системам). При этом меняется (частично) только один элемент системы. Для получения изобретения второго уровня обычно приходится рассмотреть несколько десятков вариантов решения.

Пример. Способ очистки газовой среды отсека корабля от вредных примесей путем введения вытесняющего агента. С целью повышения эффективности очистки, сокращения ее продолжительности и уменьшения расхода, сжатого воздуха в качестве вытесняющего агента применяют пену.

Для очистки газовой среды отсека корабля приходилось многократно прокачивать воздух. И чем выше были требования к очистке, тем больше времени тратилось на ее проведение. Противоречие устранено введением вытесняющего вещества.

Третий уровень – средние изобретения. Противоречие преодолевается способами, известными в пределах одной науки («механическая» задача решается «механически», «химическая» – «химически» и т. д.). Полностью меняется один из элементов системы. Количество возможных вариантов измеряется сотнями.

Пример. Контроль внутренней полости чашеобразного изделия с помощью шаблонов. Чем больше сечений надо проверить, тем выше трудоемкость контроля. Было предложено использовать «жидкий» шаблон: в изделие заливают немного воды, фотографируют сечение,

добавляют воду, снова фотографируют и т. д. Такое применение жидкости не типично для измерений в машиностроении.

Четвертый уровень – крупные изобретения. Синтезируется новая техническая система. Поскольку она не содержит противоречий, иногда создается впечатление, что изобретение сделано без их преодоления. На самом же деле, противоречия были, но они относились к прототипу – старой технической системе. В задачах четвертого уровня противоречия устраняются средствами, подчас далеко выходящими за пределы науки, к которой относится задача (например, «механическая» задача решается «химически»). Число вариантов – тысячи и даже десятки тысяч.

Пример. В процессе изготовления листового стекла раскаленная стеклянная лента поступает на роликовый транспортер. Чем меньше диаметр у роликов, тем ровнее поверхность стекла. Однако с уменьшением диаметра роликов резко усложняется изготовление и эксплуатация конвейера. Приходится мириться с тем, что поверхность стекла получается волнистой, а потом полировать стеклянные листы. Было предложено вместо конвейера использовать ванну с расплавленным оловом. Изготовление такого «конвейера» несложно, транспортировка по нему сопровождается полированием поверхности изделия. Идея жидкого транспортера нашла в дальнейшем применение при решении ряда других задач.

Пятый уровень – крупнейшие изобретения. Синтезируется принципиально новая техническая система. Противоречий нет, поскольку еще нет и самой системы; противоречия могут появиться лишь в процессе синтеза системы. Число рассмотренных вариантов практически неограниченно: для создания изобретения пятого уровня нужно предварительно сделать новое открытие. Обычно изобретение пятого уровня, несмотря на ценность идеи, само по себе нереализуемо. Для широкого применения необходимо подкрепить это изобретение решением ряда задач низших уровней. В результате создается новая отрасль техники. Примерами могут служить изобретение радио и создание радиотехники, изобретение фотографирования и создание фототехники и т. д. Следует отметить, что приведенные выше характеристики изобретений носят статистический характер, поэтому определение уровня производится экспертным путем. При этом нередки случаи, когда изобретения характеризуются признаками, соответствующими двум соседним уровням. Для них могут быть введены дробные оценки. Например, к уровню 3,5 может быть отнесено изобретение, ряд характеристик которого соответствует третьему уровню, а другие – четвертому.

Конечно, приступая к решению задачи, изобретатель заранее не знает, сколько вариантов ему придется перебрать, так как одна и та же задача в зависимости от наложенных ограничений может быть решена на разных уровнях. Например, нужно устранить вибрацию электрического генератора. Одно из решений – установка упругих опор (подложили «подушку»). Если этому ничего не мешает, получили решение первого уровня (применение известного метода устранения вибраций). Система изменилась очень мало. Если же установка упругих опор не дает нужного результата либо по каким-то причинам недопустима, возможно решение на втором уровне – создание гидравлической демпферной системы, вероятно, с регулируемой жесткостью, с обратными связями. Решение третьего

уровня изменяет исходную систему еще значительнее – например, предлагается использовать вибратор, создающий колебания той же частоты и амплитуды, но в противоположной фазе. При наложении колебания взаимно уничтожаются. Решение четвертого уровня приводит к радикальным изменениям. Например, вместо опор используется магнитная подвеска; создается электрический генератор без вращающихся частей (виновников вибрации), то есть электрохимический или магнитогидродинамический. Для решения задачи на пятом уровне нужно сделать соответствующее открытие, например найти новый способ получения электроэнергии...

Может создаться впечатление, что изобретения первого уровня делаются очень легко – разве трудно перебрать десяток–два вариантов? Тем не менее для многих инженеров даже это сложно. Они останавливаются на первом, в крайнем случае, втором – третьем варианте, и начинают его разрабатывать, не получив удовлетворительного решения. Такое явление – результат низкого уровня инженерного образования, его направленности на воспитание исполнителя, а не творца.

Для успешного развития техники необходимы разные изобретения, однако серьезно продвигают ее вперед лишь изобретения третьего и выше уровней. Соотношение количества изобретений разного уровня может характеризовать состояние конкретной отрасли и всей промышленности в целом. Так, анализ процентного соотношения количества изобретений разного уровня в СССР за 1965 и 1969 годы по 14 классам изобретений показал, что решения первого уровня составляли 32%, второго – 45, третьего – 19, четвертого – менее 4, пятого – менее 0,3%, то есть свыше трех четвертей всех зарегистрированных в нашей стране изобретений решали мелкие или мельчайшие задачи [3]. И это далеко не блестящее положение в дальнейшем еще ухудшилось. В 1982 году аналогичный анализ по трем классам изобретений дал соответственно 39, 55 и 6% (крупные и крупнейшие изобретения вообще отсутствовали) [7]. Измельчение изобретений – характерный симптом застоя в промышленности.

Очевидно, что нельзя с одним и тем же оружием охотиться на слона, мышь, бактерию. Точно так же для решения задач на разном уровне необходимы разные инструменты и подходы. Если для получения решений первого уровня вполне достаточно здравого смысла и имеющейся у каждого информации, то для решений более высоких уровней требуются специальные инструменты, созданные в рамках ТРИЗ.

Технические системы. Основные определения

Одной из характерных особенностей науки на современном этапе является широкое использование системного подхода, который ориентирует исследователя на раскрытие целостности объекта, выявление разнообразных связей, как внутренних, так и внешних, сведение в единую картину всех знаний об исследуемом объекте. Системный подход к развитию техники – один из основных принципов ТРИЗ в приложении к изобретательству – означает умение видеть, воспринимать, представлять как единое целое систему во всей сложности,

со всеми связями, изменениями, сочетаю разные, но взаимодополняющие друг друга подходы: компонентный, изучающий состав системы (наличие в ней подсистем, ее надсистемы); структурный (взаимное расположение подсистем в пространстве и во времени, связи между ними); функциональный (функциональные системы, взаимодействие ее подсистем); генетический (становление системы, последовательность ее развития, замена одной системы другой).

Модель изобретательского системного видения можно представить как многоэкранную схему мышления – серию экранов, на которых можно наблюдать как саму систему, так и ее над и подсистемы, а также их историю и будущее (тенденции развития). Природным даром системного мышления обладают немногие (особо одаренные) люди. Однако, как показал опыт обучения ТРИЗ, при соответствующей тренировке овладеть им может каждый. Собственно говоря, большинство инструментов ТРИЗ, о которых пойдет речь дальше, представляют собой элементы этой схемы, ее «развертки».

Дадим несколько определений, необходимых для дальнейшего изложения материала.

Системой будем называть **некоторое множество взаимосвязанных элементов, обладающее свойствами, не сводящимися к свойствам отдельных элементов**. Так, система «самолет» обладает свойством летать, которым ни один из ее элементов в отдельности не обладает.

Понятие «система» может быть и условным, в зависимости от того, интересует нас данное системное свойство или нет. Например, осколки потерпевшего аварию самолета не являются системой для случайного прохожего, но являются системой для комиссии, расследующей причины авиакатастрофы.

Системное свойство может быть полезным для человека (то свойство, ради которого система создана) и вредным, побочным, получившимся в результате создания системы наряду с полезным свойством. Очень часто появление вредного системного свойства оказывается неожиданным. Так, при параллельной работе нескольких электрических машин могут возникнуть вредные резонансные явления.

Неожиданное системное свойство может быть и полезным. Как правило, изобретение высокого уровня, в результате которого синтезирована новая система, кроме решения исходной задачи дает дополнительный положительный эффект.

Пример. Обследование сердца производится с помощью катетеров – тонких полиэтиленовых трубочек, которые вводятся через артерию в сердечную мышцу и подают в нее необходимое для рентгеноскопии контрастное вещество. Но было замечено, что иногда после этой процедуры самочувствие больного улучшалось. Выяснилось, что катетер, проходя по сосуду, расширяет его и восстанавливает нарушенный кровоток. Тогда было предложено снабдить катетер надувным баллончиком, который можно раздувать, и тем самым расширитьуженный участок сердца. В результате повышается его проходимость, и человек нередко избавляется от тяжелой операции на сердце.

Неожиданное положительное системное свойство получило название **«сверхэффект»**.

Новое системное свойство часто может быть получено без введения специальных

элементов, только за счет того, что при объединении в систему исходные элементы «поворнуты» нужным свойством «наружу», которое при этом многократно усиливается, а ненужные, вредные свойства при этом уничтожаются, компенсируются.

Пример. При перевозке стекла поверхность листов смазывают тонким слоем масла. В результате они слипаются в единый монолитный блок, обладающий гораздо более высокой прочностью, чем обычное стекло. Бой стекла при этом резко уменьшается.

Элементы, составляющие систему, называются **подсистемами**. Они, в свою очередь, являются системами для своих подсистем и т. д. Каждая система входит в некоторую **надсистему**. Электрическая машина состоит из подсистем: статора, ротора и т. д. Статор имеет свои подсистемы: обмотку, сердечник, выводы... Электрическая машина входит в надсистему «привод», который, в свою очередь, входит в надсистему еще более высокого ранга, например «станок» или «технологическая линия».

Если состав подсистем для конкретной системы достаточно определен, то надсистемы у нее могут быть разные, в зависимости от точки зрения. Та же электрическая машина может являться частью надсистемы «машины переменного тока» или «продукция данного завода» и т. д.

Таким образом, система, ее подсистемы и надсистемы образуют **иерархию** – расположение частей в порядке от низшего к высшему. Возможны и другие структуры, например **ретикулярная** (сетчатая), в которой все подсистемы связаны друг с другом сложными обратными связями, влияют друг на друга, и невозможно выделить однозначно какую–то иерархию.

Техническая система может состоять из элементов, каким–либо образом размещенных и связанных между собой в пространстве (устройств или веществ), либо из элементов, связанных между собой во времени (технологии, операций, процессов, способов). Например, технология изготовления статора электрической машины входит в надсистему «технология изготовления всей машины» включает ряд подсистем: «штамповка железа», «изготовление обмотки», «сборка», «прессовка» и т. д. Целью существования систем развернутых в пространстве, является произведение какого–то действия, процесса. Соответственно система, развернутая во времени, создается для производства или обработки веществ, устройств. Таким образом, оба вида систем неразрывно связаны, дополняют друг друга. Между теми и другими существует множество аналогий в развитии, поэтому в дальнейшем они будут рассматриваться параллельно.

Любая техническая система создается для выполнения некоторого комплекса полезных функций, достижения определенных целей. Среди них можно выделить **основные**, для выполнения которых, собственно, и создается система; **второстепенные**, отражающие побочные цели создателей системы; **вспомогательные**, обеспечивающие выполнение основных. Например, основная функция пылесоса – сбор пыли, второстепенные – использование при окраске помещений, в качестве табуретки (некоторые модели) и т. д. Вспомогательные функции – подача электроэнергии, сигнализация уровня запыленности, очищение пылесборника. Основные, второстепенные и вспомогательные функции неразрывно связаны между собой, образуя разветвленную иерархию, некоторое

«дерево» функций объекта.

Любую систему можно рассматривать как некий передаточный механизм, реализующий определенную связь между ее входом и выходом. Связь эта осуществляется с помощью **функциональных звеньев** – преобразователей, превращающих действие на входе в действие на выходе (либо состояние на входе в состояние на выходе для систем, развернутых во времени). Звенья, в свою очередь, состоят из **функциональных элементов**. Так, система «телевизор» превращает электромагнитную энергию радиоволн в видимое человеком изображение. При этом антенна превращает радиоволны в переменный электрический ток, который усиливается в усилителе, электронная пушка преобразует его в поток электронов, которые на люминесцентном экране превращаются в видимое изображение.

Кроме основных функциональных элементов в системе всегда присутствуют и вспомогательные элементы. К ним относятся так называемые системообразующие, которые обеспечивают существование системы как целого (корпуса, крепления, всякого рода шасси, печатные платы, основания и т. д.), а также подсистемы, обеспечивающие нормальную работу системы: защитные, сервисные и некоторые другие.

Понятие **«экологическая ниша системы»** означает место, занимаемое данной системой в техносфере, сумму выполняемых функций и комплекс условий, необходимых для ее созидания, существования и развития.

Техническая система называется **полной**, если она имеет все необходимое для выполнения своих функций без участия человека. Подавляющее большинство известных технических систем неполно.

За реализацию полезных функций технической системы необходимо расплачиваться.

Факторы расплаты включают различные затраты на создание, эксплуатацию и утилизацию системы, все, чем общество должно расплатиться за получение данной функции, в том числе и все создаваемые системой вредные функции. Например, в число факторов расплаты за перемещение людей и грузов автомобилями входят не только стоимость материалов и затраты труда на изготовление и эксплуатацию, но и вредное влияние автомобиля на окружающую среду как непосредственно, так и в процессе его производства (например, металлургические процессы); затраты на строительство гаражей; место, занятое гаражами, заводами и ремонтными предприятиями; гибель людей при авариях, связанные с ними психологические потрясения и т. д.

Как уже было отмечено, технические системы развиваются. Развитие – это «процесс перехода из одного состояния в другое, более совершенное, переход от старого качественного состояния к новому качественному состоянию, от продетого к сложному, от низшего к высшему» (Ожегов С. И. «Словарь русского языка. М.: Русский язык 1987). В ТРИЗ развитие технической системы понимается как процесс **увеличения степени идеальности (И)**, которая определяется как отношение суммы выполняемых системой полезных функций (Φ_n) к сумме факторов расплаты (Φ_p):

$$И = \frac{\sum \Phi_{\Pi}}{\sum \Phi_p} \rightarrow \infty$$

Конечно, данная формула отражает тенденции развития лишь качественным образом, так как очень сложно оценить в одних количественных единицах разные функции и факторы.

«Развивающаяся техническая система» – достаточно сложная система, например завод или современный корабль, претерпевающий за время своего существования ряд последовательных модернизаций, либо ряд относительно простых систем, сменяющих друг друга в одной экологической нише и связанных общностью главной функции, отличающихся друг от друга направленным изменением каких-либо параметров. Развивающейся технической системой является, например, множество разных авиадвигателей, последовательно сменяющих друг друга по мере развития самолета с увеличением абсолютной или удельной мощности.

Технические системы развиваются в соответствии с законами развития технических систем. Закон – это «необходимое, существенное, устойчивое, повторяющееся отношение между явлениями в природе и обществе» (Советский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1989).

Развитие систем описывается тремя группами законов:

всеобщие или универсальные законы, справедливые для любой развивающейся системы независимо от ее природы – законы диалектики;
законы, общие для достаточно многочисленных групп систем, например для всех развивающихся технических систем;
частные законы, характерные только для определенного вида систем, например измерительных или транспортных.

Между общими и частными законами существует диалектическая связь: общие законы действуют через частные, а частные представляют собой конкретные проявления более общих.

Теория решения изобретательских задач изучает и практически использует законы второй и третьей групп. Рассмотрим ряд требований, которые позволяют из бесчисленного множества разных отношений выявить действительно «существенные, устойчивые, повторяющиеся»:

1. Законы развития технических систем должны отражать действительное развитие техники и, следовательно, выявляться и подтверждаться на базе достаточно большого объема патентной и технической информации, глубокого исследования истории развития различных технических систем.
2. Закон развития (отношение, существенное для развития) должен быть выявлен и подтвержден на базе фонда изобретений достаточно высокого уровня (не ниже третьего), так как изобретения низших уровней практически не меняют (или мало меняют) исходную систему и фактически не развиваются ее.
3. Законы развития технических систем не должны противоречить законам диалектики, которые являются для первых надсистемой. Возможны внутренние противоречия между выявленными в соответствии с предыдущими требованиями законами (закономерностями). Они могут указывать на наличие еще каких-то, пока неясных закономерностей, регулирующих отношение выявленных законов.
4. Законы развития технических систем, составляющие теоретическое обоснование ТРИЗ, должны быть и **инструментальны**, то есть помогать находить

новые конкретные инструменты решения задач, прогнозирования развития и т. п. и обеспечивать получение на их основе конкретных выводов и рекомендаций.

5. Каждый выявленный закон должен допускать возможность его проверки на практике по материалам патентного фонда и при решении практических задач и проблем.

6. Выявленные законы и закономерности должны иметь **«открытый» вид**, то есть допускать дальнейшее совершенствование по мере развития техники и накопления новых патентных материалов.

Итак, шесть требований: отражение реальности, существенность (опора на изобретения высокого уровня), системность, инструментальность, возможность проверки и открытость.

Первые законы развития технических систем были выявлены К. Марксом (хотя он и неставил перед собой такой задачи). Изучая влияние техники на развитие экономики и общества, он сделал ряд фундаментальных обобщений. «Простые орудия, накопление орудий, сложные орудия; приведение в действие сложного орудия одним двигателем – руками человека, приведение этих инструментов в действие силами природы; машина; система машин, имеющая один двигатель, – вот ход развития машин» (К. Маркс. Нищета философии. Маркс К., Энгельс Ф. Соч., 2-е изд., т. 4, с. 156).

Истории и закономерностям развития орудий и машин отведено значительное место в работах Ф. Энгельса. Это образцы диалектического анализа развития, выявления скрытых противоречий и их разрешения в результате эффективных изобретательских решений, в том числе в области различных систем оружия и организаций армии.

В наше время исследованию закономерностей развития техники уделяется большое внимание. Попытки их выявления предприняты в работах Ю.С. Мелещенко, В.И. Белозерцева, А.И. Половинкина [11]. Однако приведенные там закономерности выявлены, как правило, не на базе анализа массивов патентной информации, а из общих соображений. Отсюда их неинструментальность, порой и несоответствие фактам.

Выявление закономерностей развития техники на базе статистического анализа патентного фонда было начато в рамках работы над ТРИЗ [2]. Первым результатом была общая схема развития технических систем, включающая различные уровни развития в зависимости от структуры – от досистемного этапа до создания системы саморазвивающихся систем, то есть этапа, которого в настоящее время не достигла ни одна из известных технических систем [3]. В схеме были указаны основные проблемы, трудности, конфликты на разных уровнях и этапах развития, типичные ошибки, допускаемые изобретателем при решении задач, а также правильные, закономерные пути дальнейшего развития. Первая система законов развития технических систем, удовлетворяющих приведенным выше требованиям, была разработана в начале 70-х годов нашего века и включала три группы, условно названные «статика», «кинематика» и «динамика» [5].

Работа по выявлению, изучению и уточнению законов развития технических систем, отработке техники их применения продолжается.

Этапы развития технических систем

В прошлом веке были установлены некоторые общие закономерности развития различных биологических систем: рост численности колоний бактерий, популяций насекомых, массы развивающегося плода и т. п. в зависимости от времени. Кривые, отражающие этот рост, были похожи в первую очередь тем, что на каждой из них можно было довольно четко выделить три последовательных этапа: медленное нарастание, быстрый лавинообразный рост и стабилизация (иногда убывание) численности (или другой характеристики). В 20-х годах нашего столетия было показано, что аналогичные этапы проходят в своем развитии и различные технические системы. Кривые, построенные в системе координат, где по вертикали откладывали численные значения одной из главных эксплуатационных характеристик системы (например, скорость самолета, мощность электрогенератора и т. п.), а по горизонтали – «возраст» технической системы или затраты на ее развитие, получили название **S-образных** (по внешнему виду кривой, рис. 2, а).

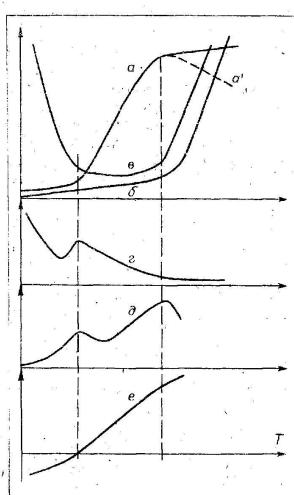


Рис. 2. Кривые развития технических систем:
а — классическая S-образная кривая для исходной системы; а' — реальная кривая развития, учитывающая ухудшение системы в период застоя; б — S-образная кривая для системы, сменяющей исходную; в — кривая изменения факторов спроса; г — кривая изменения уровня изобретений; д — кривая изменения количества изобретений; е — кривая изменения экономического эффекта

25

В многочисленных публикациях в СССР и за рубежом были приведены S-кривые развития для кораблей, тракторов, авиации, бумагоделательных машин и т. д. [11, 20]. Неоднократно предпринимались попытки математического описания и анализа этих кривых (так называемые кривые Гомпеша, Перла, логистические и т. п.). Однако следует помнить, что такие кривые – определенная идеализация; реальные технические системы, параметры которых использовались при их построении, создавались разными конструкторами, в разных условиях эксплуатировались, поэтому данные о них зачастую неточны. S-кривые являются скорее удобной иллюстрацией качественного развития технических систем, и их анализ именно в этом плане дает наиболее интересные результаты.

Рассмотрим подробнее этапы развития технической системы.

«Рождение» и «детство» технической системы. Новая техническая система появляется на определенном уровне развития науки и техники, когда выполнены два главных условия: есть потребность в системе и имеются возможности ее

реализации. Условия эти выполняются, как правило, неодновременно, и обычно одно стимулирует появление другого. Например, осознанная обществом потребность направляет усилия ученых и инженеров на ее реализацию, либо уже созданная система открывает новые возможности использования.

Обстоятельства рождения новой технической системы определяются уровнем ее новизны.

Наибольшей новизной обладает *пионерная система, не имеющая аналогов*, созданию которой нередко предшествуют многолетние мечты и чаяния человечества, отраженные в сказках (самолет, телевизор, радио и т. д.), неоднократные неудачные попытки, связанные с тем, что развитие науки и техники еще не достигло требуемого для ее создания уровня.

Принципиально новые системы создаются также для выполнения функций, ранее выполнявшихся человеком (например, механический суппорт, заменивший руки человека, державшего резец), и для замены уже существующей системы (например, полупроводниковый транзистор, пришедший на смену ламповому триоду).

Еще один вид новизны – принципиально новое применение существующих систем, часто дающих начало новой системе. Например, с прошлого века существовали электролизные установки для разложения воды. В тридцатых годах было обнаружено, что в них происходит повышение концентрации тяжелой воды (на основедейтерия). В результате были созданы специальные электролизные установки для получения тяжелой воды, необходимой атомной промышленности. Новая система обычно весьма примитивна, обладает массой недостатков, поэтому тут же начинается работа по ее совершенствованию; поиск наилучшей конструктивной реализации. Какое количество крыльев должно быть у самолета? Одна пара, две или девять (была и такая конструкция – девятиплан)? Толкающий или тянувший винт? Сколько двигателей и каких, где их размещать? Из какого материала строить? Происходит и выявление функциональных возможностей новой системы, не предполагаемых ранее. Новые свойства, возможности проявляются во взаимодействии с надсистемами, окружающей средой и т. п. «Живая» машина оказывается намного «богаче» проекта, творчество потребителя добавляется к творчеству создателя системы. Так, самолет возник как реализация мечты человека о полете, но после создания первых летающих машин оказалось, что их можно использовать для наблюдения с воздуха, транспортировки, боевых действий, а также в самых неожиданных случаях, например для лечения больных коклюшем, поднимая их на большую высоту.

Но все эти возможности осознаются обществом не сразу.

Поначалу тот же самолет воспринимался как игрушка, спортивная забава аристократов и чудаков. Скорость самолета в первый период почти не увеличивалась, развитие шло медленно (с 1903 по 1913 год почти на одном уровне).

Эффективность системы на этом этапе чрезвычайно низка, часто отрицательна (рис. 2, е): пользы от системы мало, а затраты большие. Одна из причин – противоречие между новым содержанием и старой формой, в которой оно, как правило, реализуется. Старая форма не позволяет сразу выявить новые возможности, преимущества. Например, малоэффективной казалась

электросварка, пока ею пытались заменить обычную кузнечную сварку. На первом этапе главной движущей силой развития технической системы является личный интерес ее создателей (энтузиазм, тщеславие, спортивный дух, надежда на обогащение и т. п.). Противостоят им мощные силы торможения. Появление новой системы всегда встречает недоверие и активное сопротивление ее внедрению, которое усугубляется в тех случаях, когда новая система не пионерная, а идет на смену старой. В этом случае к обычной психологической инерции общества добавляется еще и сознательное сопротивление специалистов, разработавших старую систему. Важной составляющей сил торможения являются огромные технические трудности, отсутствие средств, высокий уровень расплаты, в том числе и гибель энтузиастов...

Основная работа на первом этапе – снижение факторов расплаты: увеличивается надежность, безаварийность, удобство эксплуатации (рис. 2, в). Когда полезность системы осознается обществом, а уровень расплаты снижается до приемлемого, начинается новый этап в ее развитии.

Период интенсивного развития технической системы. Основным содержанием этого этапа является быстрое, лавинообразное, напоминающее цепную реакцию, развитие. Так, в 1914 году конструкции самолетов стали более отработанными, существенно снизилось количество аварий. Начавшаяся мировая война повысила уровень допустимости факторов расплаты (риск аварии оказался сравнимым с риском гибели во время боевых действий). Одновременно резко поднялась потребность в самолете, появились новые функции, связанные с его военным применением. Все это вызвало настоящий самолетный бум: открываются многочисленные авиационные конструкторские бюро, выделяются большие средства, идет обучение летчиков. В результате за 4 года (с 1914 по 1918 г.) самолет превратился в мощную, надежную, эффективную боевую машину. Его скорость увеличилась почти вдвое.

Характерной чертой данного этапа развития становится активная экспансия новой системы – она вытесняет из экологических ниш другие, устаревшие, порождает множество модификаций и разновидностей, приспособленных для разных условий и целей. Самолет на этом этапе развития вытеснил аэростаты и дирижабли, во многих случаях заменил дальнобойную артиллерию (а во время второй мировой войны – и противотанковую), начал выполнять транспортные, разведывательные и многие другие функции. Возникла специализация: истребители, бомбардировщики, разведчики, самолеты сухопутные и морские, на колесах и на лыжах, транспортные, связные и т. п.

Главной движущей силой развития на втором этапе становится общественная потребность, которая проявляется в виде определенного рода требований или **претензий к системе** со стороны надсистемы, окружающей среды: *претензии разрушающие*, вызывающие необходимость защиты. К ним относятся воздействия внешней среды – коррозия, помехи в работе, воздействия других систем (на самолет, например, – зенитного огня, истребителей противника); *претензии вытесняющие* со стороны конкурирующих систем, непосредственно не разрушающих данную, но стремящихся вытеснить ее из экологической ниши. Например, борьба однотипных самолетов за принятие на вооружение,

соперничество транспортной авиации с железнодорожным и автомобильным транспортом;

претензии стимулирующие со стороны систем, нуждающихся в развитии данной для своего функционирования. Например, использование для истребителей пуленепробиваемого стекла стимулирует развитие стекольного производства. Претензии первого вида действуют на систему непосредственно, а второго и третьего – опосредованно, через человека, через экономику. Очень часто из-за взаимного влияния систем друг на друга возникает ускоренное развитие по типу положительной обратной связи – развитие снарядов способствует ускоренному совершенствованию брони, а это, в свою очередь, вызывает ускорение развития снарядов и т. д. Аналогичные положительные обратные связи возникают в развитии конструкции и технологии производства разного вида изделий – новые конструктивные решения требуют развития технологии, а улучшение технологии позволяет реализовать новые конструктивные решения. Такой процесс во многом схож с параллельным развитием (коэволюцией) в биологических системах типа хищник – жертва; например, увеличение скорости бега зайца приводит к отбору на быстроногость среди волков, что, в свою очередь, ведет к отбору среди зайцев и т. д.

Силы торможения, характерные для предыдущего этапа, ослабляются, и постепенно исчезают (хотя порой довольно медленно). Появляются новые тормозящие развитие факторы, в первую очередь нехватка обученных людей, нужного оборудования, ресурсов. Возникают и технические трудности: неразрешенность некоторых важных вопросов, отсутствие теоретического обоснования и т. п. В этом случае развитие задерживается, но недолго – общество мобилизует силы и средства для преодоления трудностей.

На втором этапе техническая система становится экономически выгодной, и эффект постоянно растет (рис. 2, е). Но к концу этапа, несмотря на все возрастающий вклад сил и средств в развитие системы, рост важнейших ее характеристик замедляется. Обычно это происходит из-за того, что резко, нелинейно начинает увеличиваться та или иная вредная функция, какой-то из факторов расплаты. Например, сопротивление воздуха для самолетов при скоростях от 100 до 300–400 километров в час увеличивается примерно пропорционально приросту скорости. Но по мере приближения к звуковому барьеру это сопротивление начинает возрастать пропорционально уже 3–5-й степени скорости самолета. И из-за этого даже значительное увеличение мощности мотора не приводит к существенному возрастанию скорости. В развитии системы наступает следующий этап.

«Старость» и «смерть» технической системы. Основным содержанием этого этапа является стабилизация параметров системы. Небольшой прирост их еще наблюдается в начале этапа, но в дальнейшем практически сходит на нет, несмотря на то, что вложение сил и средств растет. Резко увеличивается сложность, научность системы, даже небольшие улучшения параметров требуют, как правило, очень серьезных исследований. Вместе с тем экономичность системы остается еще высокой, потому что даже небольшое усовершенствование, помноженное на массовый выпуск, оказывается эффективным.

Движущими силами развития на этом этапе остается потребность общества. Вместе с тем по ряду систем оно может быть вполне удовлетворено достигнутым уровнем и не нуждаться в улучшении. В этом случае затраты общества резко снижаются, так как они связаны именно с попытками совершенствования. А воспроизведение системы может быть достаточно дешевым, более того, затраты на него будут снижаться за счет повышения общего уровня технологии. К таким системам относятся простые инструменты типа нож, лопата, молоток, сверло и т. д. С 80-х годов прошлого столетия не меняется конструкция револьвера.

Необходимо отметить, что отказ общества от направленного совершенствования подобных систем вовсе не означает полное прекращение их развития. Системы улучшаются как бы попутно с другими, за счет появления новых материалов, технологических возможностей, нового оборудования и т. п. В конце концов старая, отжившая система «умирает», заменяется принципиально новой, более прогрессивной, обладающей новыми возможностями для дальнейшего развития (рис. 2, б).

Во многих случаях новая система, способная сменить старую, возникает практически одновременно с ней. Например, первые казнозарядные орудия появились еще в XIV веке, практически одновременно с дульнозарядными, но заменили последние только в конце прошлого века, после появления бездымного пороха. Первый реактивный самолет взлетел еще в 1910 году, эра же реактивной авиации началась после второй мировой войны. С точки зрения интересов общества переход к новой системе целесообразен уже в начале третьего этапа, что позволяет избежать напрасных затрат. Но отмирание старой системы – довольно длительный процесс. Достигая этапа стабилизации, система обладает огромной инерцией, ее совершенствованием занимаются сотни, тысячи людей, которые вовсе не в восторге от перспективы серьезной переквалификации. «Агония» системы затягивается за счет паразитирования ее на других системах, хищнического уничтожения окружающей среды. Вице-президент американской фирмы «Дженерал моторс» писал, что если хотя бы небольшая часть средств, которые сегодня тратятся на совершенствование двигателя внутреннего сгорания, была направлена на развитие аккумуляторов, то мы давно имели бы экономичный электромобиль [29]. Типичным явлением на этом этапе является «гигантизм» – значительное увеличение размеров технических систем (огромные дирижабли перед вытеснением их самолетом; паровозы последних серий; сверхмощные линкоры, оказавшиеся беззащитными против авианосцев, и т. п.). Подобные попытки любыми путями «вытянуть» экономичность старой системы прекращаются, когда факторы расплаты становятся недопустимыми для общества, либо, что встречается чаще, когда наступает физический предел дальнейшему росту параметров, например нет конструктивных материалов, способных выдержать нагрузки и т. п.

На первом этапе развития технической системы по S-кривой рост идеальности идет преимущественно за счет снижения факторов расплаты, на втором – за счет опережающего роста полезных функций. На третьем этапе рост полезных функций практически останавливается при ускоряющемся росте факторов расплаты, в результате чего идеальность системы начинает падать. То есть ее развитие сменяется регрессом.

Следует отметить, что в действительности полного «вымирания» системы, вытесняемой более прогрессивной, как правило, не происходит. Чаще всего, перестав быть основным средством выполнения данной функции и упростившись, система остается в качестве вспомогательного средства, иногда игрушки, спортивного снаряда. Такую роль сегодня играют парусные суда. Иногда система остается и эффективно работает в некоторых обособленных, очень специализированных экологических нишах. Так, «потомки» воздушных шаров – метеорологические зонды используются и сегодня, а немагнитная парусная шхуна «Заря» уже 3 десятилетия; бороздит океаны, ведя важнейшие исследования, невозможные на современном судне, на котором слишком много стали.

Развитие технической системы неразрывно связано с изобретениями, при этом на разных этапах меняется их количество и уровень (рис. 2, г, д). Так, рождение технической системы связано с небольшим количеством изобретений высокого уровня, нередко возможных только после появления научных открытий. Затем количество изобретений растет, а их уровень падает (для реализации изобретения высокого уровня всегда требуется создание большого количества изобретений более низких уровней). Но в момент перехода ко второму этапу развития наблюдается некоторый пик в уровне изобретений (часто для перехода к массовому выпуску системы требуются изобретения довольно высокого уровня), который в дальнейшем уже необратимо падает. По количеству же изобретений наблюдаются два пика: один (поменьше) – в момент перехода ко второму этапу; другой (побольше) связан с попытками продлить жизнь одряхлевшей системы на третьем этапе.

Каждая из подсистем, входящих в сложную систему, рассматриваемая по отдельности, в своем развитии также проходит все три этапа. Поэтому S-кривые для сложных систем являются интегральными, состоящими из пучка отдельных S-кривых для каждой из подсистем. Развитие обычно лимитирует самая «слабая» ее подсистема, ресурсы которой исчерпываются первыми. Исчерпавшая свои ресурсы, «загнувшаяся» подсистема становится тормозом для всей системы, и дальнейшее развитие возможно только после ее замены.

Пример. В развитии самолета было несколько таких «загибов». Первый – в 20-х годах, когда были исчерпаны возможности развития аэродинамической концепции самолета – стоечного или подкосного биплана неубирающимися шасси и открытой кабиной для летчика. Новая концепция появившаяся в 30-х годах (моноплан с убирающимися шасси, закрытой кабиной и винтом регулируемого шага), позволила резко повысить скорость полета, но в 40-х годах достигла нового предела – резкого снижения эффективности воздушного винта при скоростях около 700 км/ч, который был преодолен переходом к реактивной тяге. Следующий предел – скорость звука – был связан с несовершенством конструкции крыла и преодолен в конце 40-х годов переходом к стреловидному крылу.

Могут быть построены S-кривые и для развития систем весьма высокого уровня, например системы транспорта. Эти кривые (рис. 3) суммируют кривые развития отдельных видов транспортных систем и называются огибающими (Янч Э. Прогнозирование научно-технического прогресса. М.: Прогресс, 1974).

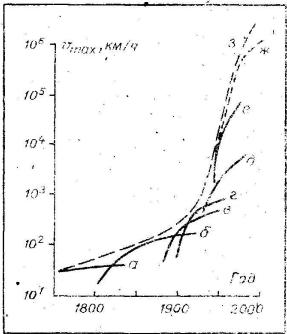


Рис. 3. Огибающая кривая скоростей транспортных средств:
а — конная тяга; б — железная дорога; в — автомобиль; г — парашютный самолет; д — реактивный самолет; е — ракеты на химическом топливе; ж — ракеты на ядерном топливе; з — огибающая кривая развития скоростей

Определение положения конкретной технической системы на кривой развития — дело непростое. Но с учетом приведенных выше факторов, характеризующих систему (количество изобретений, их уровень и т. п.), а также данных о коллективе ее создателей можно с достаточной степенью точности судить об этапе, на котором находится система. А это, в свою очередь, позволяет определить задачи, стоящие перед разработчиком на разных этапах.

Так, на первом этапе разработчик должен выбрать основное направление развития системы из ряда возможных; отработать ее состав, выбрать для нее наиболее перспективные элементы; работать над снижением факторов расплаты, ускорять переход ко второму этапу.

На втором этапе необходимо определить границы возможного быстрого роста системы, выявление возможных противоречий и подсистем, которые раньше других могут исчерпать резервы своего развития.

На третьем этапе нужно определить физические границы существования системы, выявить и заменить подсистемы, исчерпавшие возможности своего развития; искать альтернативную систему, способную заменить существующую.

Вытеснение человека из технической системы

В процессе развития технической системы происходит поэтапное вытеснение из нее человека, то есть техника постепенно берет на себя ранее выполнявшиеся им функции, тем самым приближаясь к полной (выполняющей свои функции без участия человека) системе.

Вытеснение человека из технической системы фактически означает последовательную передачу машинам физического, монотонного труда и переход человека к все более интеллектуальным видам деятельности, то есть отражает общее прогрессивное развитие общества.

Возможны два пути вытеснения человека из технической системы. Первый — вытеснение человека как индивида, замена его деятельности устройствами, выполняющими те же операции. В подавляющем большинстве случаев это неверный, тупиковый путь. Второй, более эффективный — отказ от «человеческого» принципа работы, технологии, рассчитанной на человеческие возможности и интеллект. Это становится возможным только после выявления, упрощения и «деинтеллектуализации» выполняемых функций.

Пример. Функция ориентирования деталей при штамповке, которую легко выполняет необученный работник, сложна для робота. С другой стороны, машина может использовать «машинные» преимущества – высокую скорость и точность движения, развивать большие усилия, работать в средах, недоступных для человека. Поэтому вытеснение человека из технической системы очень часто связано с переходом к новым принципам действия, новым технологиям. В частности, перспективным в обеспечении гибкости производственных процессов является переход к использованию созданных в нашей стране роторно-конвейерных линий, новых методов обработки вместо не оправдавших в большинстве случаев надежд «умных» роботов и гибких автоматизированных производств (ГАП).

На рис. 4 приведена структура полной (т. е. не требующей участия человека) системы. Она включает три функциональных уровня: исполнительский (1), управления (2) и принятия решений (3). Для выполнения своих функций на каждом уровне имеются рабочие органы (инструменты), преобразователи и источники (энергии или информации).

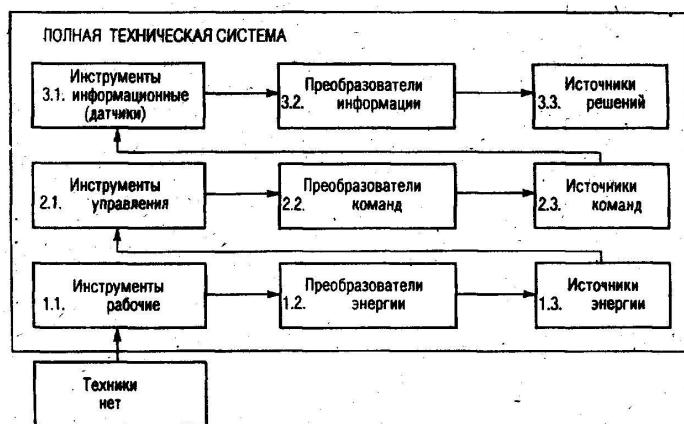


Рис. 4 Последовательность вытеснения человека из технической системы

Подавляющее большинство существенных систем неполно. Недостающие части замещает человек, но по мере развития системы все большее количество функций передается машине, полнота ее увеличивается.

Развитие техники началось с досистемного уровня, когда человек не имел никаких инструментов кроме собственных рук, зубов, ногтей и т. п., и в дальнейшем шло путем последовательного вытеснения человека сначала внутри одного уровня, а затем на более высоких и сопровождалось следующими событиями.

При вытеснении с **исполнительского уровня**: появление простых инструментов типа дубина, каменный нож (1.1); простых механизмов – преобразователей энергии типа рычаг, лук, блок (1.2); использование вместо мускульной силы различных источников энергии – ветра, воды, паровых машин (1.3); с **уровня управления**: появления устройств управления механизмами – руль корабля, переход от балансирующих планеров, в которых управление осуществлялось перемещение тела человека, к использованию воздушных рулей – элеронов (2.1); появление механизмов – преобразователей команд в системах управления – сервомоторы, бустерные устройства (2.2); появление источников команд – копирные устройства токарных и фрезерных автоматов, простейшие автопилоты

без обратных связей и логических схем (2.3); с **уровня принятия решений**: появление датчиков, заменяющих органы чувств человека, позволяющих повысить точность получаемой информации и также получать информацию, недоступную органам чувств человека (3.1); появление преобразователей информации – от простейших биноклей до электронных систем (3.2); появление систем оценки информации и принятия решений – автоматических систем управления (3.3).

Вытеснение человека быстрее и легче всего происходит на первом уровне и с большим трудом идет на третьем, потому что человек является гораздо более эффективной «информационной машиной», нежели «энергетической».

Понимание закономерностей последовательного вытеснения человека из технической системы позволяет вести работу по ее совершенствованию целенаправленно, избегая типичных ошибок, связанных с забеганием вперед, то есть попытками вытеснения человека с более далеких этапов, не обеспечив вытеснение с предыдущих, например автоматизация управления системы (3.3), в которой основным источником энергии все еще остается человек (1.3).

Неравномерное развитие частей технической системы. Противоречия

В развитии технических систем в соответствии с законами диалектики происходит чередование этапов количественного роста и качественных скачков. В процессе количественного роста в результате неравномерного развития характеристик технической системы появляются противоречия.

Противоречие–проявление несоответствия между разными требованиями, предъявляемыми человеком к системе, и ограничениями, налагаемыми на нее законами природы, социальными, юридическими и экономическими законами, уровнем развития науки и техники, конкретными условиями применения и т. п. Например, увеличение крейсерской скорости самолета требует уменьшения площади крыла, а сохранение хороших взлетно–посадочных характеристик – ее увеличения. На начальных этапах развития, когда требования относительно невысоки, а система обладает большими ресурсами, такие противоречия решаются путем компромисса – отыскиваются варианты конструкции, обеспечивающие приемлемые значения обеих конкурирующих характеристик. Но количественный рост продолжается, происходит накопление и обострение противоречий. Эти противоречия разрешаются (снимаются) в результате качественных скачков – создания принципиально новых технических решений. В ТРИЗ рассматривается несколько видов противоречий. Ситуация, когда попытки улучшить одну характеристику (часть) системы приводят к ухудшению другой ее характеристики (части) называется **техническим противоречием (ТП)**. Обратимся, например, к задаче 1 (испытание макета парашюта). Мы уже знаем, что это фактически не задача, а ситуация, содержащая множество разных задач. Выберем одну из них – самую простую. Пусть схема съемки остается неизменной. Тогда необходимо решить задачу: как обеспечить длительное «истечение» красящего вещества с макета, обтекаемого водой? Теперь отчетливо видно ТП:

для увеличения длительности съемки нужно резко увеличить количество краски, нанесенной на парашют, но это неизбежно приведет к искажению размеров и формы макета. Сделаем следующий шаг. Нет необходимости рассматривать всю систему. Поскольку съемочную часть решено было не изменять, то, следовательно, ее можно мысленно вынести «за скобки». Парашют состоит из нескольких частей, которые должны быть покрыты краской; если мы решим задачу применительно к одной части, то, скорее всего, это решение можно будет применить и к другим таким же частям. Зачем, например, рассматривать все стропы? Достаточно рассмотреть один строп или даже участок стропа. Нет необходимости рассматривать и весь водный поток. Можно ограничиться той его частью, которая непосредственно обтекает выделенный участок. Эта картина – строп (участок стропа) и околостропная вода – представляет собой **модель задачи**, ее минимальную схему. Переход от задачи к ее модели позволяет перейти к **физическому противоречию** (ФП): краски на стропе должно быть бесконечно много и совсем не должно быть.

Физическим противоречием называется ситуация, когда к объекту или его части условиями задачи предъявляются противоположные (несовместимые) требования. Оно строится по схеме: объект (часть объекта) должен обладать **свойством С** и вместе с тем иметь противоположное **свойство анти-С**. В ряде случаев ФП можно записать в виде количественного неравенства для определенного свойства, параметра технической системы:

$$a \leq m \leq b$$

где m – выбранный параметр; a и b – соответственно минимально и максимально допустимые его значения по требованиям, приведенным в условии задачи. Так, для приведенного примера с площадью крыла самолета m – площадь крыла; a – минимально допустимое значение площади по условиям посадки; b – максимально допустимое значение площади по требованиям скорости полета. Если $a \leq b$, задача позволяет компромиссное решение и не является изобретательской. Если же $a > b$, то возможно только изобретательское решение. Для этого нужно превратить прежде постоянную, неизменную величину m в функцию $m(x)$, причем таким образом, чтобы $m(x_1) \geq a$, $m(x_2) \leq b$. В задаче о самолете это соответствует применению крыла с изменяемой геометрией – площадь крыла становится функцией от скорости самолета. Возможны и другие решения, когда фактическая площадь крыла не меняется, но изменяется его эффективная, рабочая площадь за счет использования разных средств управления характером обтекания крыла, пограничным слоем. В задаче об испытании макета парашюта неравенство принимает вид

$$0 = m = \infty,$$

где m – количество краски на стропе.

ФП обостряет конфликт до предела и, как ни странно, именно благодаря этому облегчает решение. Если краски должно быть бесконечно много и вместе с тем на стропе нельзя иметь никаких ее запасов, остается только одна возможность:

краска должна вырабатываться там, где она нужна. Но существует закон сохранения материи. Краску нельзя выработать из ничего. Для ее получения потребуются вещество и энергия. Модель задачи включает только два вещества – небольшой участок стропа и практически неограниченное количество протекающей воды. Ясно, что использовать можно только воду – ее много. От весьма неопределенной изобретательской ситуации мы перешли к конкретной задаче, а затем и к модели задачи. Резкое приближение к ответу произошло благодаря тому, что модель задачи позволила увидеть физическое противоречие. Задача стала предельно трудной, требующей совмещения диаметрально противоположных свойств, и возник ответ: вода должна сама себя метить. И метки должны вырабатываться самой водой. Здесь только две возможности: пузырьки из водяного пара или пузырьки из входящих в состав воды газов (кислорода или водорода).

В первом случае к макету надо подводить тепловую энергию, во втором – электрическую. Последнее проще и удобнее (пузырьки газа не конденсируются). Итак, поверхность макета надо сделать проводящей, при испытаниях должен идти электролиз.

Теперь количество краски m стало функцией от новой (введенной нами) и прекрасно поддающейся управлению переменной – проходящего через воду электрического тока (x). Если $x=0$, то $m(x)=0$. При $x \neq 0$ идет выделение «краски», и оно продлится столько времени, сколько необходимо, т. е. можно утверждать, что $m(x) \rightarrow \infty$.

Таким образом, для решения задачи нужно четко определить, к какому параметру предъявляются противоположные требования и каким способом можно сделать его функцией, от чего он должен зависеть.

Противоречие, как уже было сказано, является неотъемлемым признаком изобретательской задачи. Ее эффективное решение возможно как на стадии технического, так и на стадии физического противоречия. Исторически первым инструментом ТРИЗ в 60–е годы стал комплекс типовых приемов устранения технических противоречий (приложение 1).

Физическое противоречие отражает закон единства и борьбы противоположностей и включает два вида отношений: отношение борьбы и отношение единства. Отношение борьбы подчеркивается в формулировке ФП: краски должно быть много, чтобы испытания не прерывались, и краски должно быть мало, чтобы не искажать результаты измерений. Отношение единства, в свою очередь, включает единство места (пространства), времени, формы, содержания, структуры, целостности, функционирования, различных свойств – температуры, электропроводности и т. п. Разрешить противоречие – значит найти такую составляющую единства, которая допускает разделение. В нашем случае, например, это единство места: краска должна быть не на стропе, где она искажает форму, а в воде.

Для разрешения физических противоречий в ТРИЗ используются специальные приемы (приложение 3). Наиболее простыми из них являются приемы разрешения ФП во времени и в пространстве.

Примеры. Перекатывать рельс было бы намного легче, если бы он был круглый. Но тогда он не сможет выполнять свою основную функцию ФП: рельс должен быть круглым, чтобы его

было легко катать, и не должен быть круглым, чтобы по нему могли идти поезда. Разрешение во времени: на время перекатывания к рельсу присоединяют четыре намагниченных вкладыша, дополняющих профиль рельса до круглого.

При прокатке легированной стали возникает неприятное явление – мелкие частички металла «прилипают» к прокатным валкам, портя их поверхность. При прокатке обычных сталей этого не бывает. ФП: сталь должна быть обычной, чтобы не портить валки, и должна быть легированной, чтобы обладать высокими качествами. Разрешение в пространстве: обычным делают только очень тонкий поверхностный слой стали, для чего ее купают в расплаве солей, поглощающих легирующие элементы.

Помимо разрешения противоречия есть и более радикальный путь решения изобретательской задачи – полная замена системы, в которой это противоречие возникло, на новую, в которой подобного противоречия нет.

Пример. При выполнении направленных взрывов сначала сверлят скважину, потом с помощью небольшого заряда создают в земле полость, заполняемую взрывчаткой для основного взрыва. При этом очень важно заранее точно определить объем подготовленной полости, иначе может оказаться, что в нее не поместится расчетный заряд. Для этого в скважину опускают телевизионную систему. Но точность ее недостаточна, а повышение точности требует значительного усложнения системы. Вместо того чтобы идти, как в задаче 1, от сформулированного в описании проблемы ТП к ФП (попытаться совершенствовать телевизионную систему, разрешить противоречие) было предложено после проведения первого взрыва в скважину на веревке опустить ручную гранату «лимонку» и взорвать. Разлетевшиеся осколки застрянут в стенках полости. Теперь ее размер можно определить простым прибором типа миноискатель непосредственно с поверхности – осколки «покажут» очертания полости.

В данном решении исчезло противоречие, связанное с телевизионным способом определения размеров, хотя в дальнейшем появятся, конечно, другие противоречия, связанные уже с новым способом.

Противоречия в задачах встречаются самые разные. Но существуют и вечные противоречия, повторяющиеся на каждом уровне развития системы. Например, еще при строительстве древних крепостей стены нужно было строить толстыми, чтобы они были прочными, и тонкими, чтобы быстрее строить. Это же противоречие существует и сегодня при проектировании любых сооружений. Есть противоречия универсальные, характерные для самых разных систем. Например, противоречие «объект должен быть тяжелым, чтобы эффективно работать, и легким, чтобы его было легко перевозить», относится и к инструменту, и к снаряду, и к станку... Противоречия, относящиеся к одной технической системе, обычно образуют некоторую совокупность – они взаимосвязаны, вытекают одно из другого, составляют собственную иерархию. Для самолета, например, известно техническое противоречие между скоростью и дальностью полета. Для двигателя самолета это противоречие становится физическим: тяга должна быть большой, чтобы скорость была большая, и малой, чтобы уменьшился расход топлива, и следовательно, увеличилась дальность полета. Перейдя к механизму подачи топлива, можно сформулировать ФП: подача топлива должна быть большая, чтобы обеспечить большую тягу, и малая, чтобы экономить топливо. Можно сформулировать противоречия и, для других частей самолета: крыло должно быть тонким, чтобы оказывать меньшее аэродинамическое сопротивление, и толстым, чтобы разместить там топливные

баки, механизмы; корпус должен иметь сложную форму, чтобы обеспечить наилучшую аэродинамику, и простую, чтобы снизить трудоемкость изготовления; на носу самолета должно быть остекление, чтобы обеспечить наблюдение за землей при посадке и взлете, и не должно быть остекления, чтобы разместить там антенну радиолокатора...

Этой взаимосвязью, взаимообусловленностью противоречий объясняется возникновение сверхэффекта, который нередко оказывается важнее, чем решение исходной изобретательской задачи.

Учитывая сложность системы противоречий, очень важно найти среди них главное, центральное, ограничивающее развитие системы и устраниТЬ или разрешить его (как в известных головоломках, где достаточно найти и вынуть одну деталь – ключ, чтобы головоломка распалась на части). Часто противоречия вообще не видны, а на поверхности лежит только тот или иной недостаток, одна сторона противоречия, как это было в задаче 1. Для выявления комплекса противоречий, определения ключевого и его разрешения или устранения предназначен алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ).

Противоречие ограничивает возможность развития системы, требует качественно нового решения. Но нередко бывает и так, что противоречия как будто бы нет, а есть непреодолимый предел. Например, существенно повысить скорость движения судов невозможно, потому что сопротивление воды при этом возрастает пропорционально 5–6-й степени скорости, и для его преодоления необходимо очень сильно увеличивать мощность двигателя. Когда же этот предел представили в виде противоречия – судно должно быть в воде, чтобы оставаться кораблем (а не другим видом транспорта), и не должно быть в воде, чтобы не испытывать большого сопротивления, – преодолеть его удалось переходом к судну на подводных крыльях, корпус которого на больших скоростях поднимается над водой, и сопротивления фактически нет.

Неопределенные пределы возникают чаще всего от нашего одностороннего подхода к системе, и пока такой предел стоит перед человеком, задача действительно неразрешима. Поэтому нужно в первую очередь осознать предел как одну из сторон противоречия, найти его вторую сторону, сформулировать его и найти прием разрешения.

Увеличение степени идеальности технических систем

Как уже было отмечено, развитие технических систем есть процесс повышения их степени идеальности. Из приведенной формулы (см. с. 21) следует, что повышение идеальности технической системы возможно как при опережающем росте числителя (увеличение количества и качества выполняемых полезных функций), так и при опережающем уменьшении знаменателя (снижение затрат, уменьшение числа вредных функций). Особенно интенсивно идет повышение идеальности при одновременном росте числителя и снижении знаменателя. Повышение идеальности технических систем часто проявляется в росте относительных параметров (характеристик), то есть отношения полезных характеристик (мощности, усиления, производительности, точности, надежности

и других) к вредным (потери, помехи, количество брака и т. д.) или к конструктивным (вес, размеры, трудоемкость изготовления и т. д.).

Пример. Турбогенератор мощностью 100 тысяч киловатт, построенный в начале 50-х годов, весит около 200 тонн, а его «младший брат» постройки середины 70-х при мощности 500 тысяч киловатт – около 400 тонн. То есть мощность, приходящаяся на тонну, возросла в 2,4 раза.

В информационно–вычислительной технике лимитирующим фактором является тепловыделение в логических элементах. Поэтому главный относительный параметр развития – отношение количества перерабатываемой информации к энергетическим затратам на этот процесс – бит/вatt. В процессе развития элементов ЭВМ от электронных ламп до современных интегральных схем это отношение выросло в миллионы раз.

Повышение идеальности технических систем может происходить как в рамках существующей конструктивной концепции, так и в результате радикального изменения конструкции, принципа действия системы.

Повышение идеальности в рамках существующей конструктивной концепции связано с количественными изменениями в системе и реализуется как с помощью компромиссных решений, так и путем решения изобретательских задач низших (1-й и 2-й) уровней, замены некоторых подсистем на другие, известные. При этом можно выделить следующие тенденции:

«Дотягивание», то есть улучшение выполнения полезных функций за счет оптимизации, разного рода мелких усовершенствований.

Пример. Применение улучшенных материалов, введение дополнительных регулировок, подбор оптимальных размеров, передаточных соотношений и т. п.

«Выжимание», то есть снижение факторов расплаты за счет оптимизации, разного рода мелких усовершенствований.

Пример. Применение более дешевых материалов, стандартизованных элементов, исключение избыточных запасов прочности, повышение технологичности и т. п.

Коррекция, то есть снижение факторов расплаты путем полной или частичной компенсации вредных функций системы, исправления ее недостатков.

Пример. Применение антифрикционных и виброгасящих прокладок, гибких муфт, компенсирующих несоосность валов, «плавающих» установочных элементов и т. п.

Универсализация, то есть увеличение количества выполняемых системой полезных функций. Чаще всего на данную систему переносятся функции других систем, входящих в одну надсистему с ней.

Пример. Корпус магнитолы «Рига-110» сохранил размеры выпускавшегося десять лет назад радиоприемника «Рига-103». Но теперь он включает, помимо собственно приемника, еще и встроенный магнитофон, то есть увеличилось количество выполняемых функций.

Специализация, то есть резкое повышение качества выполнения одних полезных

функций при отказе от других.

Пример. Создание гаммы специализированных автомобилей: машины для уборки мусора, поливания улиц, снегоуборочные, пожарные и т. д.

Повышение единичной мощности транспортного, обрабатывающего, добывающего, энергетического оборудования.

Пример. Как уже было отмечено, мощность турбогенераторов примерно за 20 лет возросла со 100 до 500 тысяч киловатт. Несмотря на то что этот рост сопровождался увеличением факторов расплаты (вес, стоимость и т. д.), до последнего времени он был оправдан, так как относительные характеристики все же росли. В настоящее время мощности достигли уровня миллиона киловатт, но дальнейший рост не предвидится, очевидно, в связи с тем, что факторы расплаты (потери в народном хозяйстве при аварийной остановке генератора) достигли недопустимых величин.

Для поиска технических решений, обеспечивающих повышение идеальности в рамках существующей конструктивной концепции, могут быть использованы достаточно простые методы – **функциональный подход и поэлементный экономический анализ**.

Функциональный подход был предложен сотрудником фирмы «Дженерал электрик» (США) Л. Майлзом в конце 40-х годов [1]. Его метод заключается в том, что при совершенствовании или создании той или иной технической системы или ее подсистемы сначала формулируют комплекс выполняемых функций, затем ищут альтернативные возможности их реализации, оценивают стоимость их выполнения, после чего выбирают наиболее экономичный вариант. Кроме этого, полезно при анализе функций выделять среди них основные, вспомогательные и второстепенные, а также вредные и искать пути улучшения выполнения полезных, уменьшения стоимости полезных и вспомогательных и избавления от вредных.

Поэлементный экономический анализ предложен в начале 50-х годов инженером Пермского телефонного завода Ю.М. Соболевым, который рекомендует разделять элементы конструкции на основные и вспомогательные [18]. Соболев утверждает, что главное внимание конструктора всегда привлечено к основным элементам конструкции, в результате чего вариант выполнения вспомогательных элементов выбирается полуслучайно, без экономической проработки. Отсюда вывод: всегда имеется возможность удешевления производства за счет выбора наиболее экономичного варианта выполнения вспомогательных элементов.

Оба метода позволяют при заданных полезных функциях снижать затраты – один из факторов расплаты.

Повышение идеальности при радикальном изменении конструктивной концепции, принципа действия системы связано с качественными скачками в развитии и реализуется путем разрешения или снятия накопившихся в процессе количественных изменений противоречий. Этот процесс регулируется законами развития технических систем, приведенными ниже.

Практика показала, что зачастую высокоэффективные решения, связанные с качественным изменением системы, сильно повышающие степень идеальности, очень долго не внедряются. В то же время другие решения, пусть и не дающие

такого эффекта, внедряются куда быстрее. Чаще всего это связано с наличием необходимых ресурсов – веществ, энергии, оборудования и т. п. Для данного конкретного предприятия решения, учитывающие наличие имеющихся ресурсов и местных ограничений, позволяющие минимизировать факторы расплаты, предпочтительнее. То есть их **частная, локальная идеальность** выше. Как правило, решая практические задачи совершенствования конкретных технических систем, приходится ориентироваться не на общую, а на локальную идеальность. Использование ресурсов технических систем является одним из важных механизмов повышения идеальности как общей, так и частной.

Во многих случаях необходимые для решения задачи ресурсы имеются в системе вгодном для применения виде – **готовые ресурсы**. Нужно только догадаться, как их использовать. Но нередки ситуации, когда имеющиеся ресурсы могут быть использованы только после определенной подготовки: накопления, видоизменения и т. п. Такие ресурсы называются **производными**. Нередко в качестве ресурсов, позволяющих совершенствовать техническую систему, решить изобретательскую задачу, используются также физические и химические свойства имеющихся веществ – способность претерпевать фазовые переходы, менять свои свойства, вступать в химические реакции и т. п.

Рассмотрим ресурсы, наиболее часто используемые при совершенствовании технических систем.

Ресурсы вещества готовые – это любые материалы, из которых состоит система и ее окружение, выпускаемая ею продукция, отходы и т. п., которые, в принципе, можно использовать дополнительно.

Примеры. На заводе, выпускающем керамзит, последний используют в качестве набивки фильтра для очистки технической воды.

На севере в качестве набивки фильтров для очистки воздуха используют снег.

Ресурсы вещества производные – вещества, получаемые в результате любых воздействий на готовые вещественные ресурсы.

Примеры. Для защиты труб от разрушения серосодержащими отходами нефтеперегонного производства через трубы предварительно прокачивают нефть, а потом продувкой горячего воздуха окисляют оставшуюся на внутренней поверхности нефтяную пленку до лакообразного состояния.

Для мытья посуды в ресторанах предложено использовать вместо мыла раствор натриевой соды, которая омыливает пищевые жиры, имеющиеся на грязной посуде.

Ресурсы энергии готовые – любая энергия, нереализованные запасы которой имеются в системе или ее окружении.

Примеры. В опрыскивателе для деревьев давление жидкости создается под действием шагов работающего благодаря закрепленному на его сапоге насосу.

Абажур для настольной лампы вращается благодаря конвекционному потоку воздуха, создаваемому теплом лампы.

Оттаивание вечной мерзлоты производят с помощью тепла воды, добытой из глубокой (за пределами вечной мерзлоты) скважины.

Ресурсы энергии производные – энергия, получаемая в результате преобразования

готовых энергетических ресурсов в другие виды энергии, либо изменения направления их действия, интенсивности и других характеристик.

Примеры. В магнитогидродинамическом насосе для перекачивания жидких металлов магнитное поле создается электромагнитом, получающим энергию от термопар, использующих тепло расплавленного металла.

Свет электрической дуги, отраженный зеркалом, прикрепленным к маске сварщика, освещает место сварки.

Ресурсы информации готовые – информация о системе, которая может быть получена с помощью полей рассеяния (звукового, теплового, электромагнитного и т. п.) в системе либо с помощью веществ, проходящих через систему либо выходящих из нее (продукция, отходы).

Примеры. При включении и выключении линий электропередачи возникают мощные электромагнитные импульсы. Их используют для глубинного зондирования Земли при поиске полезных ископаемых.

По биению пульса тибетская медицина диагностирует до 200 болезней. Известен способ определения марки стали и параметров ее обработки по летящим при обработке искрам.

Ресурсы информации производные – информация, получаемая в результате преобразования непригодной для восприятия или обработки информации в полезную, как правило, с помощью различных физических или химических эффектов.

Примеры. Для изучения распределения давлений в труднодоступных местах, например между матрицей и плитой пресса, между ними укладывают тонкие листы белой и копировальной бумаги. В результате на белых листах появляются отпечатки, показывающие распределение давлений.

Для устранения перегрузки летчика визуальной информацией было предложено закрепить на его животе специальные электроды. При появлении крена самолета на них подается слабое напряжение, и пилот ощущает легкое «щекотание» со стороны крена.

При возникновении и развитии трещин в работающих конструкциях возникают слабые звуковые колебания. Специальные акустические установки улавливают звуки в широком диапазоне, обрабатывают их с помощью ЭВМ и с высокой точностью оценивают характер возникшего дефекта и его опасность для конструкции.

Ресурсы пространства готовые – имеющееся в системе или ее окружении свободное, незанятое место. Эффективный способ реализации этого ресурса – использование пустоты вместо вещества.

Примеры. Для хранения газа используют естественные полости в земле. Для экономии сельскохозяйственных угодий помидоры сажают между деревьями фруктового сада.

Для экономии места в вагоне поезда дверь купе вдвигается в межстеночное пространство.

Ресурсы пространства производные – дополнительное пространство, получаемое в результате использования разного рода геометрических эффектов.

Пример. Использование ленты Мебиуса позволяет не менее чем в два раза повысить эффективную длину любых кольцевых элементов: ременных шкивов, магнитофонных лент,

ленточных ножей и т. п.

Ресурсы времени готовые – временные промежутки в технологическом процессе, а также до или после него, между процессами, не использованные ранее или использованные частично.

Примеры. В процессе транспортировки нефти по трубопроводу производится ее обезвоживание и обессоливание.

В роторно–конвейерных линиях технологическое движение совмещено с транспортным. Танкер, перевозящий нефть, одновременно ведет ее переработку.

Ресурсы времени производные – временные промежутки, получаемые в результате ускорения, замедления, прерывания или превращения в непрерывные протекающих процессов.

Примеры. Использование ускоренной или замедленной съемки для быстротекущих или очень медленных процессов.

Передача информации в виде короткого импульса, сжатого во времени.

Ресурсы функциональные готовые – возможности системы и ее подсистем выполнять по совместительству дополнительные функции, как близкие к основным, так и новые, неожиданные (сверхэффект).

Примеры. Лет 15 назад было установлено, что аспирин разжижает кровь и потому в некоторых случаях оказывает вредное действие. А недавно это его свойство было использовано для профилактики и лечения инфарктов.

Для улучшения качества записи певца микрофон устанавливают в его ушной раковине.

Ресурсы функциональные производные – возможности системы выполнять по совместительству дополнительные функции после некоторых изменений.

Примеры. В прессформе для отливки деталей из термопластов литниковые каналы выполняются в виде полезных изделий, например, букв азбуки.

Подъемный кран при помощи несложного приспособления сам поднимает свои подкрановые блоки при ремонте.

Было предложено в двухрядном автомобильном двигателе отключать при необходимости один из рядов цилиндров от подачи топлива и использовать его как компрессор.

Системные ресурсы – новые полезные свойства системы или новые функции, которые могут быть получены при изменении связей между подсистемами или при новом способе объединения систем.

Примеры. Мощные турбогенераторы объединяют парами, так что один работает в режиме генератора, питающего второй, который работает в режиме двигателя и вращает первый. Такое соединение позволяет испытать оба генератора в работе на полной нагрузке. Нужно только для покрытия потерь в машинах добавить приводной двигатель небольшой мощности.

Технология изготовления стальных втулок предусматривала их точение из прутка, сверление внутреннего отверстия и поверхностную индустриальную закалку. При этом из-за закалочных напряжений на внутренней поверхности нередко возникали микротрешины. Было предложено изменить порядок операций – сперва точить наружную поверхность, потом проводить

поверхностную закалку, а потом высверлить внутренний слой материала. Теперь напряжения исчезают вместе с высверленным материалом.

Наиболее эффективно решаются задачи, когда удается использовать в качестве ресурсов вредные вещества, поля, вредные функции системы. В этом случае получается двойной эффект – избавление от вреда и дополнительный выигрыш.

Примеры. Кресло водителя самосвала выполнено таким образом, что при вибрациях, неизбежных при движении, накачивает воздух.

Выхлоп трактора подведен через лемех плуга в землю и продукты сгорания обезвреживаются, одновременно удобряя землю.

Пьезогенератор использует шум двигателя для генерации электроэнергии, необходимой для разных устройств самолета.

Электрохимическая обработка на переменном токе дешевле, но при ней инструмент разрушается не меньше, чем изделие. Это нежелательное явление сделали полезным, превратив в инструмент вторую деталь, например, для приработки зубчатых колес, работающих в паре, их опускают в электролит и подключают к источнику переменного тока.

Наиболее эффективным является комбинированное использование ресурсов разных видов.

Примеры. Автомобиль–бетономешалка использует ресурс времени (бетон изготавливается при его транспортировке) и энергии (вращение бетономешалки осуществляется от двигателя автомобиля).

Детали, полученные литьем, очищают от литейной земли, помещая их в ванну с водой, в которой с помощью электрического разряда создается электрогидравлический удар. Но этот способ сопровождается очень сильным грохотом. Закрывать ванну крышкой сложно.

Предложено покрывать воду пеной, гасящей звук. Для этого в воду добавляется немного мыла. Использованы вещественные ресурсы (вода и воздух), а также энергетические и функциональные (пена сбивается с помощью электрогидравлических ударов).

Источники ресурсов, их местонахождение могут быть различными. Ресурсы могут располагаться в **оперативной зоне**, то есть в зоне, в которой непосредственно происходит рабочий процесс, в других подсистемах данной системы либо являться ее продукцией или отходами.

Примеры. Выхлопные газы снегоуборочной машины направляются на формируемые снежные валки, уплотняя их.

Силосная башня обогревает коровник, построенный вокруг нее. Проточку железнодорожных колес ведут во время движения поезда с помощью несложного приспособления.

При бурении скважин под сваи вынутый из земли грунт смешивают с вяжущим веществом и из этого материала изготавливают сваи.

Тепло, излучаемое чугунной отливкой, с помощью экранов направляют на нее, тем самым регулируя равномерность ее остывания для исключения внутренних напряжений.

Другими источниками ресурсов могут быть системы – соседи по общей надсистеме, их продукция или отходы, а также внешняя среда (воздух, вода, почва, различные фоновые поля: гравитационное, электрическое, магнитное, тепловое и т. п.).

Примеры. Стеклоочиститель автомобиля используют в качестве антенны автомобильного радиоприемника.

Для оттаивания мерзлого грунта используют солнечное тепло, сконцентрированное большими линзами из прозрачной полиэтиленовой пленки, заполненной водой.

Электрическое поле Земли используют для управления полетом самолета на малой высоте.

Среди ресурсов надсистемы и внешней среды необходимо особо отметить «копеечные» ресурсы – широкодоступные, дешевые вещества.

Примеры. В качестве добавки к корму для свиней используют вспученную горную породу перлит.

Золу тепловых электростанций используют стимулятор роста растений, в качестве наполнителя бетона.

Для предотвращения окисления раскаленная деталь, предназначенная для горячей штамповки, посыпается силикатным стеклом, которое, плавясь, покрывает поверхность детали тонким слоем. При ударе пресса во время штамповки защитный слой рассыпается.

Для облегчения поиска и использования ресурсов можно воспользоваться алгоритмом поиска ресурсов (рис. 5).

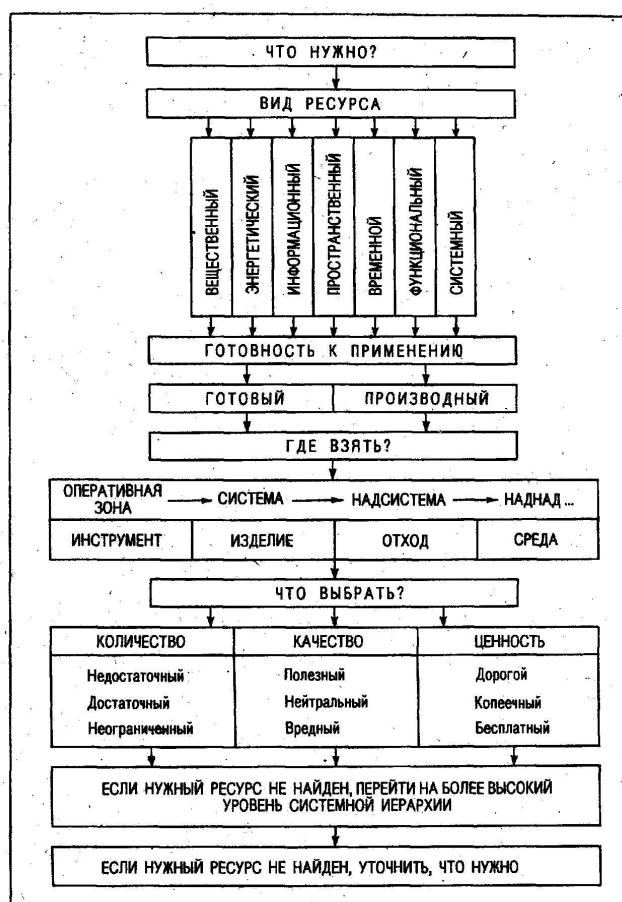


Рис. 5. Алгоритм поиска ресурсов

В развитии технических систем выявленные ресурсы могут использоваться по–разному. Самое простое – избавиться от ненужных ресурсов.

Пример. После проведения испытаний и уточнения расчетов выяснилось, что крыло

проектируемого самолета имело избыточную прочность и, следовательно, лишний вес. Было предложено снизить толщину конструктивных элементов.

Другая возможность использования ресурсов – использование их для решения поставленной задачи.

Пример. При создании портативных раций для альпинистов возникла проблема обеспечения температурной стабилизации кварцевого кристалла генератора. Обычный термостабилизатор получался чересчур тяжелым, требовал специального питания. Был выявлен и использован ресурс – стабильная температура человеческого тела. Термостабилизацию кристалла обеспечили, расположив его под мышкой альпиниста.

Еще одна возможность использования ресурсов – поиск задач, для решения которых могли бы быть использованы выявленные ресурсы. Такая ситуация часто возникает при попытке использования отходов производства, свободных промежутков между операциями технологических процессов, дополнительных функциональных возможностей технической системы.

Пример. Долго искали возможность использования медузы – каменной пыли, остающейся после распиловки камня. Позже было предложено добавлять ее в бетон. При этом снижается потребность в цементе без ухудшения качества бетона.

В ТРИЗ используется удобное на практике понятие о повышении степени идеальности как о приближении технической системы к некоторой **идеальной машине**, которая определяется как **машина, которой нет, а ее функции выполняются**. Аналогично можно определить **идеальный технологический процесс как процесс, которого нет, а результат его – продукция – получается**. Существование технической системы – не самоцель, она нужна для выполнения полезных функций. Идеально, когда такая техническая система выполняет их без всякой расплаты – не имеет веса, размеров, не затрачивает энергию, материалы и т. д. Разумеется, достижение этого в реальности невозможно, за исключением тех случаев, когда выполнение нужных функций берет на себя (по совместительству) какая–то другая, уже имеющаяся система (использован функциональный ресурс). Закон повышения степени идеальности технических систем является важнейшим в ТРИЗ. На базе понятия идеальности вводится представление об идеальном решении, **идеальном конечном результате (ИКР)** решения. Формулирование ИКР по заданным строгим правилам – один из главных элементов решения изобретательских задач с помощью АРИЗ. Именно ИКР позволяет выбрать среди множества направлений решения наиболее перспективное, потому что хотя он, как правило, недостижим, но в непосредственной близости от него лежит область изобретательских решений высокого уровня.

Ориентация на идеальность позволяет резко улучшить работу проектировщика, конструктора. Обычно конструктор подходит к задаче так: нужно осуществить то–то и то–то, следовательно, понадобятся такие–то механизмы и устройства. Правильный подход выглядит совершенно иначе. Нужно осуществить то–то и то–то и сделать это желательно, не вводя в систему новые механизмы и устройства. В своих воспоминаниях конструктор А. Морозов, один из создателей советского танка Т–34, писал, что в работе руководимого им коллектива главным был

принцип: «самой надежной, непоражаемой, легкой и дешевой является та деталь, которой нет в машине... Сложное сделать легко, куда сложнее сделать просто» («Чем больше отдаляется война». Литературная газета, 27 февраля 1985 г.).

Развортывание—свертывание технических систем

Повышение идеальности технических систем осуществляется путем **развертывания** – увеличения количества и качества выполняемых полезных функций за счет усложнения системы, и **свертывания** (термин предложен И.М. Верткиным) – упрощения системы при сохранении или увеличении количества и качества полезных функций.

На всех этапах развития процессы развертывания и свертывания могут чередоваться, приходя на смену друг другу, частично или полностью перекрываться, действуя параллельно, то есть при общем развертывании системы отдельные ее подсистемы могут свертываться, и наоборот.

Развортывание технической системы начинается с момента ее рождения, то есть создания **функционального центра** – основной функциональной цепочки из подсистем (элементов), способных в совокупности выполнить основную функцию системы, и продолжается сначала в рамках существующей конструктивной концепции, а затем и при ее изменении.

Функциональный центр создается путем объединения ранее самостоятельных систем (со своими функциями) и подсистем, специально созданных для работы в новой системе и обеспечения в совокупности с первыми получения нового системного свойства. При этом объединяются системы, дополняющие действие друг друга, а также компенсирующие (устраняющие, не допускающие) вредные функции.

Пример. Функциональный центр автомобиля – мотор, шасси с колесами, простейшее управление и запас горючего – по сути дела, скелет автомобиля, напоминающий современный китинг. Почти таким был первый автомобиль, построенный Венцем. При его создании были объединены существовавшие к тому времени двигатель и коляска. Новыми подсистемами были рулевое управление и коробка передач.

При создании первого радиоприемника были объединены дополняющие друг друга известные элементы – когерер, электрическая батарея; новый элемент – антенна; компенсирующий элемент – молоточек, встряхивающий слипшиеся опилки когерера после прохождения сигнала и тем самым подготавливая его к приему следующего сигнала.

При создании функционального центра должны быть выполнены следующие требования.

Все звенья основной функциональной цепочки должны быть минимально жизнеспособны.

Пример. Самолет А.Ф. Можайского имел более совершенные, чем у самолета братьев Райт, фюзеляж и органы управления. Однако два элемента его функциональной цепи были принципиально нежизнеспособны. Это – крылья жесткие и плоские, то есть неспособные обеспечить необходимую подъемную силу, и паровые машины в качестве двигателей, имеющие слишком большой вес при малой тяге и неспособные поднять самолет. Многие элементы

самолета братьев Райт были хуже и примитивнее, чем у самолета А.Ф. Можайского, но благодаря тому, что все они обладали минимальной жизнеспособностью, самолет летал.

Все звенья функциональной цепочки должны быть связаны между собой энергетической, вещественной, функциональной или информационной связью. В большинстве систем совмещаются разные виды связей.

Примеры. Между электростанциями, входящими в энергетическое кольцо, связь энергетическая и информационная (станции получают из центра информацию о том, какую необходимую мощность нужно дать в систему в данный момент).

Между подсистемами автомобиля следующие связи: энергетическая (идет преобразование энергии из одного вида в другой), вещественная (узлы связаны конструктивно) и функциональная.

Между отдельными инструментами в готовальне связь функциональная (все они предназначены для выполнения определенного набора функций).

Между радиоминой и ее взрывателем, расположенным за сотни километров, связь информационная (сигнал). При этом энергетическая связь не обязательна (командой на взрыв может быть, например, отсутствие сигнала).

В радиоустройстве детали соединены вещественными связями (закреплены на платах), энергетическими (через них проходит энергия во время работы) и функциональными (каждая деталь дополняет и продолжает действие других).

Разворачивание технической системы в процессе ее развития в рамках существующей конструкции происходит от функционального центра к периферии системы и предусматривает:

1. Включение в систему дополнительных подсистем (элементов), повышающих качество выполнения основных функций, компенсирующих недостатки.

Пример. Введение в автомобиле элементов регулирования, например, гидравлической коробки передач, баллонов с регулируемым давлением, кузова, защищающего пассажиров, и т. п.

2. Включение в систему дополнительных подсистем (элементов), расширяющих ее функциональные возможности.

Пример. Компьютер на автомобиле, определяющий оптимальные режимы, рекомендующий маршрут; другое оборудование – радиоприемник, зажигалка, откидывающиеся кресла и т. п.

3. Увеличение числа ступеней (уровней) в иерархии за счет ее внутрисистемного дробления путем разделения системы на однородные подсистемы (элементы) либо на разнородные (разнофункциональные) подсистемы.

Пример. Современное судно – лихтеровоз, состоящее из носовой оконечности, обеспечивающей обтекаемость, и кормовой, снабженной двигателями, а также жилыми помещениями. Между носом и кормой расположены сменные баржи – лихтеры. Такое судно собирается на рейде и идет своим ходом до порта разгрузки, где лихтеры не разгружают, а заменяют, и судно без задержек идет в обратный рейс.

4. Переход к ретикулярной (сетевой) структуре.

Пример. Переход в вычислительной технике от систем с центральным процессором к системам с параллельными вычислениями, с большим количеством процессоров.

Развертывание технической системы происходит также за счет перехода в надсистему. Для осуществления перехода используется один из следующих путей:

Создание надсистемы из разнородных подсистем (элементов), дающих новые системные свойства. Это эквивалентно созданию новой системы.

Создание надсистемы из одинаковых или однородных подсистем (элементов) – полисистемы. Простейшим случаем полисистемы является **бисистема** – полисистема из двух элементов. В полисистему могут объединяться как сложные, высокоразвитые системы, так и простые элементы.

Примеры. Полисистемы: информационно–вычислительная сеть из ЭВМ; трос, сплетенный из множества проволочек. Бисистемы: катамаран, двухцветный карандаш.

Создание надсистемы из системы (элементов) со сдвинутыми (то есть близкими, но неодинаковыми) характеристиками.

Примеры. Набор цветных карандашей или карандашей разной твердости.

Протяжка – многолезвийный режущий инструмент, включающий набор режущих элементов, каждый из которых заточен и расположен немного иначе, чем другие.

Создание надсистемы из альтернативных (конкурирующих) систем. В тех случаях, когда для выполнения той или иной функции, достижения той или иной цели имеется несколько различных путей (систем) и возможности каждого из них практически исчерпаны (система достигла насыщения), дальнейшее развитие возможно объединением систем разных типов, причем объединение проводится так, что недостатки каждой из систем компенсируются, а преимущества складываются.

Примеры. Созданный Д.Д. Максутовым телескоп, объединяющий линзовую и зеркальные конструкции; турбовинтовой двигатель, объединяющий преимущества реактивного и винтового двигателей; активно–реактивный снаряд, объединяющий точность артиллерийского снаряда с дальностью полета ракеты.

На сегодняшний день это один из широко применимых способов развития, дающий возможность достаточно легко повышать параметры системы.

Объединение конкурирующих систем возникает и тогда, когда одна система достигла своего потолка, а другая, перспективная, идущая ей на смену, еще не может ее заменить полностью.

Примеры. Паровая машина позволила решить самую трудную для парусного судоходства проблему – преодоление полос штиля. Но на первых этапах развития она еще не могла обеспечить трансатлантического путешествия из–за низкой экономичности. Тогда появились парусно–паровые корабли. По аналогичной причине в 40–х годах появились самолеты с ракетными ускорителями, а в наше время создаются автомобили с электродвигателем и двигателем внутреннего сгорания.

Иногда объединяются системы, которые только условно можно назвать конкурирующими, так как они предназначены для аналогичной деятельности, но в разных областях. Объединение позволяет им занять область, которую ни одна из систем в отдельности не может занять, в которой они обе неэффективны.

Пример. Бетон плохо работает на растяжение и потому его применение в тяжело нагруженных конструкциях ограничено. Сталь хорошо выдерживает растяжение, но легко теряет устойчивость при сжатии, слишком дорога для строительных конструкций. Железобетон, в котором бетонные блоки армированы стальными стержнями или проволокой, позволил развернуть широкое и разнообразное строительство. Еще более широкие возможности открывает применение различных метонов – металлобетонов, в которых песок и щебень (обычные составные части бетона) соединены воедино расплавленным металлом.

Создание надсистемы из инверсных систем (систем с противоположными функциями). Объединение систем с противоположными функциями позволяет повысить управляемость надсистемы, произвольно менять ее параметры в широком диапазоне.

Примеры. Объединение нагревателя с холодильником дает кондиционер. Известно использование вместо двух систем трубопроводов (по одной транспортировалась пульпа, разрушающая трубы, а по другой – щелочная жидкость, осаждавшаяся на стенках и забивающая трубы) одной с попеременной перекачкой пульпы и щелочной жидкости.

Свертывание технической системы проходит три последовательных этапа: **минимальное, частичное и полное.** Рождается техническая система минимально (в некоторых случаях частично) свернутой.

Минимальное свертывание технической системы – создание связей между исходными системами (превращающимися теперь в подсистемы), обеспечивающих появление системного эффекта при минимальном их изменении. В большинстве случаев связи носят временный характер, возможен возврат исходных систем к самостоятельному функционированию.

Пример. Книжный стеллаж, изготовленный из стандартных полок, скрепленных между собой.

Частичное свертывание – изменение подсистем с целью упрощения, подгонки друг к другу, при этом улучшается работа системы: уменьшаются потери, повышается надежность и т. п. Усиливаются связи между подсистемами, но возможность их выхода из системы нередко еще сохраняется, правда, с понижением эффективности работы.

Свертывание идет, как правило, в направлении, обратном развертыванию, – от периферии системы к ее функциональному центру (со вспомогательных, сервисных, защитных и т. п. подсистем, системообразующих элементов).

Примеры. Переход к бескорпусным конструкциям приборов, микросхем. Переход от наружного крепления крыла (стоеч, растяжек) в самолетах к элементам крепления, расположенным внутри толстого крыла (лонжероны, стрингеры, нервюры и т. п.).

Процесс свертывания включает использование всех видов ресурсов и предусматривает следующие действия:

Исключение дублирования функций отдельных подсистем, передача определенных функций специализированным подсистемам.

Пример. В старых телекомбайнах телевизор, радиоприемник, магнитофон и проигрыватель имели каждый свой усилитель. Сегодня в подобных системах один усилитель обслуживает все подсистемы.

Совмещение отдельных подсистем, слияние их функций, в том числе переход от последовательных технологических процессов к параллельным, совмещение технологических операций.

Примеры. В поршневом самолете двигатель и движитель (винт) были разными подсистемами. В реактивном самолете двигатель является одновременно и движителем. Обезжиривание, травление образца и его химическое покрытие проводятся в одной ванне за счет использования комплексного раствора, обеспечивающего все нужные действия.

Упрощение внутренней структуры системы и ее подсистем, в том числе: исключение отдельных элементов системы (отдельных технологических операций в технологических процессах);
укрупнение элементарных подсистем (неразборных блоков).

Примеры. Поворотный круг для тепловозов – громоздкая система, включающая крупные подшипники, электропривод и т. п. Было предложено заменить его поплавком на поверхности искусственного водоема.

Точное литье позволяет исключить некоторые операции механической обработки. В первых радиоэлектронных устройствах элементарными подсистемами были радиодетали – лампы, резисторы, конденсаторы. Потом – интегральные схемы – усилители, фильтры, включающие тысячи элементов.

Полное свертывание – полное изменение подсистем, установление между ними неразрывных связей. Система становится более простой, выход из нее бывших подсистем становится невозможным. На этом этапе система со всеми ее подсистемами, связями и т. д. часто заменяется «умным» веществом, выполняющим нужные функции за счет использования разных физических, химических и других эффектов.

Примеры. Радиоэлементы в интегральной микросхеме. Использование для поддержания постоянной температуры в течение некоторого времени процесса плавления и затвердения вещества вместо сложных систем терморегуляции.

Полностью свернутая техническая система может продолжать развитие, включаться в различные надсистемы, снова развертываться при условии постоянного повышения идеальности.

Пример. Датчик давления обычного типа включает мембрану, тензометры и органы настройки для обеспечения тарированного сигнала, всего несколько десятков деталей. Было предложено заменить эти датчики куском резины, в которую при изготовлении введены электропроводные частицы – медный порошок. При сжатии резины пропорционально давлению меняется электрическое сопротивление резины. Система свернулась в вещество. Дальнейшее развертывание возможно путем распределения электропроводных частиц в резине по

специальному закону, для повышения линейности показаний или, наоборот, получения нужной нелинейности, анизотропии. Возможна замена медных частиц на ферромагнитные, например, для управления их распределением или для упрощения установки датчика в нужном месте, замена твердых частиц электропроводной жидкостью, пропитывающей пористое тело, и т. п.

Свертывание при рождении надсистемы и ее дальнейшее развитие в принципе не отличается от свертывания при рождении и развитии системы низшего уровня. Следует отметить, что свертывание, как правило, сильнее изменяет исходную систему, чем развертывание, дает решения более высокого уровня.

Повышение динаминости и управляемости технических систем

В процессе развития технической системы происходит повышение ее динаминости и управляемости, то есть способности к целенаправленным изменениям, обеспечивающим улучшение адаптации, приспособление системы к меняющейся, взаимодействующей с ней среде.

В переводе с латыни «динамизм»— богатство движений, наполненность действием. Как уже было сказано, важнейшим принципом разрешения противоречий является превращение прежде постоянного, неизменяемого параметра в переменный, изменяемый согласно нашим требованиям, то есть управляемый. Повышение динаминости дает системе возможность сохранять высокую степень идеальности при значительных изменениях условий, требований и режимов работы.

Пример. Самолет с изменяемой в зависимости от режима полета геометрией крыла, корпуса и др.

Техническая система рождается, как правило, статичной, неизменяемой, узко – или даже однофункциональной. В процессе развития идет **переход к мультифункциональности**.

1. Переход к системам со сменными элементами. Аппаратный принцип, при котором выполнение той или иной функции задано устройством системы, для смены нужно вводить элементы из надсистемы.

Примеры. Дрель со сменными сверлами.

Токарный автомат, который можно быстро перенастроить, меняя управляющие кулачки и рабочий инструмент.

Программный принцип, при котором в системе имеются все нужные блоки и выполнение той или иной функции задается программой их соединения или подключения.

Примеры. Токарно–револьверный станок, обрабатывающий центр, современная ЭВМ.

2. Переход к системам с изменяющимися элементами

Пример. Использование надувных резиновых мешков для прижима при склейке деталей.

В процессе развития технических систем происходит **переход к системам с увеличенным числом степеней свободы**, с повышением возможностей системы к изменениям:

1. От статичных неизменяемых систем к системам с механическими изменениями: с применением шарниров; с применением шарнирных и других (зубчатых, пневматических, гидравлических и т. п.) механизмов, изменяющих направление и величину действующих сил; с применением эластичных, гибких, пластичных и т. п. материалов.

Примеры. Шарнирное соединение секций в двухсекционном «Икарусе». Использование в судостроении эластичных покрытий типа «ламинфло», сделанных по типу дельфиньей кожи, что позволяет значительно увеличить скорость кораблей.

Использование тросовых конструкций.

2. Переход к системам, изменяемым на микроуровне, за счет свойств входящих в них веществ, нелинейных зависимостей параметров, фазовых переходов всех видов, химических превращений.

Примеры. Закрепление деталей при обработке при помощи легкоплавкого вещества; использование нелинейности магнитных свойств веществ для ограничения тока; введение в закалочное масло вещества, разлагающегося с выделением газов при нагреве, что обеспечивает эффективное перемешивание масла (барботаж), повышающее качество закалки.

3. Переход к системам, в которых изменяется, перемещается, становится более динамичным не вещество, а поле.

Примеры. Сегодня в радиолокации вместо качающихся антенн начинают использовать фазированные антенные решетки, в которых регулируется фаза излучения множества отдельных излучателей, в результате чего можно свободно маневрировать диаграммой направленности излучения – качать ее в любой плоскости с недостижимой для механики скоростью, даже разделять на несколько «лучей».

В металлургии для перемешивания жидкого металла используют вместо механических мешалок электромагнитные перемешиватели.

Система рождается, как правило, неуправляемой. **Повышение ее управляемости** предусматривает:

1. Принудительное управление состоянием системы:
введение управляемых веществ, устройств;
введение управляемых полей;
введение хорошо управляемого процесса, действующего против основного, которым нужно управлять.

Примеры. Введение различного рода запорной и регулирующей потоки арматуры, катализаторов или ингибиторов.

Для управления перемещением предметного столика микроскопа воздействуют на связанный с ним микрометрический винт, нагревая его.

Тренер регулирует скорость ленты тренажера, тем самым управляя скоростью бегущего по ней спортсмена. Для обеспечения заданного графика охлаждения детали ее одновременно с подачей охлаждающей среды нагревают, пропуская электрический ток.

2. Переход к самоуправлению:
за счет введения обратных связей;
использование «умных» веществ – разнообразных физических и химических эффектов, явлений.

Примеры. Системы автоматического управления станками, автопилоты.

Для управления процессом опреснения воды в ионообменной установке было предложено использовать в качестве задвижки сам пакет с ионообменной смолой, меняющей свой объем в зависимости от степени солености воды. При уменьшении солености объем пакета становится меньше, – больше воды подается на опреснение.

В процессе развития происходит **изменение устойчивости** технической системы:

1. От системы с одним статически устойчивым состоянием к системе с несколькими устойчивыми состояниями (мультиустойчивость).

Примеры. Тумблер с двумя или более рабочими положениями, который нельзя установить в промежуточном положении.

Выпуклая пружинистая мембрана, имеющая два устойчивых состояния.

2. От систем, устойчивых статически, к системам, устойчивым динамически, то есть за счет движения, проходящего через систему потока энергии, управления.

Пример. Трехколесный велосипед обладает статической устойчивостью, двухколесный – динамической. Чем выше статическая устойчивость самолета, тем он безопаснее, но менее маневренен. Сейчас создаются самолеты, которые имеют минимальный, а иногда и нулевой запас устойчивости, а их безопасность обеспечивается непрерывной работой автоматов и рулей по устранению отклонений. Такой самолет очень маневренен.

3. Использование неустойчивых систем, моментов потери устойчивости.

Примеры. Применение взрывчатых веществ, цепных реакций, процессов самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, систем, способных запасать энергию и в нужный момент толчком освобождать ее (системы типа «спусковой крючок»).

Переход технических систем на микроуровень. Использование полей

Развитие технических систем идет в направлении все большего использования глубинных уровней строения материи (вещества) и различных полей. Анализ патентного фонда позволяет выделить ряд уровней строения систем, каждый из которых характеризуется размерами типовых элементов, видом связи между ними, а также применяемыми эффектами и явлениями:

- 1) макроуровень – системы включают узлы и детали специальной формы (шестеренки, рычаги, втулки и т. п.);
- 2) полисистемы из элементов простой геометрической формы (конструкции, набранные из стальных листов, нитей, шариков; магнитные сердечники, иглофрезы, тросы и т. п.);

- 3) полисистемы из высокодисперсных элементов (порошки, эмульсии, аэрозоли, суспензии);
- 4) системы, использующие эффекты, связанные со структурой веществ – аморфных и кристаллических, твердых и жидких, с кристаллическими перестройками и фазовыми переходами (надмолекулярный уровень);
- 5) системы, использующие молекулярные явления – различные химические превращения (разложение и синтез, полимеризация, катализ и ингибирирование и т. п.);
- 6) системы, использующие атомные явления – физические эффекты, связанные с изменением состояния атомов веществ (ионизация и рекомбинация, действие элементарных частиц, в том числе электронов, и т. п.);
- 7) системы, использующие вместо веществ действие различных полей – тепла, света, электромагнитных взаимодействий и т. п.

Следует отметить, что переход на микроуровень характерен для используемых в технической системе не только веществ, но и пустот. Как указывалось, использование в системе пустоты вместо вещества всегда выгодно – повышается идеальность.

Нужно учитывать, что когда говорится – о применении пустоты, вовсе не имеют в виду обязательно вакуум, а скорее проявление неоднородностей в веществе, полостей, заполненных другими, менее плотными веществами, – так, можно считать пустотой жидкостные и газовые включения в твердом теле, пузырьки газа (пара) в жидкости и т. п. На макроуровне использование пустоты очень разнообразно – сверления, пазы, отверстия в литье, пустотные резонаторы и т. п. Типичной полисистемой (уровень 2) можно считать сотовые конструкции, применяемые там, где необходима высокая жесткость при малом весе.

Промежуточным между уровнями 2 и 3 можно считать использование пены. Системой третьего уровня можно считать капиллярно–пористые тела. Между уровнями 3 и 4 можно разместить микропористые мембранны. Система пятого уровня – «химические» пустоты, созданные расположением молекул в так называемых клатратных соединениях, где молекулы одних веществ размещаются в полостях «каркаса», созданного молекулами других веществ. К этому же уровню относятся и широко применяемые в технике вещества – цеолиты. К шестому уровню можно отнести процессы ионизации, когда атом лишается части своих электронов, а может быть, и процессы распада атомов и элементарных частиц.

Сложилась тенденция к тому, чтобы в одном элементе системы использовать эффекты, характерные для разных уровней. Например, пористое тело (уровень 3), пропитанное жидкостью (капиллярные силы, уровень 4), может выполнять роль катализатора некоторой химической реакции (уровень 5). Для повышения интенсивности этой реакции пористое тело выполнено из электрострикционного материала (уровень 4), находящегося под действием переменного электрического поля (уровень 7).

Из истории техники известно, что человек достаточно рано овладел макроуровнем и уровнями 4 и 5 (различными химическими процессами, плавлением и т. д.). По мере развития человек все более масштабно осваивает и другие уровни.

Термин «поле» имеет различный смысл. В физике под полями понимают такие физические явления, как гравитация, электромагнитные взаимодействия, ядерные взаимодействия. В математике, сельском хозяйстве, геологии, общественной жизни слово «поле» имеет другой смысл. Понятие поля в ТРИЗ ближе всего к физическому, но имеет свои отличительные особенности. Под полем в «техническом» смысле мы будем понимать взаимодействие между объектами (веществами). Анализ патентного фонда позволил выявить ряд наиболее эффективно работающих в технике полей, а также определенную последовательность в их применении по мере развития технической системы. Эта последовательность во многом согласуется с этапами перехода на микроуровень:

Механические поля: перемещение объектов; гравитационные, инерционные, центробежные силы; изменение давления, механические напряжения; силы трения, поверхностного натяжения, адгезии и т. п.; гидродинамические и аэродинамические силы; удары, вибрации, акустика (в том числе инфра- и ультразвук).

Тепловые поля: нагрев, охлаждение.

Химические поля: синтез и разрушение молекул; использование катализаторов и ингибиторов; использование особо активных веществ: озона, фтора и т. п., введение инертных веществ; использование биохимии, запаховых и вкусовых ощущений.

Электрическое поле: электростатика, использование эффектов, связанных с электрическими зарядами (электризация, коронный разряд и т. п.); электрический ток, эффекты, связанные с прохождением тока через вещество (электролиз, электрофорез и т. п.).

Магнитное поле.

Наиболее эффективным в развитии оказывается суммарное использование различных полей, в том числе **парных комплексов** (электрохимия, электромагнетизм, тепловые явления и химия и т. п.), в сочетании с разными уровнями строения вещества.

В использовании полей также могут быть отмечены следующие тенденции.

Переход от использования поля одного знака к совмещению в одной системе действия полей противоположного направления (знака), например, возвратно-поступательного перемещения, увеличения–уменьшения давления, нагрева и охлаждения, химического разложения и синтеза, действия положительных и отрицательных электрических зарядов и т. п.

Переход к использованию переменных (периодически изменяющихся во времени или в пространстве) полей, например вибрации, акустических полей, температурных колебаний, волновых химических процессов (автоволн концентрации и т. п.), переменных токов и электромагнитных волн, в том числе света, радиации и т. п. При этом диапазон частот переменных полей расширяется, начинают использоваться пиля, связанные с собственными частотами колебаний подсистем и элементов системы, стоячие волны и т. п.

Переход к использованию импульсных и градиентных (неравномерных в пространстве или во времени) полей, например взрывов, сверхбыстрого нагрева или охлаждения, электрических и (или) магнитных импульсов.

Переход к совместному действию постоянных полей разных знаков, переменных

разных частот и импульсных полей с использованием системных эффектов от их совмещения.

Практически большинство функций, выполняемых техническими системами, могут быть реализованы на разных уровнях строения системы, с использованием разных полей. Например, функцию скрепления деталей можно выполнить на уровне 1 (болты, гайки); на уровне 2 (застежка типа «крепейник»), на уровне 3 (с помощью капиллярных сил – пинцет для удерживания мельчайших деталей, содержащий каплю жидкости, смачивающую деталь); на уровне 4 (соединение путем пайки, сварки); на уровне 5 (химический клей); на уровне 6 (с помощью переноса ионов); на уровне 7 – при помощи магнитного притяжения.

Закономерности перехода на микроуровень и применение полей широко используются в ТРИЗ в рамках ведущего анализа.

Согласование–рассогласование технических систем

В процессе развития технической системы на первых этапах происходит последовательное **согласование** системы и ее подсистем между собой и с надсистемой, заключающееся в приведении основных параметров к определенным значениям, обеспечивающим эффективное функционирование. На последующих этапах происходит **рассогласование** – целенаправленное изменение отдельных параметров, обеспечивающее получение дополнительного полезного эффекта (сверхэффекта). Конечным этапом в этом цикле развития является **динамическое согласование–рассогласование**, при котором параметры системы изменяются управляемо (а впоследствии и самоуправляемо), так, чтобы принимать оптимальные значения в зависимости от условий работы.

Согласование проявляется уже при создании системы, когда идет подбор необходимых подсистем, образующих основную функциональную цепочку. К подсистемам, помимо требования обеспечения минимальной работоспособности, предъявляется требование совместности друг с другом, поэтому случается, что подсистема, наилучшим образом выполняющая свою функцию вне системы, оказывается не лучшей для создаваемой системы.

Процесс согласования–рассогласования сопровождается повышением идеальности системы как за счет уменьшения функций расплаты, так и за счет повышения качества выполнения полезных функций. При этом часто возникает типичное противоречие: согласование одних параметров приводит к ухудшению согласования других.

Примеры. Введение ферромагнитных сердечников в электрических машинах обеспечило хорошие условия для замыкания магнитных силовых линий (согласование), что позволило резко поднять мощность и коэффициент полезного действия машин. Но одновременно улучшились и условия для протекания вихревых токов, вызывающих дополнительные потери и вредный разогрев машины. Выход был найден в рассогласовании – применении шихтованных (собранных из отдельных, электрически изолированных друг от друга листов стали) магнитных сердечников. В результате согласование для основного магнитного потока сохранилось, а для вредных вихревых токов нарушилось.

Хорошие условия прохождения магнитного потока необходимы в номинальных условиях работы, но при аварийных режимах (короткое замыкание) приводят к появлению больших

токов, способных повредить машину. Чтобы этого избежать, прибегают к динамическому рассогласованию – введению в сердечник участков насыщения», которые при номинальных токах ненасыщены и нормально проводят магнитный поток, а при аварийных токах насыщаются, их магнитное сопротивление резко возрастает, нарастание тока ограничивается.

В технике известны следующие виды согласования:

Прямое согласование – увеличение одного параметра требует увеличения другого.

Пример. Увеличение числа оборотов двигателя автомобиля требует увеличения передаточного числа коробки передач.

Обратное согласование – увеличение одного параметра требует уменьшения другого.

Пример. Увеличение числа оборотов двигателя требует уменьшения диаметра колес автомобиля.

Однородное согласование – согласование однотипных параметров.

Примеры. Температуры различных участков системы; твердости взаимодействующих материалов и т. п.

Неоднородное согласование – согласование разнотипных параметров.

Примеры. Скорость резания согласуется с твердостью и геометрией резца.
Размеры объекта согласуются с частотой его действия.

Внутреннее согласование – согласование параметров подсистем между собой.

Пример. Подбор материала пар трения для обеспечения долговечности узлов.

Внешнее согласование – согласование параметров системы с надсистемой, внешней средой.

Пример. Изменение конструкции автомобиля в зависимости от качества дорог, на которые он рассчитан. Придание автомобилю выгодной аэродинамической формы.

Непосредственное согласование – согласование систем, так или иначе связанных между собой.

Примеры. Электростанция и ее потребители; двигатель и приводимый им в движение объект.

Условное согласование – согласование систем, непосредственно не связанных друг с другом, осуществляется через глубинные (общественные) механизмы.

Пример. Связь между отдельной отраслью и уровнем техники. В 50–х годах американцы не допускали возможности запуска спутника в СССР из-за отсутствия у нас в то время ЭВМ, способных производить необходимые для этого расчеты. Правда, расчеты удалось сделать без сложных ЭВМ, создав новые математические подходы.

Технические системы в своем развитии проходят следующие этапы согласования:

Принудительное согласование – в системе, в которой имеются подсистемы с разным уровнем развития, эффективность более развитых систем снижается до уровня наименее развитых.

Пример. Скорость эскадры кораблей равна скорости самого тихоходного корабля.

Буферное согласование – согласование с помощью специально вводимых согласующих звеньев (подсистем, элементов).

Примеры. Коробка передач в автомобиле; трансформатор в электрической сети.

Свернутое согласование (самосогласование) – согласование за счет самих подсистем, обычно благодаря тому, что хотя бы одна из них может работать в динамичном режиме. Частным случаем такого самосогласования является *ресурсное согласование* – с помощью имеющихся в системе ресурсов, чаще всего – производных.

Согласованию–рассогласованию подлежат любые параметры технических систем, в том числе материалы, формы и размеры, ритмика действия, структура, энергетические, информационные и другие потоки и т. п.

Пример. Для обеспечения постоянного расстояния между сварочным электродом и металлом при подводной сварке (в том случае сварщик лишен возможности наблюдать за процессом) предложено использовать в качестве обмазки электрода вещество, плавящееся несколько медленнее, чем сам электрод. Заданное расстояние получается благодаря выступающей за край электрода трубке из не успевшей выгореть или расплавиться обмазки, внутри которой горит дуга.

Материалы

Согласование

1. Выравнивание свойств материалов по всему объему:
использование материалов высокой чистоты;
устранение внутренних напряжений в материале.

Примеры. Применение сверхчистого железа для предотвращения окисления. Отсутствие в материале примесей исключает возможность образования микрогальванических пар, вызывающих быструю коррозию.

«Отпуск» стальных изделий после закалки.

2. Использование одинаковых материалов для разных частей системы и для выполнения разных функций.

Пример. Медь очень высокой чистоты во избежание загрязнения хранят в сосудах из такой же чистой меди.

3. Устранение контактных явлений. Подбор материалов для взаимодействующих частей системы таким образом, чтобы они не оказывали разрушающего действия друг на Друга.

Примеры. Материалы, работающие в среде электролита (воды), не должны образовывать электрохимические пары; материалы, работающие в среде водорода, не должны быть подвержены водородному охрупчиванию и т. п.

Рассогласование

1. Дифференциация свойств материала по объему:
направленное легирование материалов;
использование предварительно напряженных материалов.

Примеры. Изготовление интегральных схем диффузией атомов различных примесей в чистый кремний; поверхностная закалка стали. Недавно было обнаружено, что деревья растут таким образом, что внутренняя часть испытывает значительные сжимающие, а наружная – растягивающие усилия. Это значительно повышает сопротивление при ветровом изгибе. Так же используется и предварительно напряженный железобетон, например, в конструкции Останкинской телебашни.

2. Использование разных материалов, взаимодополняющих друг друга при выполнении функций:
использование композитных материалов;
введение добавок.

Примеры. Использование метонов (металлобетонов); применение ингибиторов (замедлителей реакций) и катализаторов (ускорителей реакции).

3. Использование контактных явлений, то есть различия между веществами для получения полезного эффекта, в том числе различия физических свойств (твердости, коэффициентов термического расширения, контактной разности потенциалов, отражательной способности, электропроводности, магнитных свойств, удельного веса, поверхностного натяжения и т. д.) или химических (электрохимического потенциала, химической активности и т. д.).

Пример. Использование контактной разности потенциалов для получения сигнала о соприкосновении двух веществ.

Динамическое согласование–рассогласование

1. Использование вместо вещества полисистемы с изменяемым состоянием.

Пример. Антенна Куликова представляет собой набор дисков (катушек, пуговиц), стянутых тросиком. При натяжении тросика она превращается в стержень, при расслаблении – в «кучку».

2. Использование веществ с изменяющимся агрегатным состоянием, находящихся в смешанном агрегатном состоянии (например, смесь твердого тела и жидкости), переходящих в процессе работы из одного агрегатного состояния в другое под действием управляющего поля.

Примеры. При необходимости создать давление внутри полости в нее помещают кусочек сухого льда – твердой углекислоты.

При применение электро- и магнитореологических жидкостей, твердеющих в соответствующем поле.

3. Использование веществ с нелинейной зависимостью параметров от полей.

Примеры. Использование насыщающихся в магнитном поле ферромагнитных веществ; применение полупроводников, материала с «памятью формы».

4. Использование соединений с вспомогательными веществами, обладающими нужным свойством или создающими их, причем после того, как необходимость в нем отпадает, дополнительное вещество легко убирается или исчезает само под действием поля, окружающей среды или специальных веществ (растворителей, в простейшем случае – воды).

Пример. Получение тонких слоев порошков путем разбрзгивания и последующего выпаривания растворов, содержащих нужное вещество.

5. Самосогласование материалов.

Примеры. В активных химических средах происходит самопассивация (появление защитных пленок) некоторых металлов.

В определенных условиях в узлах трения возникают самовосстанавливающиеся (сервовитные) пленки (эффект избирательного переноса).

Формы и размеры

Согласование

1. Придание системе формы и размеров, обеспечивающих оптимальное взаимодействие с внешней средой.

Примеры. Аэродинамическая обтекаемая форма автомобилей, судов, самолетов; обеспечивающая максимальное сопротивление потоку форма парашюта.

2. Использование простых геометрических форм, легко изготавливаемых, с хорошо изученными свойствами.

Пример. Использование в строительстве кубических конструкций.

В частности, придание симметричной формы изделиям для улучшения взаимодействия с симметричными потоками среды (жидкости, газа) либо для упрощения изготовления.

Пример. Цилиндрическая форма снаряда, ракеты.

Рассогласование

1. Придание системе формы и размеров, обеспечивающих появление

дополнительного полезного эффекта.

Примеры. Для повышения ходовых качеств корабля на его носу выполняют специальное утолщение – бульб, создающий свою систему волн, которая, интерферируя с волнами, создаваемыми корпусом корабля, гасит их и тем самым снижает волновое сопротивление. Резцу придают размеры и форму, при которых возникают вибрации, способствующие обламыванию стружки при обработке изделий.

2. Использование неклассических геометрических форм, дающих новые полезные эффекты. В частности, придание асимметричной формы изделиям для получения полезного эффекта.

Пример. Скошенные стабилизаторы придают ракете возможность вращения в полете, тем самым увеличивая точность попадания в цель.

Динамическое согласование–рассогласование

1. Изменение формы и размеров происходит под действием внешнего управления.

Пример. Очки, сделанные из двух слоев гибкой прозрачной пластмассы, между которыми залит глицерин. Меняя давление глицерина, изменяют фокусное расстояние.

2. Самосогласование формы и размеров. Так, если имеются две подвижные друг относительно друга поверхности, то оптимальной формой поверхности их взаимодействия будет та, которая получается при их приработке.

Пример. После длительных расчетов и множества опытов было доказано, что оптимальной формой поверхности железнодорожного колеса является та, которая получается при начальной степени его износа.

Ритмика работы

Согласование

1. Настройка всех подсистем на работу в одном ритме.

Пример. Работа конвейерных линий.

2. Настройка ритма работы инструмента в соответствии с частотой его собственных колебаний или собственных колебаний изделия.

Пример. Для разрушения пласта угля в него через скважины закачивают воду и подают давление импульсами с частотой, соответствующей собственной частоте колебаний пласта.

Рассогласование

1. Сдвиг ритма, расстройка работы подсистем.

Пример. Периодическое изменение скорости конвейера снижает усталость рабочих.

2. Отстройка ритма работы частей изделия от частоты его собственных колебаний.

Пример. При проектировании турбин, мостов, крыльев самолетов, зданий и т. п. всегда стараются, чтобы их резонансная частота ни при каких условиях не совпадала с частотой вынужденных колебаний конструкции (совпадение может вызвать разрушение).

Динамическое согласование–рассогласование

1. Управление частотой системы в процессе ее работы.

Примеры. В супергетеродинном радиоприемнике настройку на разные станции осуществляют изменением одновременно с частотой приемного контура частоты дополнительного генератора (гетеродина) так, чтобы разность между ними оставалась постоянной.

В мощных центрифугах для исключения возможности разрушения при проходе через критическую скорость вращения заполняют водой специальные полости; после того как опасные скорости пройдены, воду сливают.

2. Самосогласование, в том числе явление самосинхронизации, заключающееся в том, что входящие в одну надсистему разночастотные колебания системы, даже очень слабо связанные между собой, через некоторое время вырабатывают единый ритм совместного движения.

Примеры. Самосинхронизируются маятниковые часы, висящие на одной стене.

Через некоторое время автоматические прессы в одном цехе начинают ударять в такт.

В радиоприемных устройствах используют самонастройку за счет слабых обратных связей.

Структура

Согласование

1. Согласование сложности подсистем. Системы с резко отличающимся уровнем сложности плохо взаимодействуют друг с другом. Нельзя установить современную систему ЧПУ на довоенный токарный станок.

Пример. При анализе работы рубильной машины было выявлено, что узел крепления ножей состоит из двух деталей, одна из которых очень сложной конструкции и трудоемка в изготовлении, а другая – простая стальная полоска. Некоторое усложнение второй детали позволило существенно упростить первую, в результате суммарная трудоемкость резко упала.

2. Исключение промежуточных согласующих подсистем.

Пример. Автомобиль можно представить как цепочку преобразователей энергии – ископаемого топлива в тепловую энергию в цилиндре, тепловой энергии в движение поршня, прямолинейного движения поршня во вращение коленчатого вала, изменение скорости вращения коробкой передач и преобразование колесами энергии вращения в энергию движения автомобиля. С появлением роторных двигателей внутреннего сгорания отпадает необходимость в промежуточном преобразовании энергии сгорания в движение поршня, а затем коленвала.

3. Стандартизация элементарных частей систем. Использование одинаковых и однотипных элементарных подсистем в разных системах. Переход к модульным конструкциям.

Пример. Общее стремление к стандартизации переходи; от простых деталей типа крепежа к

сложны.; блокам типа интегральных схем, на основе небольшого числа разновидностей которых могут быть построены самые различные устройства.

Рассогласование – переход к системам с дифференцированными внутренними условиями. Условия в оперативной зоне стремятся стать оптимальными для проведения технологического процесса (температура, давление, газовый состав, скорость обработки информации), в то время как условия на входе и выходе системы определяются внешней средой и человеком.

Пример. Для обработки сильно окисляющихся материалов создаются цехи с инертной атмосферой.

Динамическое согласование–рассогласование – самоорганизация структуры системы. Вопросы самоорганизации структуры систем при прохождении через систему потоков вещества или энергии подробно рассматриваются в созданий за последнее десятилетие науке – синергетике. Самоорганизация широко распространена в живой природе и только сейчас начинает применяться в технике.

Примеры. Для обеспечения регулирования количества воды в боковых каналах оросительной системы при значительном изменении расхода через главный канал предложено выполнить вход в боковые каналы под углом таким образом, чтобы при определенной скорости течения в главном канале на входе в боковой создавался водоворот, воронка, ограничивающая приток жидкости.

Создание безызносных пар трения за счет эффекта избирательного переноса.

Потоки в системах

Функционирование технических систем проявляется в преобразовании проходящих через систему потоков вещества, энергии, информации. При этом тоже наблюдается согласование, рассогласование, динамическое согласование–рассогласование.

Согласование – выравнивание проводимости всех частей системы для потока.

Пример. Согласование входных и выходных сопротивлений электрических цепей.

Рассогласование – придание разным частям системы разной проводимости.

Пример. Диод пропускает электрический ток только в одном направлении.

Динамическое согласование–рассогласование – изменение проводимости разных частей в зависимости от условий.

Пример. Триод изменяет свою проводимость под действием управляющего сигнала.

Живучесть системы

Согласование – живучесть подсистем (элементов) подбирается одинаковой.

Пример. Создание равнопрочных конструкций, обеспечивающих максимальную длительность работы при минимальной стоимости системы.

Рассогласование – искусственное введение в систему подсистем с пониженной живучестью для ее защиты. Во время аварий слабые подсистемы принимают удар на себя, а вся система остается целой.

Примеры. Использование в электрических цепях предохранителей с плавкими вставками. Использование в механических устройствах срезных штифтов.

Динамическое согласование–рассогласование – степень живучести подсистем изменяется в зависимости от условий работы.

Пример. Автоматические предохранительные устройства, обеспечивающие защиту системы по разным параметрам по заданной программе.

Отдельно следует остановиться на согласовании–рассогласовании процесса взаимодействия пары инструмент – изделие. Создатель роторных и роторно–конвейерных линий Л.Н. Кошкин, очень много сделавший для обеспечения Советской Армии патронами во время Великой Отечественной войны, разработал классификацию инструмента, на базе характера его взаимодействия с изделием (Прейс В.В. Технологические роторные машины: вчера, сегодня, завтра. М.: Машиностроение, 1986).

Класс 1. Инструмент действует на изделие в точке. Для такого взаимодействия характерна сложная кинематика, автоматизация затруднена.

Примеры. Обтачивание простым резцом. Шитье иголкой. Написание текста от руки. Контроль с помощью индикатора. Окрашивание кистью (полисистема точек).

Класс 2. Инструмент действует на изделие по линии. Кинематика становится существенно проще, как правило, отпадает необходимость точного контроля положения изделия.

Примеры. Точение фасонным резцом. Протяжка шлицев. Волочение проволоки. Печатание на ротаторе. Контроль поверхностей по лекалу калибраторами–пробками. Окраска валиком.

Класс 3. Инструмент взаимодействует с изделием всей своей рабочей поверхностью. Кинематика самая простая – прямолинейное движение инструмента.

Примеры. Объемная штамповка. Прессовка из пластмассы. Литье. Печатание с плоских типографских матриц.

Класс 4. Объемное взаимодействие инструмента (обрабатывающей среды) с изделием.

Примеры. Различные виды химической обработки. Термообработка. Выращивание кристаллов. Получение дроби капельным способом.

Другая классификация разработана Л.Н. Кошкиным на базе соотношения транспортного и технологического рабочих движений.

Класс 1. Несовмещение транспортного и технологического движений.

Транспортное и технологическое движения чередуются. Такой порядок работы характерен для большинства существующих станков.

Класс 2. Технологическое движение совмещается с транспортным. Скорость одного движения равна скорости другого. В такой системе есть преимущества (нет нерабочих пауз), но есть и недостатки (скорость транспортировки ограничивается скоростью обработки).

Примеры. Бесцентрово–шлифовальные станки. Прокатка. Станки для накатки монет. Волочение.

Класс 3. Совмещение технологического и транспортного движений с обеспечением независимости скоростей, что достигается за счет перемещения не только изделия, но и инструмента (совместное движение детали с обрабатывающим инструментом).

Пример. Роторные машины.

Класс 4. Технология обработки не зависит от транспортного движения.

Примеры. Печь для термообработки. Установки для нанесения покрытий.

История развития показывает, что по обеим линиям развитие идет в направлении от первого класса к третьему – четвертому и является процессом согласования–рассогласования между инструментом и изделием, между транспортным и технологическим движениями.

Обычно согласование между изделием и инструментом осуществляется за счет изменения инструмента, так как изделие – конечный продукт, который, как правило, заранее задан. Но в некоторых случаях, особенно на стадии проектирования нового изделия, его можно сделать согласованным, то есть удобным для обработки, обнаружения. Такое действие по отношению к изделию можно назвать повышением его **отзывчивости на воздействие**, которое осуществляется:

созданием изделий, пригодных для обработки определенным инструментом (обеспечение их технологичности);

Пример. Замена трудоемких в изготовлении колес велосипедного типа на колеса в виде сплошного диска.

введением в изделие веществ, полей, обеспечивающих впоследствии хорошее взаимодействие изделия с инструментом;

Пример. В различные партии нефти вводят особые добавки, позволяющие опознать разлившуюся нефть.

предварительным частичным воздействием на изделие;

Примеры. Нанесение концентраторов напряжений перед ломкой стального проката на части. Предварительное растяжение термоусаживаемых пластиков.

приведением изделия в состояние, удобное для обработки.

Примеры. Обработка металла в состоянии сверхпластичности. Обработка высокоактивного натрия в замороженном состоянии.

Приведенные выше виды согласования–рассогласования, как правило, не могут рассматриваться изолированно друг от друга. Развитие – единый процесс, в котором одновременно может идти согласование форм, размеров, ритмики действия, живучести изделия с инструментом и т. д.

Особенности совместного действия законов развития технических систем

Выделение отдельных законов развития технических систем является грубым упрощением. На самом деле они действуют в совокупности, обеспечивая эффективное, всестороннее развитие системы. Следствия одного закона нередко тесно переплетаются со следствиями другого, часто речь идет об одной и той же закономерности, рассмотренной с разных сторон. Для практического использования законов развития технических систем удобно представить их в виде отдельных «линий» развития, каждая из которых характеризует одну конкретную, внутренне непротиворечивую закономерность (приложение 14). В виде таких линий развития могут быть отражены и закономерности, место которых в системе законов пока не определено, или закономерности, которые трудно отнести к тому или иному закону, так как в них суммируется действие разных законов развития.

В качестве примера рассмотрим линию развития в направлении повышения степени дробления элементов технической системы, объединяющую действие законов перехода на микроуровень и к использованию полей, повышения динамичности, развертывания (приложение 14, п. 8).

Общее направление развития по линии дробления – ослабление связей между частями объекта, вплоть до превращения каждой части в самостоятельную систему:

1. Появление в сплошном объекте частичных внутренних перегородок.

Примеры. Внутренние перегородки, несущие стены в жилищах, переборки на судах. Гаситель качки для судов, включающий разделенную на две части цистерну с отверстием в переборке, через которое перетекает вода.

2. Перегородки становятся полными, в дальнейшем число их увеличивается.

Примеры. Водонепроницаемые переборки на судах для обеспечения непотопляемости. Заполнение бензобаков сотовым или ячеистым наполнителем, обеспечивающим невозгорание горючего.

3. Частичное отделение образовавшихся отсеков, связанных жестко или шарнирно; на следующем этапе увеличение числа шарнирных связей, далее переход к эластичным связям.

Примеры. Хвостовая трансмиссия вертолета, состоящая из нескольких валов, соединенных между собой при помощи шлицевых муфт, играющих роль шарниров, то есть обеспечивающих возможность некоторого взаимного перекоса и осевого смещения отдельных участков длинного вала.

Использование в современных вертолетах в механизме крепления лопастей торсиона – гибкого элемента, набранного из большого количества тонких проволочек, что обеспечило возможность восприятия огромных центробежных нагрузок, сохраняя необходимую податливость на кручение.

4. Создание конструкций типа штанги: соединение частей сначала жесткими, затем гибкими связями; увеличение длины связей.

Примеры. Катамаран, корпуса которого соединены жестким стержнем; катамаран с изменяемым расстоянием между корпусами.

Спутниковые тросовые системы для создания искусственной гравитации при вращении связанных частей вокруг центра масс.

5. Переход к связям за счет полей.

Примеры. Электромагнитный кран. Использование акустических стоячих волн для разделения смесей по фракциям.

6. Создание структурной связи (одна часть свободно перемещается внутри другой).

Примеры. Гаситель колебаний для крюка подъемного крана, состоящий из пустого ящика, закрепленного над крюком, внутри которого свободно перекатывается чугунный шар. Пузырек воздуха, свободно перемещающийся внутри трубки с жидкостью в приборе для измерения горизонтальности (уровень).

7. Создание челночных связей (периодически возникающих), вещественных или полевых.

Пример. В высоковольтных генераторах заряд передается на электрод, связанный с накопителем падающими каплями воды. Это исключает возможность обратного разряда.

8. Введение информационной (программной) связи (работа объектов по заранее согласованной программе в отсутствие материальной связи, возможно, с периодической синхронизацией со стороны).

Пример. Работа ЭВМ в режиме параллельных вычислений.

9. Переход к нулевой связи – полной независимости ранее связанных друг с другом систем.

Примеры. Блочная модель ЭВМ, выбираемая из независимо созданных подсистем по выбору потребителя.

Переход от печати с резных досок к набору текста из отдельных букв.

Работа по выявлению линий развития продолжается. Необходимо отметить, что помимо линий общетехнического характера выявляются и линии в отдельных областях, отраслях техники, для отдельных типов машин и технологических процессов. В качестве примера можно привести линии развития процессов сжигания, характерные для химических и металлургических технологий (приложение 14, п. 9).

Совместное действие различных линий развития, в том числе и пока еще не выявленных, определяет общий уровень развития техники в данный период. При изучении истории развития техники в первую очередь бросается в глаза кажущаяся случайность появления того или иного изобретения, в связи с чем до сих пор бытует представление о случайности всего процесса развития техники. На самом деле существует диалектическая связь между случайным и необходимым, закономерным. Случайность, например, проявляется в том, кто именно изобрел телефон:

А.Г. Белл или Э. Грей, подавший заявку в патентное ведомство несколькими часами позже. А закономерность – в том, что развитие электротехники к тому времени достигло такого уровня, при котором появление телефона стало неизбежным.

Конечно, известны случаи преждевременного появления изобретений (работы Леонардо да Винчи) и, наоборот, запаздывания (телескоп Максутова). Общее развитие науки и техники можно условно представить как наступление единого фронта: где–то оно приостанавливается, где–то вырывается вперед. Но главное – отставшие части рано или поздно подтянутся, так как их опаздывание начнет тормозить общее движение вперед и на помощь им будет брошено подкрепление. Законы развития технических систем выявлены на основе анализа уже существующих систем. Тем не менее они имеют прогностическую силу, позволяя на их базе создавать технику завтрашнего дня. Происходит это благодаря тому, что они получены сведением воедино прогрессивных тенденций развития разнообразных систем. Например, строительство отстает от самолетостроения и космической техники в области использования легких и прочных материалов, но существенно опережает их в применении композитов, давно известных в строительстве (железобетон) и только совсем недавно появившихся в самолетостроении. Использование же предварительно напряженных композитов или композитов с изменяющейся в процессе эксплуатации степенью напряжения

материала (в теле Останкинской телебашни проложены стальные канаты, натяжение которых можно изменять) почти нигде, кроме строительства, пока не освоено. Следовательно, тенденция использования особых композитных материалов в самолетостроении – прогрессивная, завтрашняя тенденция. А законы представляют собой комплекс таких наиболее эффективных тенденций из разных отраслей.

Действие законов развития технических систем можно проследить, например, на разных этапах истории развития металлорежущих станков. В самых первых станках все основные движения выполнялись за счет самого человека – он вращал деталь, держал в руках и перемещал резец. Паровая машина приняла на себя функции двигателя (источника энергии), а в первом десятилетии XIX века Генри Модели изобрел поворотный механический суппорт, с появлением которого, собственно, и началось современное станкостроение. «Это механическое приспособление заменило не какое-либо особенное орудие, а самую человеческую руку...», – писал К. Маркс (Маркс К., Энгельс Ф. Соч., 2–е изд., т. 23, с. 396). Следующим этапом вытеснения человека было появление станков-автоматов, управляющих всякого рода механическими устройствами. А в наше время имеются станки с программным управлением, связанные с ЭВМ, которая по чертежу сама (без участия человека) разрабатывает программу и ведет изготовление детали.

Все развитие станков идет в направлении повышения идеальности. Сегодняшний станок имеет гораздо меньший относительный вес и большие возможности, чем аналогичный станок даже конца 60-х годов. Наглядно проявляется и повышение динамичности и управляемости. Созданы станки, которые сами, благодаря системе обратной связи, в процессе работы настраиваются на оптимальный режим. Для успешной работы станков в максимальной степени проведено согласование материалов, формы и размеров детали, ритмики работы и параметров отдельных подсистем. Появляются и конструкции, работающие в режиме рассогласования, например станки для поперечно-винтового точения. Переход в надсистему в металлообработке первоначально проявлялся в увеличении количества инструментов на одном станке и совмещении во времени действия различных инструментов на револьверных станках и токарных автоматах. На следующих этапах развития появились надсистемы, состоящие из нескольких станков – автоматические поточные линии, в которых объединились станки-конкуренты – токарные, фрезерные, шлифовальные (развертывание). В дальнейшем появились обрабатывающие центры, в которых неразделимо соединено множество разных станков. Появились станки, в которых соединены вместе антагонистические системы, имеющие противоположные функции, например, осуществляющие наплавку деталей сварочным аппаратом и немедленно, по не успевшему затвердеть металлу, – токарную обработку (свертывание).

Используются в металлообработке переход на микроуровень и различные поля. Обработка иглофрезами, абразивная обработка, электрохимические, электроэррозионные, плазменные методы находят все более широкое применение. Появление этих способов заставляет активнее развивать традиционные системы, переходить к использованию новых средств повышения точности,

эффективности, связанных с применением полей (вибрационное резание), динаминости (вращающиеся чашечные резцы), новых материалов – твердых сплавов, алмаза и эльбора в режущем и мерительном инструменте. Появились и системы, в которых совмещаются разные принципы – мощная плазменная струя подрезает слой металла толщиной до 10 см, идущий вслед за плазменной головкой клин отгибает срезаемый слой металла, а связанная с ним фреза выравнивает еще горячий металл. По производительности с таким станком не может сравняться ни один из существующих.

Взаимное действие законов развития техники – сложный процесс. Требования разных законов нередко противоречат друг другу. Противоречия возникают и в тех случаях, когда на развитие системы накладывает ограничения надсистема, в которую она входит. При этом разрешить противоречия позволяет **«люфт согласования»** – нечувствительность надсистемы к некоторому несогласованию системы с ней.

Пример. Эволюция резцов, заключавшаяся в использовании все более твердых и износостойких материалов (углеродистая сталь, вольфрамовая «быстрорежущая» сталь, твердые сплавы, металлокерамика), почти не сказывалась на развитии токарных станков до определенного момента. А эльборовые и алмазные резцы уже потребовали изменений в конструкции станка, обеспечивающих соответствующие скорости подачи и резания, снижения уровня вибраций, механизации вспомогательных процессов. Еще более серьезной реконструкции станков потребовали вращающиеся дисковые и чашечные резцы, а применение плазменно-механической технологии почти полностью меняет станок.

В зоне «люфта согласования» система может развиваться по своим законам, но границы этого люфта устанавливаются надсистемой.

Масштаб последствий изменения системы на каком-либо уровне, как правило, сокращается по мере удаления этого уровня. Но иногда возможно резкое проявление этого изменения на более высоких ступенях иерархии.

Пример. Электронное зажигание в автомобиле полностью меняет подсистему «зажигание», значительно меньше двигатель и почти не сказывается на самом автомобиле. Вместе с тем оно снижает вредность выхлопа и, следовательно, благотворно отражается на надсистеме высокого уровня – окружающей среде.

Появление последствий изменений на высоких уровнях обычно запланировано, поскольку изменения в системе или ее подсистемах происходят под влиянием претензий с этих уровней. Изменение, проведенное для снятия претензии надсистемы на относительно низком системном уровне и слабо влияющее на несколько последующих уровней, наиболее сильно сказывается именно на том уровне, от которого шла претензия.

Проявление последствий изменений на высоком системном уровне бывает и неожиданным, а то и вредным.

Пример. Сегодня существует мнение, что широкое применение аэрозольных баллончиков с фреоном чревато разрушением озонного экрана Земли, то есть угрожает жизни на Земле.

Законы развития технических систем являются объективными законами, но имеют статистический, вероятностный характер, как и все законы, связанные с развитием систем высокой сложности. Поэтому всегда можно отыскать примеры единичного нарушения того или иного закона. Наиболее часто такие нарушения связаны с тем, что сильная надсистема заставляет подчиненную ей систему нарушить закон.

Пример. Во всей истории кораблестроения отмечается тенденция – уменьшение отношения ширины корабля к его длине, соответствующая закону повышения идеальности. Корабли становятся длиннее и уже, что позволяет с меньшим расходом энергии добиться высокой скорости. Однако в начале 70-х годов прошлого века в России была начата постройка круглых броненосцев по проекту выдающегося кораблестроителя вице-адмирала А.А. Попова. Правда, было построено всего 2 таких корабля. Объясняется такое отклонение от законов развития техники действием социальных законов, политики. После поражения России в Крымской войне в 1856 году по мирному договору, гарантом которого была Франция, Россия не имела права держать на Черном море корабли большого размера. А для защиты портов с моря требовалась крупные корабли, на которые можно было установить тяжелые, обладающие мощной отдачей крупнокалиберные пушки. Создание круглых кораблей блестяще разрешило это противоречие. Но после проигрыша Франции в войне с Пруссией в 1871 г. стеснительные условия договора были отменены, и все стало развиваться по законам развития техники – началось строительство кораблей нормальной длины.

Часто нарушения в развитии отдельных систем бывают оправданы, так как обеспечивают более высокие темпы развития надсистемы. Но в ряде случаев такие нарушения оказывались ошибочными, приводили к замедлению развития. Изучение истории развития техники показывает, что закономерны не только описанные выше тенденции развития, но и определенные, систематически повторяющиеся ошибки, допускаемые теми, кто создает новую технику. Законы развития объективны, но реализуются человеком, который использует метод проб и ошибок, а ошибки не всегда выявляются на стадии продумывания идеи, и, будучи воплощенными «в металле», могут затормозить развитие, временно направить его по неверному, неперспективному пути. Эти ошибки всегда потом исправляются, но упущенное время, впустую затрачены средства.

В математике существует понятие «точка бифуркации» – точка ветвления функции, в которой достаточно бесконечно малого воздействия, чтобы направить дальнейший ход событий по той или иной траектории. Такими точками, наиболее «чувствительными» к ошибкам, по сути, являются точки перегиба на S-кривой. Неверно выбранные именно в эти моменты решения приносят наибольший ущерб. Вероятность ошибочных решений тем выше, чем слабее представляет себе человек закономерный ход развития техники. Знание типовых ошибок (приложение 16) должно быть обязательным для любого специалиста, так как позволяет свести их количество к минимуму.

Закономерности как основа интуиции

Утверждение о том, что до появления ТРИЗ решение изобретательских задач осуществлялось исключительно методом проб и ошибок, нередко вызывает

возражения: а как же знаменитые изобретатели, ученые – неужели они тоже пользовались только перебором вариантов? Но тогда невозможно объяснить, как им удалось сделать множество изобретений высокого творческого уровня. Нет, у них работает не перебор, а интуиция!

Энциклопедический словарь определяет интуицию как «...способность постижения истины путем непосредственного ее усмотрения без обоснования с помощью доказательства» (Советский энциклопедический словарь. М.: Советская энциклопедия, 1989). Безусловно, невозможно отрицать ее существование как некоторого априорного знания, навыка, позволяющего в некоторых случаях найти решения без перебора вариантов, как бы в результате «осенения».

О выдающемся советском авиаконструкторе А.Н. Туполеве рассказывали, что он, посмотрев на чужой самолет, сразу сказал, где тот сломается. А кораблестроитель академик А.Н. Крылов, взглянув на модель парохода, не добиравшего расчетной скорости, предложил немного укоротить винт. Оба оказались правы.

А.Н. Крылов (Мои воспоминания. Л.: Судостроение, 1979) рассказывает об одном из своих учителей, самоучке П.А. Титове: «...Не раз Петр Акиндирович говоривал мне:

– Ну–ка, мичман, давай считать какую–нибудь стрелу или шлюп–балку.

По окончании расчета он открывал ящик своего письменного стола, вынимал эскиз и говорил:

– Да, мичман, твои формулы верные: видишь, я размеры назначил на глаз – сходятся...»

Как же им удавалось угадывать результат на глазок, без необходимых расчетов?

Известно множество попыток объяснить природу интуиции, вплоть до мистических «божественного откровения» и «подсказок» инопланетного разума.

Не вдаваясь в детали психологических механизмов интуиции (слабо изученная область), можно утверждать, что интуиция – это полученное в результате большого опыта неосознанное и не выраженное на вербальном (словесном) уровне понимание объективно существующих закономерностей. Ведь там, где нет закономерностей (например, игра в рулетку), не существует и интуиции.

Интересно, что интуитивное познание закономерностей – процесс, свойственный не только человеку. Условный рефлекс животного также является результатом установления и использования закономерности между появлением сигнала и пищи, например. «Ощущение» горного козла, на какой камень можно прыгнуть, а какой может подвести, оказаться неустойчивым, весьма близко к интуитивному чувству человека, что балка под нагрузкой может сломаться...

В самом начале жизни человека интуитивный способ познания закономерностей окружающего мира – практически единственный и очень сильный инструмент. Без помощи взрослых ребенок догадывается и связях, существующих между произносимыми словами и предметами, самостоятельно проводит обобщения (мы очень часто одними и теми же словами называем с виду очень разные предметы, например стол – обеденный, письменный, журнальный...). Такую сложную творческую работу ребенок проводит по каждому слову, явлению. Именно в этом возрасте у него максимально работает аппарат выявления закономерностей, связей. Но после овладения началами языка ребенку гораздо проще получить информацию о связях и понятиях у взрослых, чем догадываться, обобщать

самому. В результате эффективный аппарат за ненадобностью ослабляется, почти атрофируется. Очень немногим все же удастся его сохранить, и именно их окружающие воспринимают как гениев интуиции. Вырабатывается интуиция практическим опытом анализа причин явлений, сопоставлением нового знания с известным и т. д.

Несмотря на высокую эффективность, интуитивное знание закономерностей во многом уступает знанию, выраженному в словесных формулировках: его нельзя передать другому, оно не всегда одинаково успешно «срабатывает».

Формирование интуиции идет методом проб и ошибок, поэтому возможно возникновение ложной интуиции на основе случайного совпадения тех или иных фактов. К ложному интуитивному знанию можно отнести предрассудки, в том числе национальные, расовые. Очень часто интуитивное знание закономерностей, основанное на встречающихся банальных решениях, на житейском здравом смысле и опыте, становится базой психологической инерции, стереотипов. Таким образом, интуиция в чистом виде является результатом использования метода проб и ошибок и формой его проявления.

История цивилизации показывает, что в различных областях человеческой деятельности интуиция последовательно вытесняется формулировками закономерностей, то есть переходом к науке. Интуитивные оценки «сломается балка или не сломается?», «здрав ли человек, судя по цвету лица или виду крови?» сменяются расчетными методиками, измерением давления и анализами, дающими четкий ответ. Такое вытеснение наблюдается и в области изобретательства. Отдельные приемы, закономерности в поиске решений изобретательских задач выдающиеся ученые, изобретатели находили и до создания ТРИЗ.

О принципе, используемом конструктором советских танков А.А. Морозовым, очень близком к пониманию идеальной машины в ТРИЗ (машины нет, а ее функции выполняются), речь шла выше. Аналогичные принципы работы встречаются и у американских инженеров. Вот как пишет об этом лауреат Ленинской премии Н.Н. Смеляков (Деловая Америка: записки инженера. М.: Политиздат, 1970): «Американские конструкторы стараются, и небезуспешно, делать машины из меньшего количества деталей и узлов. При этом они руководствуются простейшим соображением: не изнашиваются только те детали, которые отсутствуют в машине»... «Простота! Это, пожалуй, наиболее характерная черта американской инженерной мысли. Американскую конструкцию машины, мотора, одежды можно отличить среди многих других... Прежде всего простота изготовления, позволяющая поставить массовое или крупносерийное производство на конвейере; простота налаживания, несложность и надежность эксплуатации, позволяющая свободно пользоваться машиной или приспособлением; простота разборки и сборки, упрощающая и облегчающая процессы монтажа и ремонта... Характерно для американских инженеров и конструкторов не раз слышанное мною выражение: «Он недостаточно умен, чтобы делать простые вещи». Очень неплохая мысль: простота конструкции – мерило ума ее создателя!

А рабочие приемы выдающегося советского авиаконструктора Р.Л. Бартини предусматривают выявление и разрешение противоречий, что является сегодня

основой алгоритма решения изобретательских задач – главного инструмента ТРИЗ.

«При решении поставленной задачи необходимо установить сколь возможно более 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 ... И–И» (Чутко И.Э. Мост через время. М.: Политиздат, 1989).

В этой, хотя и несколько сложной по выражению мысли хорошо виден принцип работы Бартини, включающий отбрасывание сначала всего лишнего, выявление мешающих развитию противоречий (ИЛИ–ИЛИ) и поиск путей их разрешения (И–И).

О крупнейшем изобретателе, специалисте в области телевизионной техники Г.В. Брауде рассказывает его коллега А. Родин (Перед Новым годом. Записки инженера. – Знамя, 1986, № 9):

«Изобретатель, любят повторять, – талант, творческая личность, его осеняет и озаряет, какая, казалось бы, здесь может быть система, методология? Но у Брауде, полагаю, именно метод. Если, допустим, какое–то явление мешает, вредит, не дает реализовать техническую задачу, а все попытки устраниТЬ это явление, свести его к минимуму не удается, Брауде решает: «Раз так, давайте не тратить силу на борьбу с этим осложнением, а попытаемся использовать его для дела».

В приведенных выше и многих других случаях осознание даже небольшой, отдельной закономерности на уровне приема, правила, резко повышала эффективность решения проблем. Фактически ТРИЗ является обобщением заключенного в патентном фонде опыта всей массы изобретателей, обработанным до состояния, в котором он может быть использован любым человеком. Сегодня все еще неизвестно, как обучать интуиции, а обучать ТРИЗ, целенаправленному использованию закономерностей развития, можно.

Наблюдения за работой специалистов, прошедших обучение ТРИЗ и систематически использующих ее для решения задач, а также самонаблудения преподавателей и разработчиков ТРИЗ показали, что в конечном итоге на базе ТРИЗ формируется «новая интуиция» – закономерности и инструменты ТРИЗ переходят в подсознание, благодаря им появляются новые невербальные представления, основанные на объективных, статистически достоверных закономерностях, помогающие решать проблемы, для которых правила решения еще не оформлены словесно. Так, некоторым специалистам по ТРИЗ удалось решить с ее помощью ряд научных задач, хотя правила их решения были сформулированы значительно позднее.

Законы развития технических систем, как уже было сказано, образуют теоретическую базу ТРИЗ. Их изучение направлено на формирование диалектического мышления, они могут использоваться для прогнозирования развития технических систем, а также для решения изобретательских задач. Однако для этой цели они не очень удобны – слишком обобщены и громоздки. Непосредственно для решения изобретательских задач в ТРИЗ имеются свой инструментарий и информационные фонды.

Инструменты и информационный фонд ТРИЗ

Типовые приемы устранения технических противоречий

С начала XX века неоднократно публиковались различные списки изобретательских приемов. Причем каждый автор приводил те из них, которые казались ему наиболее сильными. В результате рядом оказывались приемы, относящиеся к техническим системам (например, «дробление») и к действиям решающего задачу человека (например, использование аналогии). Однако такого рода списки не нашли сколько-нибудь заметного применения.

Научно обоснованный поиск приемов решения изобретательских задач начался лишь в 50– 60-х годах в рамках ТРИЗ. На основе анализа больших массивов патентной информации (свыше 40 тысяч изобретений, в основном не ниже второго уровня) удалось выделить действительно лишь сильные приемы, которые эффективно срабатывали не менее чем в 80 – 100 изобретениях.

Так было выявлено 40 типовых приемов (приложение 1). Для организации их использования была разработана специальная таблица, в которой по вертикали располагаются характеристики технических систем, которые по условиям задачи необходимо улучшить, а по горизонтали – характеристики, которые при этом недопустимо ухудшаются (приложение 2). Допустим, нам необходимо что-то улучшить в нашей системе. Выбираем один из известных методов (средств), способных это сделать. Если улучшение достигается без вредных последствий, то проблема решена, изобретательская задача отсутствует. Если же использование известных методов или средств приводит к какому-либо вредному эффекту (ухудшению другой характеристики), то обращаемся к таблице. На пересечении граф и колонок с наименованиями улучшаемой и ухудшаемой характеристик находим номера приемов, позволяющих с наибольшей вероятностью устраниТЬ возникшее техническое противоречие. Таблица охватывает около полутора тысяч наиболее часто встречающихся в изобретательской практике технических противоречий.

Список приемов в современном варианте возник не сразу. Приемы занимали в нем порядковые места по мере их выявления. Сегодня очевидно, что они неоднородны по своему характеру и образуют четыре группы: одиночные (например, «дробление», принцип «местного качества» и т. д.); комбинационные, то есть включающие в себя пару прием – антиприем (принцип частичного или избыточного действия, принцип отброса и регенерации частей и т. д.);

использующие некоторые физические эффекты (тепловое расширение, фазовые переходы и т. д.);

использующие некоторые вещества (сильные окислители и т. д.).

Некоторые одиночные приемы тоже используются парами по принципу прием – антиприем (например, приемы «дробление» и «объединение»).

Противоречия двойственны (содержат два конфликтующих требования), и потому неудивительно, что в сочетаниях приемов, устраниющих противоречия, эта двойственность проявляется.

Пример. Предложен звукопровод, состоящий из пучков отдельных волокон. Здесь ясно видны два приема: «дробление» и «объединение» (сплошной стержень разделен на волокна, а волокна объединены в пучок). Две операции придали системе новое качество – возможность передачи информации о звуковых полях сложной конфигурации.

Чем труднее задача, тем, как правило, сложнее сочетание необходимых для ее решения приемов.

Пример. Для очистки от немагнитной пыли поток горячих газов пропускали через «пакет» из многих слоев металлической ткани. Недостаток системы: фильтр быстро забивался пылью, очистка фильтра требовала много времени и труда. Была предложена совершенно новая система – фильтр, представляющий собой пористую структуру из ферромагнитных крупинок, удерживаемых магнитным полем. Здесь отчетливо видны, как минимум, четыре приема: «дробление» (крупинки вместо пакета ткани); «объединение» (крупинки собраны в единую пористую структуру); «динамичность» (размеры пор можно изменять); использование магнитного поля (крупинки удерживаются в «пакете» не механически, а магнитными силами).

Рассмотрим использование приемов разрешения технических противоречий при решении конкретной задачи.

Задача 2. *Добычу руды в некоторых шахтах ведут следующим образом: проходят сначала самый нижний уровень, укладывают там железнодорожные пути. Потом начинают разрабатывать более высокие уровни, а для транспортировки руды делают специальные колодцы (рудоспуски), по которым ее сбрасывают на нижний уровень, откуда вывозят. Рудоспуски могут быть глубиной в несколько сотен и диаметром в несколько метров. Руду к ним подгребают бульдозерами, в результате в них попадают бревна, доски от шахтного крепежа и т. д. Иногда посторонние предметы застrevают в рудоспуске, и он забивается (забутовывается). Узнают об этом только тогда, когда завал дойдет до начала рудоспуска. Как теперь его прочистить (разбутовать)? Раньше это делали с огромным риском для жизни: доброволец влезал в колодец и устанавливал там длинный шест с взрывчаткой (поблизу к месту завала). За рубежом для такой работы предложили приспособить робота, доставляющего взрывчатку наверх, либо ракету со сложной системой наведения, чтобы она попадала не в стенку колодца, а в завал. Но все это сложно и дорого. Как быть?*

Решать эту задачу можно, просматривая по порядку список приемов и пробуя их применить для данного случая. Но лучше воспользоваться таблицей.

Что нужно улучшить? Удобство эксплуатации (строка 33 в таблице). Что при этом недопустимо ухудшается? Возрастает сложность (графа 36). Возможна и другая формулировка: попытка уменьшить сложность предлагаемых решений (строка 36) приводит к ухудшению удобства эксплуатации (графа 33). На пересечении указанных строк и граф выписываем приемы: 32, 25, 12, 17 и 27, 9, 26, 24. Рассмотрим каждый из них.

Прием 32 – принцип изменения окраски – не подходит.

Прием 25 – принцип «самообслуживания». Он подсказывает, что взрывчатка должна сама подниматься наверх. Но как?

Прием 12 – принцип эквивалентности. Не поднимать, не опускать – взорвать внизу? Но взрывная волна не дойдет до завала. Может быть, направить взрыв вверх, как кумулятивный?

Прием 17 – принцип перехода в другое измерение. Подавать взрывчатку через боковую шахту? Сложно.

Прием 27 – принцип дешевой недолговечности вместо дорогой долговечности. Использовать дешевое устройство одноразового пользования, которое бы доставляло взрывчатку наверх? Вместо ракеты что-то существенно более дешевое. Может быть, воздушный шарик?

Прием 9 – принцип предварительного антидействия не подходит.

Прием 26 – принцип копирования – не подходит.

Прием 24 – принцип посредника. Можно использовать какой-то предмет – посредник, переносящий взрывчатку или передающий энергию взрыва к завалу. Комбинация подсказок приемов 25, 27 и 24 дает две идеи: поднимать взрывчатку с помощью воздушного шарика;

заполнять шахту легким взрывчатым газом – водородом. Смешиваясь с воздухом, он создаст гремучую смесь.

Необходимо отметить, что приемы готовых решений обычно не дают (разве что среди примеров, поясняющих их, окажется решение аналогичной задачи). Это наводящие вопросы, подталкивающие поиск в перспективном направлении.

Поэтому работать с ними нужно без спешки, не упуская возможности по-разному сформулировать исходное техническое противоречие и, следовательно, выйти на другие наборы приемов.

Список приемов с таблицей – один из самых ранних инструментов ТРИЗ, и одно время представлялось, что дальнейшее развитие теории пойдет по пути увеличения количества приемов и уточнения таблицы их применения.

Выяснилось, однако, что трудные задачи решаются применением сочетаний приемов или сочетаний приемов с физэффектами. Поэтому в дальнейшем внимание было сосредоточено на изучении сложных комплексных приемов – возникла система стандартов, фонд физических и других эффектов и явлений для изобретателей, алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ). Но и сегодня приемы являются азбукой изобретателя, оставаясь достаточно эффективным инструментом.

Всепольный анализ

Одним из самых эффективных методов познания является моделирование, то есть замена реальных систем моделями (идеализированными системами). Операции, которые сложно или невозможно провести с реальными системами, проводят с моделями, а полученные результаты распространяются с соблюдением условий подобия на реальные системы. Отражая правильно одни качества объекта, модель может не иметь других его качеств: так, масштабная модель в точности повторяет внешний вид самолета, но летать не в состоянии. Модель может быть совершенно не похожей на объект, например математическая модель, представляющая собой систему уравнений, решение которых дает информацию об особенностях

поведения моделируемого объекта.

Общая последовательность работы с моделями одинакова для самых разных объектов: создается модель той или иной физической природы, в которой отражаются нужные свойства объекта, далее с нею проводят необходимые преобразования, исследования, после чего полученные результаты переносят на объект моделирования.

В теории решения изобретательских задач для поиска новых технических решений используются различные модели, отражающие основные свойства и закономерности развития технических систем. В частности, построением, исследованием и преобразованием структурных моделей занимается раздел ТРИЗ, получивший название **вепольный анализ** (ВЕщество и ПОЛе).

Задача 3. Для сбора разлившейся нефти на поверхность нефтяного пятна высыпают пористые гранулы, впитывающие нефть. Но как потом собрать гранулы?

Рассмотрим предварительно несколько изобретений.

Для обработки (овализации) зерен абразива предложено смешивать их с ферромагнитными частицами и вращать смесь магнитным полем.

Для очистки проволоки от окалины предложено пропускать ее через абразивный ферромагнитный порошок, сжимаемый магнитным полем.

Для распыления полимерных расплавов предложено вводить в них феррмагнитные частицы и пропускать через зону действия знакопеременного магнитного поля.

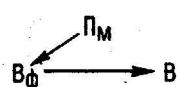
Нетрудно заметить общий прием, использованный в этих изобретениях. Имеется некоторое вещество, само по себе не поддающееся управлению (изменению, обработке). Чтобы управлять веществом, вводят ферромагнитные частицы и действуют магнитным полем.

До знакомства с этими изобретениями задача 3, возможно, показалась бы трудной. Теперь же ответ очевиден: нужно ввести в гранулы ферромагнитные частицы и собирать их с помощью магнитного поля.

Запишем это решение так, как записывают химические реакции. По условиям задачи дано вещество (полимерный состав), обозначим его буквой B . Пунктирной стрелкой покажем, что по условиям задачи вещество плохо поддается управлению и надо научиться им управлять:

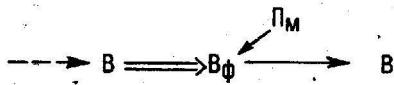
$$\text{---} \rightarrow B$$

Запишем теперь ответ. Вводится магнитное поле Π_m , действующее на ферромагнитный порошок B_ϕ , который, в свою очередь, управляемо действует на B :



Соединим «дано» и «получено» двойной стрелкой: она заменит выражение «для

решения задачи надо перейти к»:



Запись отчетливо выражает суть решения. Было вещество (B), которое плохо поддавалось непосредственному воздействию. Пришлось пойти в обход: взяли хорошо взаимодействующую пару магнитное поле – ферропорошок и объединили с имеющимся веществом в единую систему. Видно и противоречие, скрытое в условиях задачи: поле не должно действовать на B (нет подходящих полей) и должно действовать на B (чтобы управлять им).

Запись (1) отражает суть приведенных ранее изобретений. В патентном фонде имеются тысячи изобретений, соответствующих «реакции» (1). «Треугольник» из Π_m , B_Φ B получил название феполь (от слов ФЕрро частицы и ПОЛе).

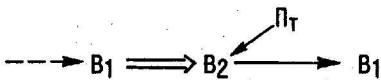
Существуют, однако, другие вещества, хорошо работающие в паре с различными полями.

Примеры. Для сжатия порошка, заключенного в металлический корпус, используют охлаждение корпуса.

Для съема гребных винтов используют тяговые стержни, удлиняющиеся при нагревании.

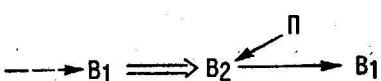
Для микродозирования жидких лекарств нагревают воздух в полости пипетки.

Формула этих изобретений может быть записана так:



Дано плохо управляемое вещество – **изделие B_1** . Чтобы обеспечить хорошую управляемость, надо перейти к системе, в которой тепловое поле Π_m действует на вещество – **инструмент B_2** , взаимодействующий с B_1 . Структуры из Π_m , B_2 и B_1 получили название **тепполей**.

В общем случае возможны структуры, включающие любое поле:



Такие структуры принято называть в общем виде **веполями**.

Нетрудно заметить, что **веполь является минимальной моделью технической системы**: он включает изделие, инструмент и энергию (поле), необходимую для воздействия инструмента на изделие. Модель сложной технической системы можно свести к сумме веполей.

Вещество принято записывать в вепольных формулах в строчку, поле на входе – над строчкой, поле на выходе – под строчкой. Веполь обозначают также (без конкретизации) в виде треугольника.

В тексте используются следующие условные обозначения:

- _____ необходимое взаимодействие,
- недостаточное взаимодействие,
- ~~~~~ нежелательное взаимодействие,
- направление взаимодействия,
- ====> направление преобразования веполя.

В конкретных технических системах для обозначения природы веществ и полей, их характеристик также используются условные сокращения типа:
маг. – магнитный, макс. – максимальный и т. д.

Записывая условия задачи в вепольной форме, мы отбрасываем все несущественное, выделяя суть (строим модель задачи); что дано (поля, вещества, действия), что надо изменить или ввести. Вепольная запись позволяет выявлять причины возникновения задачи, то есть «болезни» технической системы, например недостроенность веполя. Поэтому вепольный анализ не только дает удобную символику для записи изобретательских «реакций», но и служит инструментом проникновения в глубинную суть задачи и отыскания наиболее эффективных путей преобразования технических систем.

Вепольное преобразование подсказывает изобретателю что именно необходимо ввести в систему для решения задачи (вещество, поле, то и другое вместе), но не конкретизирует, какие именно. Для получения технического ответа нужно подобрать подходящие вещества и поля. При этом необходимо начинать перебор с полей, так как их существенно меньше, чем веществ. Перебирать поля удобнее в той последовательности, в которой они входят в закон перехода на микроуровень, от механического к магнитному, используя расшифровки (см. с. 61), что входит в понятие того или иного поля (очень удобна для запоминания и использования аббревиатура МатХЭМ). Необходимо помнить также, что в соответствии с законом следует рассматривать также изменения полей от постоянного до сочетаний взаимно противоположных полей и воздействий, переменных и импульсных полей, а также суммарные взаимодействия, отражаемые в МатХЭМ соседними буквами – электрохимические, электромагнитные и т. п.

Большинство полей связаны со «своими» веществами:

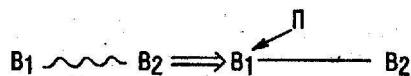
химическое поле – с различными катализаторами, ингибиторами, особо активными или, наоборот, инертными веществами; электрическое поле – с заряженными частицами (электронами, ионами); магнитное – с ферромагнитными материалами; электромагнитное – с люминофорами разных частот, фотонами и т. д.

При выборе веществ для достройки веполей необходимо максимально использовать ресурсы.

Задача 4. Очень мелкие детали шлифуют, перемешивая их в барабане с абразивным порошком. Но потом нужно отделить детали от порошка. Как это сделать, если размер деталей мало отличается от размера зерен абразива и детали выполнены из немагнитного материала?

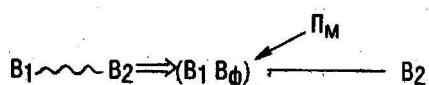
Даны два вещества, причем ни одно из них не является инструментом. Кроме того, в системе нет поля. Обозначим ненужное взаимодействие волнистой

линией. Тогда решение задачи в общем виде можно записать так:



Теперь для получения технического решения нужно определить, какое же поле нам нужно. Воспользуемся аббревиатурой МаТХЭМ.

С помощью механического поля можно разделить два вещества, если они обладают разной плотностью: сепарация с помощью центробежных сил, разделение в потоке воздуха и т. д. В нашем случае плотности деталей и абразива близки по значению, поэтому механика «не срабатывает». Тепловое поле можно было бы использовать, если бы абразив переходил в другое состояние например плавился или испарялся. Химическое – если абразив, например, растворить. Но портить абразив мы не можем. Электрическое поле в принципе может использоваться для сепарации, но требует сложного оборудования, высокого напряжения и не очень удобно для применения в цеховых условиях. Остается магнитное поле. Но, как было сказано, оба вещества немагнитны. Может быть в одно из веществ ввести ферропорошок? Конечно, этого нельзя сделать с деталями, это продукция, которая должна быть немагнитной. А абразив – наш инструмент, в него можно ввести добавку. Получим **комплексный веполь**:



Разумеется, могут быть построены и более сложные вепольные системы. Но введение новых веществ и полей – отступление от идеала. Поэтому, составляя вепольные формулы, важно как можно меньше отходить от идеала – простого веполя, «треугольника». Такой отход необходим и допустим лишь в той мере, в какой усложнение вепольной структуры компенсируется увеличением числа функций, появлением новых полезных качеств и т. д.

Теперь можно записать первое правило вепольного анализа – **правило достройки веполя**:

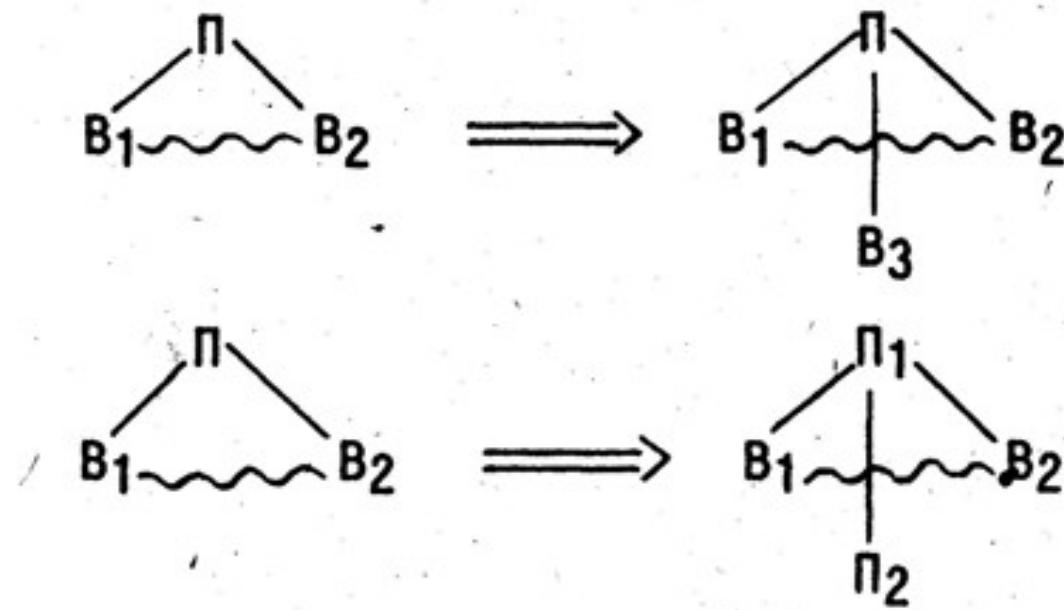
если в условии задачи имеется неполный веполь (нет одного или двух элементов), то для решения задачи необходимо достроить его до полного, введя недостающие элементы.

Задача 5. Для улавливания золы и пыли на тепловых электростанциях из топочных газов используют так называемые мокрые золоуловители. В них смешанный с водой поток газов проходит с большой скоростью по стальной трубе, при этом труба подвергается абразивному износу из-за содержащихся в газах твердых частиц. Неоднократно пытались покрывать поверхность трубы каким-нибудь веществом, стойким к износу, но не удавалось подобрать вещество, которое удовлетворяло бы всем требованиям и было достаточно дешево. Как быть?

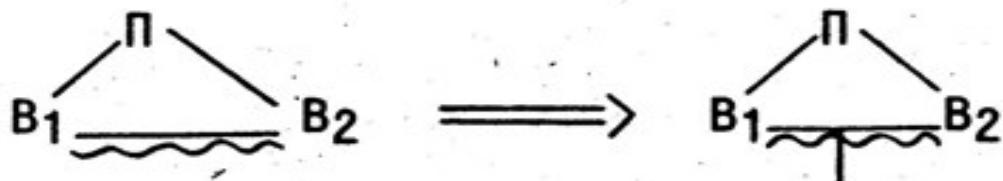
Исходная вепольная модель: B_1 – стенка трубы, B_2 – поток, который действует на B_1 вредным полем Π (механический износ). Получается, что веполь у нас есть, но вредный, ненужный. В этом случае поможет второе правило вепольного анализа – правило разрушения вредного веполя:

если в условии задачи имеется вредный веполь, то его нужно разрушить, например, введением между вредно взаимодействующими веществами третьего вещества, являющегося модификацией B_1 или B_2 , или обоих вместе, или модификацией внешней среды (продуктом ее взаимодействия с B_1 или B_2).

Другая возможность разрушить вредный веполь – введение поля, действующего против вредного взаимодействия.



Нередко взаимодействия во вредном веполе противоречивы – и полезны и вредны. В этом случае нужно разрушить вредное так, чтобы полезное осталось.

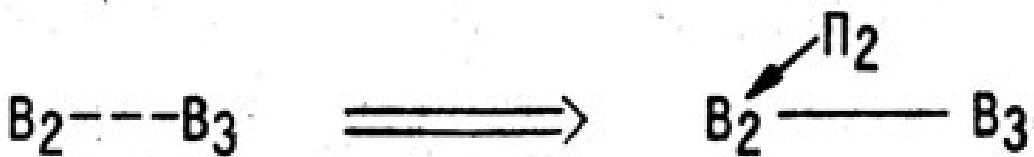


В ТРИЗ понятие «модификация» понимается достаточно широко – это может быть какой–то производный ресурс, полученный из имеющихся веществ или (иногда) постороннего вещества, но обладающего свойствами, близкими к свойствам имеющихся веществ, согласующегося с ними. Например, модификациями твердого вещества могут быть отдельные его составляющие, соединения с другими веществами, само вещество в разных агрегатных состояниях, обладающее дополнительными свойствами: намагниченное, радиоактивное, светящееся и т. п. Модификации воды:

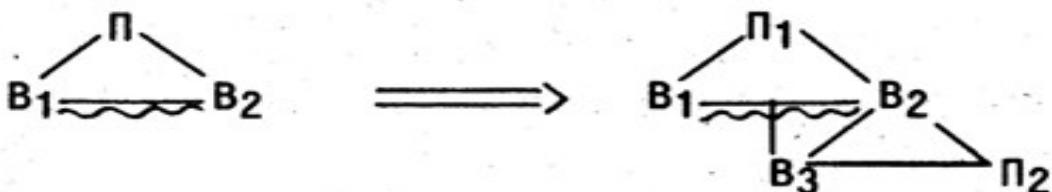
лед или пар, кислород и водород, выделяющиеся из нее соли, смеси с газом, твердым телом или другой жидкостью (аэрозоли, пены, эмульсии, суспензии), слой турбулентной воды над ламинарным потоком, и наоборот, и т. п.

Идеально, если модификация возникает сама. Но как этого добиться? Мы имеем

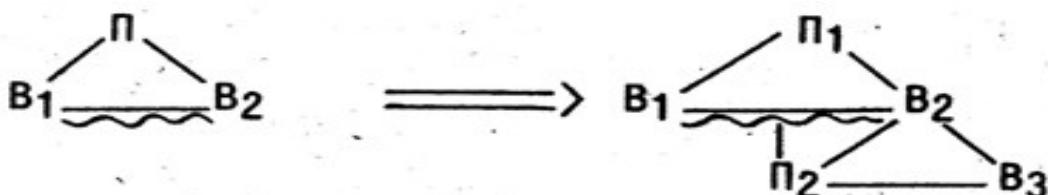
одно вещество, и на него надо так подействовать, чтобы появилось другое, нужное нам. Это фактически достройка веполя:



Полная картина процесса разрушения вредного веполя:



или



Итак, между стенкой и потоком (задача 5) есть полезное взаимодействие – стенка трубы направляет, ограничивает поток. И есть вредное – разрушение стенки. Значит, нужно ввести третье вещество, являющееся модификатором, видоизменением стенки или потока. Видоизменения стенки уже пробовали применить – это различного рода покрытия. Однако они нестойки, их приходится возобновлять, а это дорого. Куда идеальнее использовать модификацию потока. Теперь можно перебрать поля, используя МатХЭМ. Возникают идеи: обработать поверхность трубы так, чтобы на ней образовались «карманы», которые заполнялись бы материалом потока (что значительно повысит трудоемкость), осаждать на поверхность трубы защитный слой химическим или электрохимическим способом (или магнитным полем, если бы примеси были магнитные). Но лучше всего «срабатывает» тепловое поле. Если трубу охладить, то возникает слой льда на поверхности (решение вполне возможное, но трудно осуществимое – на тепловой станции нет такого ресурса), а если трубу нагреть выше температуры кипения, то поверхность покроется слоем накипи. Такое покрытие хотя и будет постоянно изнашиваться потоком, но тут же будет нарастать, возникает процесс динамического равновесия, самовосстановления покрытия. И тепло, необходимое для этого, есть среди ресурсов – ведь это тепловая электростанция.

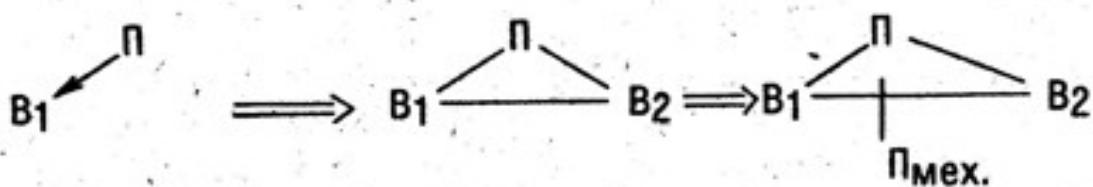
Задача 6. Мех на фабриках обрабатывают специальными растворами. После обработки его нужно высушить. Сушат мех, продувая горячим воздухом. Но из-за того, что мокрые ворсинки меха слипаются «в кустики», сушка замедляется, возникает большой перерасход энергии. Как быть?

Снова получается вредный веполь: B₁, B₂ – ворсинки меха, П – вредное поле слипания. Ввести между ними третье вещество затруднительно. Попробуем

подобрать противодействующее слипанию поле. Здесь тоже удобно пользоваться аббревиатурой МатХЭМ. Нетрудно догадаться, что лучше всего справится с задачей электрическое поле: наэлектризованный воздух передаст заряд ворсинкам; заряженные одноименно, они будут отходить друг от друга. На практике нередко возникают задачи с разнесенным во времени действием, когда вначале к объекту предъявляется одно требование, потом – другое. В этом случае вепольная модель тоже может быть динамичной – веполь может сперва появиться, потом быть разрушенным или как-то перестроенным.

Задача 7. Во время боевых действий в горах возникла необходимость ликвидировать гранатами засаду, расположенную в ущелье, на глубине почти километр. Но граната после того, как выдернуто кольцо и отпущен рычаг–предохранитель, взрывается через 4 секунды. За это время она не может долететь до цели. Как быть?

Есть неполный веполь – рычаг и действующее на него поле – сила пружины, стремящаяся его отбросить после того, как вынуто кольцо. Чтобы не дать рычагу преждевременно сработать, нужно достроить веполь – ввести вещество, его удерживающее. А после падения гранаты вниз это вещество должно исчезнуть, освободить рычаг. Причем лучше всего, если оно исчезнет за счет имеющихся в ресурсе полей, например силы удара ($\Pi_{\text{мех.}}$).



Отсюда ясны требования к B_2 – оно должно от удара исчезать, разламываться, разбиваться. Самое простое – использовать стекло. Поэтому гранату засовывали в стеклянный стакан или банку и бросали вниз.

Помимо неполных и вредных в условиях задач встречаются неэффективные веполи, то есть ситуации, когда действие есть (веполь полный), но слабое. Как известно, повышение эффективности работы системы сопровождается их усложнением, развертыванием. В этом случае переходят к более сложным вепольным моделям: цепным или двойным, которые могут быть обозначены так:



Возможен переход к динамичным веполям, то есть изменяющимся в процессе работы; к структурированным (в тех случаях, когда поле или вещество обладает определенной пространственной или временной структурой). Такие преобразования называются «форсированием веполей».

Эффективно «работает» вепольный анализ и при решении задач, в которых

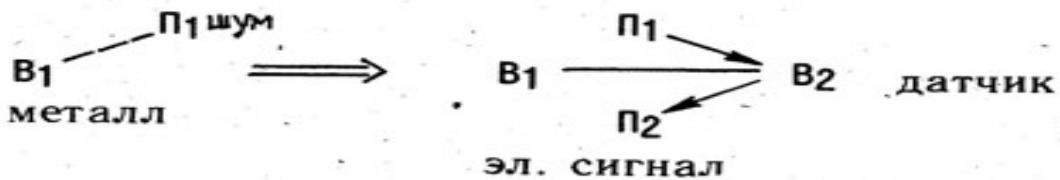
требуется не изменить какую–либо характеристику системы, а получить информацию о ее состоянии, измерить или обнаружить то или иное свойство, оценить его количественно. В этих случаях строят специализированный «измерительный» веполь, отражающий введение того или иного вещества, связанного с каким–то легко обнаружимым или поддающимся измерению полем, например в виде ферропорошка, дающего магнитное поле, радиоактивных веществ, связанных с излучением и т. п. Другой вариант – вещество является преобразователем плохо обнаружимого поля в легко обнаружимое.

Вепольные формулы, характерные для решения таких задач, обычно имеют вид:



Пример. Развивающаяся под нагрузкой трещина в конструкции «шумит», то есть издает слабые акустические сигналы, услышать которые нельзя. А прослушивать их необходимо для того, чтобы правильно спрогнозировать опасность той или иной трещины. Сегодня в таких случаях используются пьезодатчики, преобразующие слабые акустические сигналы в электрические, легко наблюдаемые по осциллографу.

Вепольная схема решения в этом случае выглядит так:



Следует отметить, что в задачах на измерение перебор подходящих полей также можно вести с помощью аббревиатуры MaTXЭM, а в задачах на обнаружение в первую очередь рассматривать поля, воспринимаемые человеком без помощи приборов: световое поле (цвет, интенсивность), звуковое (сила, высота и направление на источник звука), осязательное (характеристики поверхности, в том числе температура), запаховое, вкусовое...

Вепольный анализ в ТРИЗ выполняет две важные функции. Во–первых, это язык конструирования и, преобразования моделей технических систем, на котором «написаны» стандарты на решение изобретательских задач. Во–вторых, он является и самостоятельным инструментом их решения:

правила вепольного анализа в сочетании с порядком перебора полей с помощью аббревиатуры MaTXЭM позволяют уверенно решать многие задачи 2–3–го уровня. Вместе с тем вепольный анализ, как и приемы устранения технических противоречий, не позволяет полностью исключить перебор вариантов. Работая с приемами, мы вынуждены подбирать подходящий (с помощью таблицы можно значительно сузить количество перебираемых вариантов), а решая задачу по правилам вепольного анализа, перебираем поля. Но как приемы, так и вепольный анализ позволяют резко уменьшить количество перебираемых вариантов.

Например, для решения задач высших уровней обычным перебором нужно проверить от нескольких сотен до нескольких тысяч вариантов, в то время как полей, используемых в изобретательстве, не более десятка, а это значит, что

данные инструменты позволяют перевести задачу высокого уровня в искусственную задачу не выше первого уровня, для которой перебор допустим. Тем не менее в ТРИЗ существуют и инструменты, которые позволяют практически исключить необходимость перебора вариантов.

Решение типовых задач. Стандарты на решение изобретательских задач

Анализ патентного фонда показал, что все изобретательские задачи можно разделить на два вида: типовые и нетиповые. Типовые решаются по четким правилам в один–два хода. Правила, основанные на известных законах развития технических систем, указывают, как должна быть преобразована исходная система. Называются такие правила **стандартами на решение изобретательских задач**, а совокупность этих правил, определенным образом классифицированных, называется системой стандартов.

Задачи, которые сегодня относятся к нетиповым, завтра, после выявления еще не известных закономерностей, могут тоже стать типовыми.

Стандарты на решение изобретательских задач появились как особо сильные сочетания приемов и физических эффектов, они составили первую, еще немногочисленную группу стандартов. К этой группе были присоединены правила преобразования технических систем, вытекающие из законов развития. Возникла система стандартов, регулярно пополняемая и совершенствуемая. Современная система, включающая 76 стандартов, приведена в приложении 4. Все стандарты разбиты на 5 классов. Порядок их расположения отражает направление развития технических систем.

Класс 1 – построение и разрушение вспомогательных моделей – включает ряд конкретных преобразований по достройке и разрушению вспомогательных моделей в зависимости от тех или иных ограничений, приведенных в условиях исходных задач.

Класс 2 – развитие вспомогательных моделей – описывает способы, позволяющие путем сравнительно небольших усложнений существенно повысить эффективность работы соответствующей модели технической системы.

Класс 3 – переход к надсистеме и на микроуровень – продолжает линию стандартов класса 2 на форсирование вспомогательных моделей. Стандарты классов 2 и 3 базируются на использовании законов развития технических систем, в том числе законов развертывания – свертывания, повышения динамичности и управляемости, перехода на микроуровень, согласования–рассогласования и т. д.

Класс 4 – стандарты на обнаружение и измерение систем – составляют особый комплекс, поскольку решение таких задач имеет ряд характерных особенностей. Но в целом направление развития измерительных систем соответствует общим законам развития, вследствие чего стандарты этого класса имеют много общего со стандартами классов 1–3.

Класс 5 – стандарты на применение стандартов – имеет важное значение для получения эффективных решений изобретательских задач.

Многие задачи могут быть решены «с позиции силы» – прямым введением в систему дополнительных веществ и полей. Такие решения бывают

малоэффективны. Для получения изобретения высокого уровня нужно преодолеть противоречие: вещество (или поле) должно быть введено и не должно быть введено. Пятый класс стандартов показывает пути преодоления таких противоречий.

Применение большинства стандартов 1–4 классов приводит, по сути дела, к развертыванию технической системы. Пятый класс стандартов предназначен для свертывания полученных моделей.

Система стандартов остается открытой, то есть способна пополняться.

«Кандидаты в стандарты» тщательно отбираются и проходят проверку в качестве экспериментальных стандартов (подкласс 5.5).

Порядок применения стандартов следующий.

Определить, какого рода предлагаемая задача: на изменение или измерение (обнаружение).

Если задача на изменение, то нужно построить исходную вепольную модель, исходя из условий задачи. Если исходная модель – неполный веполь, то необходимо обратиться к стандартам подкласса 1.1; если вредный веполь – к стандартам подкласса 1.2; если неэффективный –, к стандартам классов 2 и 3. Если задача на измерение, следует использовать стандарты класса 4.

Найдя решение, проверить, нельзя ли свернуть полученную модель с помощью стандартов класса 5. К этому же классу нужно обращаться в случаях, когда в условиях задачи имеется запрет на введение веществ или полей.

Следует подчеркнуть, что система стандартов проста и логична. Стандарты позволяют сразу и на высоком уровне решать 10– 20% сложных современных задач. Кроме того, стандарты могут быть использованы в целях прогнозирования, для частичного решения нестандартных задач, для развития и усиления полученных решений.

Задача 8. Сегодня поведение растений в зависимости от внешних условий изучают в камерах с искусственной средой – климатонах. Искусственная среда создается дозированием освещения, влаги, углекислого газа. Подача газа регулируется клапанами, но существующие клапаны чересчур грубые, не обеспечивают микродоз, необходимых для проведения опытов. Как быть?

Задача эта на изменение. Исходная модель: неполный веполь (B_1 – углекислый газ; клапан в модель не входит, так как не удовлетворяет требованиям задачи). По стандарту 1.1.1 необходимо достроить веполь до полного, введя недостающие вещество B_2 и поле P . Поскольку веществ много, а полей – ограниченное количество, переходим к выбору поля, используя аббревиатуру MaTXЭМ. Механическое поле не подходит (это клапаны, от которых мы отказались).

Тепловое поле? Один из возможных способов – нагрев газа и использование его расширения на строго определенную и зависящую от температуры нагрева величину. Но при этом придется бороться с мешающим фактором – изменением давления. Лучшее решение – использовать тепловое поле в сочетании с водой в качестве B_2 . Известно, что растворимость углекислого газа в воде зависит от температуры. При нагреве часть газа выделяется из воды. Этот эффект можно использовать для точного дозирования газа. Таким образом, решение есть, но

требует введения воды. Причем система не усложняется, так как вода все равно вводится в климатрон. Нагреватель тоже имеется.

Одним из самых трудных моментов в использовании вепольного анализа и стандартов для решения изобретательских задач является построение исходной модели. Иногда эта модель сразу очевидна и не вызывает сомнений, но бывают случаи, когда возможно построение различных моделей для одной и той же системы в зависимости от того, какие элементы включать в задачу и на чем акцентировать свое внимание. В такой ситуации целесообразно начать с рассмотрения простейшей модели, а затем проверить остальные. При этом разные модели могут давать разные решения задачи.

Задача 9. Имеются полистироловые катушки с тонким изолированным проводом и металлическими ножками. Припайку провода к ножкам осуществляли окунанием в ванну с припоем при 280°C . Однако при этом требовалась зачистка концов провода. С целью повышения производительности было предложено вести пайку при температуре припоя 380°C . В этом случае изоляция провода сгорает, происходит его лужение. Но при такой температуре полистирол размягчается, ножки катушки перегреваются и перекаиваются, а это недопустимо. Как быть?

Эта задача также на изменение. Исходная модель: B_1 – ножка детали, Π – вредное тепловое поле. По стандарту 1.2.3 необходимо ввести B_2 , оттягивающее на себя вредное действие поля. Для этого подходят разные легкоиспаряющиеся вещества, например сухой лед. Такое же решение предлагает стандарт 1.1.8.1. Но лучшее решение можно получить, используя стандарт 1.1.8.2 – введение в место, где необходимо максимальное воздействие, вещества, дающего локальное поле. Для этого ножки с концами проводов предварительно окунают в экзотермическую смесь с температурой сгорания $350\text{--}400^{\circ}\text{C}$, а затем пайка ведется, как раньше, – окунанием в припой с температурой 280°C . Изоляция сгорает при вспышке экзотермической смеси, а полистирольная катушка не успевает размягчиться.

Задача 10. Установка для получения искусственных шаровых молний, созданная под руководством П.Л. Капицы, представляет собой реактор («бочку»), внутри которого находится гелий (давление до 3 атмосфер). Под действием мощного электромагнитного излучения в гелии возникает пламеный шнуровой разряд, стягивающийся в сферический сгусток плазмы. Для удержания этого сгустка в центральной части «бочки» используют соленоид, расположенный вокруг «бочки». Изменились условия опыта – резко повысилась мощность ЭМ–излучения. Плазма стала горячее и, следовательно, более легкой. Плазменный шар стал всплывать вверх. Чтобы удержать молнию в центре «бочки», нужно значительно повысить мощность соленоида. Сотрудники предложили демонтировать установку, строить новую, имеющую значительно более сильную соленоидную систему. Но П.Л. Капица нашел другое решение. Какое?

Задача на изменение. Исходная вепольная модель: B_1 – плазма, B_2 – газ, Π – вредное гравитационное поле, вынуждающее плазму всплывать. По стандарту

1.2.4 нужно ввести противополе. Какое? Вполне подойдет центробежное механическое. Возможна и другая исходная модель: B_1 – всплывающая плазма, B_2 – электромагнит, Π – магнитное поле, не справляющееся с удержанием плазмы. Имеется неэффективный веполь. По стандарту 2.1.2 нужно ввести еще одно поле (второе). Гравитационные, тепловые, электромагнитные поля отпадают по условиям задачи. Остаются различные механические и прежде всего – поле центробежных сил.

Идея заключалась в том, чтобы завернуть по кругу газ. Вместе с газом завертелся и сам разряд, он перестал всплывать. А заставляли газ непрерывно вращаться самые обычные воздуходувки, хорошо знакомые всем по домашнему пылесосу. Впрочем, именно пылесос и был использован на первых порах.

Задача 11. *При осаждении металлов электролизом из водных растворов возникает проблема отделения осадка (продукции) от катода (инструмента). Операция эта весьма трудоемкая и производится вручную. Как быть?*

Задача на изменение. Исходная вепольная модель: B_1 – катод, B_2 – слой осажденного металла, Π – вредное поле «прилипания» металла к катоду. Необходимо обратиться к подклассу 1.2. По стандарту 1.2.2 между катодом и слоем осажденного на катоде металла должна быть прослойка – легкообразующаяся, электропроводная, легкоразрушающаяся. Такую прослойку получают, покрывая катод рыхлым губчатым слоем осаждаемого металла, который наносят электролитически в режиме предельного тока.

Задача 12. *Сверлить слоистые пластик или слюду из–за расслоения очень сложно, края отверстий получаются рваные. Как быть?*

Задача на изменение. Исходная вепольная модель: B_1 – пластик, B_2 – сверло, Π – механическое поле. Механическое поле помимо полезного действия (сверление) производит и вредное (расслоение). Следовательно, можно воспользоваться стандартами подкласса 1.2. Например, по стандарту 1.2.4 можно ввести механическое противополе – металлические стяжки, укрепляющие пластик. Исходный веполь можно рассматривать и как недостаточно эффективный. В этом случае по стандарту 2.1.1 пластик B_1 можно развернуть в веполь: ввести B_3 – воду и тепловое поле Π_2 – замораживание.

Задача 13. *Внутренние поверхности стеклянных сосудов Дьюара шлифуют, засыпая в сосуд абразивный порошок и вращая сосуд. Спрогнозируйте следующее изобретение.*

Задача на изменение. Исходная вепольная модель – неэффективный веполь. По стандарту 2.4.2 заменяем абразивный порошок на ферромагнитный (или добавляем феррочастицы) и вводим магнитное поле.

Задача 14. *Известен способ проведения хирургических операций, при котором для точного совмещения краев разреза на место будущего разреза ставят*

краской «штамп» в виде клеточек (по линиям клеточек хирург совмещает потом края разреза). Но линии штампа обычно плохо видны, потому что во избежание попадания краски в рану ее берут очень мало. Как улучшить видимость линий, не увеличивая количество краски?

Задача на обнаружение. Исходная веопольная модель:

B_1 – краска, Π – слабое оптическое (разновидность электромагнитного) поле. По стандарту 4.2.2 в краску вводится люминофор.

Задача 15. Завод готовил выпуск автомобильных электровулканизаторов для ремонта шин в полевых условиях, питающихся от аккумулятора автомобиля. Для обеспечения хорошей заклейки поврежденной шины необходимо нагреть заплату до определенной температуры и выдержать ее при этой температуре заданное время. Спроектировали электронное устройство с термопарами, коммутатором и т. п. Но оно оказалось слишком дорогим и сложным. Как быть?

Задача на измерение температуры и ее регулирование. По стандарту 4.1.1 нужно так изменить систему, чтобы отпала необходимость в измерении. Этого можно добиться, если использовать для получения нужной температуры и ее стабилизации фазовый переход, например плавление сплава с заданной температурой плавления. Количество сплава определяет время, в течение которого температура будет держаться постоянной.

Задача 16. В полимеры для повышения стойкости добавляют вещества, «перехватывающие» кислород, разрушающий полимеры. В качестве веществ–перехватчиков используют мелкодисперсные металлы, которые обязательно должны иметь чистую (неокисленную) поверхность. Но как ввести перехватчиков? В вакууме, восстановительной или инертной среде? Слишком сложно. Как быть?

Вещество–перехватчик нужно вводить, чтобы повысить стойкость полимера, и нельзя вводить, чтобы он не окислился заранее. Решение по стандарту 5.1.1.8: в обычных условиях вводят соль, выделяющую металл при нагреве. В качестве такой соли можно использовать, например, оксалат (железную соль уксусной кислоты). Оксалат разлагается при нагреве с выделением железа или закиси железа, которая тоже работает как перехватчик кислорода.

Задача 17. Детали из нитрида ниобия получают следующим образом: прессуют деталь из порошка ниобия, а затем поджигают ее в азотной атмосфере. Сгорая, ниобий превращается в нитрид ниобия. Но реакция идет так бурно, что деталь либо разлетается на части, либо реакция захватывает только наружные слои, а внутри детали остается «сырой» (не прореагировавший с азотом) ниобий. Можно «успокоить» реакцию, вводя в деталь негорючий материал, например песок. Но тогда деталь будет испорчена – она должна быть из чистого нитрида ниобия. Как быть?

По стандарту 5.1.3 нужно добавлять в ниобий негорючий нитрид ниобия.

Решение нетиповых задач. АРИЗ

Наряду с типовыми задачами, решаемыми по четким правилам в один ход, существуют задачи нетиповые, многоходовые. Для их решения нужна программа, позволяющая шаг за шагом продвигаться к ответу. Такая программа, использующая все средства и методы ТРИЗ (законы развития технических систем, ведомый анализ, стандарты, информационный фонд), называется **алгоритмом решения изобретательских задач (АРИЗ)**.

Первые модификации АРИЗ опубликованы в 50–е годы. С тех пор АРИЗ систематически совершенствуется: каждая его модификация в широких масштабах проверяется на практике, случаи сбоев тщательно изучаются, в текст АРИЗ вносятся корректизы.

Разработка новых модификаций АРИЗ опирается на исследование больших массивов патентной информации по изобретениям высших уровней. Найденные закономерности, правила, приемы включаются в экспериментальные тексты АРИЗ. Разветвленная система школ ТРИЗ позволяет в короткие сроки всесторонне опробовать нововведения. Этим и объясняются высокие темпы развития алгоритма. Каждая модификация АРИЗ включает три компонента.

1. Основой АРИЗ является программа последовательных операций по выявлению и устранению противоречий. Программа позволяет шаг за шагом переходить от расплывчатой исходной ситуации к четко поставленной задаче, затем к предельно упрощенной модели задачи и анализу противоречий. В программе (в самой ее структуре, в правилах по выполнению отдельных операций) отражены объективные законы развития технических систем.

2. Поскольку программу реализует человек, необходимы средства управления психологическими факторами: нужно гасить психологическую инерцию и стимулировать работу воображения. Значительное психологическое воздействие оказывает само существование и применение АРИЗ: работа по программе придает уверенность, позволяет смелее выходить за пределы узкой специализации и, главное, все время ориентирует работу мысли в наиболее перспективном направлении. Но нужны и конкретные приемы, форсирующие воображение. Важным психологическим приемом, позволяющим глубоко проникнуть в суть задачи, является требование формулировки задач без специальных терминов, на языке, понятном даже ребенку. Еще одним эффективным способом подавления психологической инерции является «моделирование маленькими человечками» (ММЧ) – нарисованные по определенным правилам условные картинки, на которых требуемое действие выполняется группой маленьких человечков, олицетворяющих те или иные реальные физические объекты.

В сущности, в основе этих приемов лежат тоже объективные закономерности, но еще не вполне ясные. По мере развития АРИЗ психологические приемы превращаются в приемы преобразования задачи.

3. АРИЗ снабжен обширным и в то же время компактным информационным

фондом. Основные составляющие этого фонда – указатели физических, химических, геометрических эффектов и явлений.

Современная модификация АРИЗ–85В (приложение 5) включает девять частей: 1.

Анализ задачи; 2. Анализ модели задачи; 3. Определение ИКР и ФП; 4.

Мобилизация и применение вещественно–полевых ресурсов (ВПР); 6.

Применение информационного фонда; 7. Изменение и (или) замена задачи; 8.

Применение полученного ответа; 9. Анализ хода решения.

Решение задачи начинают с перехода от заданной ситуации к минимальной задаче, получаемой по правилу: техническая система остается без изменений, но исчезают недостатки или появляются требуемые свойства. Мини–задача ориентирует на наиболее простое и поэтому легко внедряемое решение.

Центральная часть формулировки мини–задачи – указание на техническое противоречие, возникающее при попытке устранить недостаток или получить требуемое свойство известными методами или средствами. Последующие шаги первой части АРИЗ предписывают переход от мини–задачи к модели – предельно упрощенной схеме конфликта, составляющего суть задачи. Дальнейшее сужение области анализа осуществляют (во второй части алгоритма) выделением оперативной зоны, то есть области, изменение которой необходимо и достаточно для решения задачи. Переход начальная ситуация – мини–задача – модель задачи – оперативная зона производят по правилам, гарантирующим надежное определение оперативной зоны. Во вторую часть входит и выявление уже имеющихся вещественно–полевых ресурсов.

Третью часть алгоритма составляют наиболее сильные механизмы «перемалывания» задачи – определение ИКР (идеального конечного результата) и ФП (физического противоречия).

Формулировка ИКР отражает идеальный образ искомого решения задачи: требуемый эффект должен быть достигнут без каких бы то ни было потерь – недопустимого изменения и усложнения системы, ее частей или оперативной зоны, без затрат энергии, без возникновения сопутствующих вредных явлений и т. д. Четкое представление об ИКР позволяет выявить ФП, связанное с оперативной зоной. Физическое противоречие формулируют на двух уровнях – макроуровне (выделенная часть объекта) и микроуровне (частицы этой части). Если задача решается на микроуровне, то формулировка микро–ФП может непосредственно привести к решению задачи – ответ становится очевидным. В других случаях микро–ФП облегчает отыскание ответа.

Третья часть АРИЗ–85В содержит важное нововведение, которого не было в предыдущих модификациях.

В ТРИЗ издавна и всемерно подчеркивалось значение «многоэкранной схемы мышления». При этом имелось в виду прежде всего умение видеть одновременно систему, надсистему и подсистему. Зачем это нужно? Зачастую идея, полученная при рассмотрении системы, годится не для нее самой, а для подсистем или надсистем. Нужно уметь отделять идею решения от ее «носителя» (системы) и переносить на другие «носители». Это тонкая и сложная мыслительная операция.

Во всех предшествующих модификациях АРИЗ изменения разных частей системы (инструмента, внешней среды, изделия) рассматривались последовательно. Нередко это требовало повторного или многократного анализа. Предположим, ответ заключается в изменении агрегатного состояния внешней среды. По правилам необходимо сначала проверить изменение инструмента. При этом может появиться, например, идея изменения агрегатного состояния инструмента) Но задачу это не решит, придется вести вторую линию анализа (с внешней средой), чтобы выйти на идею изменения агрегатного состояния внешней среды.

АРИЗ, начиная с первых модификаций, строился на принципе последовательности линий анализа. АРИЗ–85В впервые реализует принцип

параллельности этих линий. Такая перестройка обусловлена тенденциями развития современных модификаций АРИЗ. В этих модификациях появляется необходимость видеть одновременно линии анализа разных частей системы и, более того, одновременно следить за взаимодействием АРИЗ с системой стандартов.

Четвертая часть АРИЗ–85В начинается с применения метода «моделирование маленькими человечками». Как уже упоминалось, в синектике используется личная аналогия (эмпатия): человек вживается в образ предмета, о котором идет речь в задаче, и пытается представить нужные изменения. Практика работы с этим приемом показала, что иногда он действительно облегчает решение задачи, а иногда, напротив, заводит в тупик. Оказалось, что личная аналогия вредна во всех случаях, когда решение требует «разрушительного» изменения объекта (разделить, раздробить, расплавить и т. д.). Отождествив себя с объектом, человек невольно избегает разрушительных преобразований. Возникла проблема: как сохранить (и развить) положительные качества личной аналогии и избавиться от ее отрицательных качеств? Так в ТРИЗ появился метод ММЧ. Оперативную зону (не весь объект!) представляют в виде разделенной на «команды» толпы маленьких человечков. Стрягают схему конфликта, а потом меняют поведение маленьких человечков, устранивая конфликт. Толпа маленьких человечков легко дробится и перестраивается.

В тексте АРИЗ есть правила, как использовать «маленьких человечков». Они отражают объективные законы развития систем (то есть законы, позволяющие простую «толпу» превратить в более эффективную, обладающую новыми качествами полисистему). Метод ММЧ подготавливает к операциям по мобилизации ВПР. На наглядных рисунках моделируются действия, которые предстоит реализовать с помощью ВПР.

Имеющиеся ВПР, выявленные во второй части, как правило, недостаточны для решения задачи (в противном случае она была бы уже решена). Но они есть и, в сущности, бесплатны. Между тем для решения задачи обычно требуются другие вещества и поля, за введение которых надо платить усложнением системы, удорожанием процессов и т. д. Противоречие: надо вводить новые вещества и поля и не надо их вводить. Разрешается это противоречие в духе ТРИЗ: новые вещества можно получить из пустоты или видоизменением имеющихся. Их можно извлечь и из структурных недр имеющихся веществ. Если для решения задачи требуются частицы определенного уровня, их целесообразно получать обходными путями: разламыванием частиц ближайшего верхнего уровня или достройкой частиц ближайшего нижнего уровня.

Четвертая часть АРИЗ–85В обладает большими резервами развития. Уже сейчас ее можно, было бы пополнить некоторыми операциями, например получением производных ВПР за счет структурирования и динамизации имеющихся ВПР. Анализ задачи по первым четырем частям АРИЗ резко упрощает задачу и во многих случаях делает ответ очевидным. Если этого не происходит, задачу рассматривают по пятой части алгоритма – с привлечением информационного фонда – физэффектов, типовых задач–аналогов. Наконец, если мини–задача вообще не может быть решена, переходят – по шестой части алгоритма – к другой задаче.

АРИЗ предназначен для получения общей идеи решения, в функции алгоритма не входит конструкторская, инженерная проработка полученного решения. Однако общую идею АРИЗ стремится максимально укрепить и развить. Седьмая часть АРИЗ включает ряд шагов, контролирующих приближение ответа к ИКР, соответствие намечаемых изменений системы закономерностям технического

прогресса. Восьмая часть АРИЗ расширяет сферу действия полученной идеи: должны быть использованы все резервы превращения идеи в универсальный принцип решения целого класса задач. Таким образом, АРИЗ предназначен не только для решения конкретных изобретательских задач, но и для выработки новых стандартов.

Еще одна функция алгоритма состоит в развитии мышления человека, решающего задачу. Эту функцию, в частности, выполняет девятая часть АРИЗ: изучение хода решения задачи, выявление отклонения от канонического текста алгоритма, исследование причин отклонений.

Операторы, входящие в АРИЗ, заставляют мысль продвигаться в нетрадиционном, «диком» направлении. Они отсекают пути, кажущиеся очевидными, заставляют утяжелять условия задачи, ведут в тупик физических противоречий. Нетривиальность, «дикость» мыслительных действий заложена в самой программе АРИЗ, в формулировке шагов, в обязательных правилах.

Невозможно уклониться от этой «дикости», не нарушив явно предписаний АРИЗ. Императивность АРИЗ иногда воспринимают как покушение на свободу творчества. АРИЗ действительно отнимает свободу совершать примитивные ошибки, свободу быть прикованным к психологической инерции, свободу игнорировать законы развития технических систем.

При правильной работе по АРИЗ каждый шаг логично следует из предыдущего. Логичность отнюдь не мешает появлению принципиально новых (неожиданных) идей. Новое возникает как результат применения необычных операторов, АРИЗ: происходит переориентация задачи на ИКР, требования обостряются и доводятся до ФП, макро–ФП трансформируется в микро–ФП и т. д. Беспорядочному, броуновскому движению свободной мысли при решении задачи методом проб и ошибок АРИЗ противопоставляет высокую организованность мышления в сочетании с нетривиальностью мыслительных операций и сознательным использованием знаний о закономерностях развития техники. Регулярное применение аналитического аппарата АРИЗ вырабатывает «аризный» (в сущности – диалектический) стиль мышления, характеризующийся обоснованной нетривиальностью и стремлением опираться на всеобщие законы диалектики и конкретные закономерности развития систем – технических, научных, художественных и т. д.

Рассмотрим пример разбора задачи по АРИЗ.

Задача 18. *В строительстве наряду со сборным железобетоном с успехом применяют и монолитный. Здания из монолитного железобетона строят методом скользящей опалубки – обычной металлической формы, в которую заливают бетонную смесь. Когда смесь затвердевает, опалубку поднимают выше, и все повторяется. Способ удобный, но есть недостаток: бетон прилипает к опалубке. Действуя домкратами, ее все–таки отрывают от бетона и передвигают, но поверхность стены при этом получается «со шрамами», ее необходимо штукатурить. Передвинуть опалубку, когда бетон еще не затвердел, нельзя, возможна деформация стены. Как быть?*

Часть 1

1.1 Мини–задача. Техническая система для строительства здания включает бетон (смесь), опалубку (форму), подъемное устройство. ТП–1: если форма удерживает смесь долго, то смесь хорошо затвердевает, но прилипает к форме. ТП–2: если форма удерживает смесь недолго, то смесь не прилипает к форме, но и не успевает хорошо затвердеть. Необходимо при минимальных изменениях в системе обеспечить затвердование смеси при исключении прилипания к форме.

Примечание. Опалубка, бетон – термины. В соответствии с примечанием 1 к АРИЗ (приложение 5) они заменены общеупотребительными словами.

1.2. Конфликтующая пара. Изделие – смесь (С). Инструмент – форма (Ф), держащая долго и недолго.

1.3. Графические схемы конфликта.



1.4. Выбор ТП. Главный производственный процесс (ГПП) – строительство здания. Выбираем ТП–1.

1.5. Усиление конфликта. Форма удерживает долго – форма держит всегда (неподвижная форма). При этом смесь хорошо затвердевает, но намертво прилипает к форме.

Примечание. Усиление конфликта – важный шаг. Его смысл в том, чтобы как можно дальше уйти от компромисса, не пытаться искать оптимальное время выдержки. Обострение конфликта – всегда приближение к решению. Но бывает, что усиление позволяет увидеть одно из решений. Так, переход к неподвижной опалубке подсказывает идею:

делать опалубку из облицовочного материала, который никуда не передвигается, а остается на месте. Правда, у этого решения есть недостаток – облицовочный материал дорог. Идем дальше.

1.6. Модель задачи. Даны: неподвижная форма и смесь. Неподвижная форма позволяет смеси затвердеть, но смесь намертво прилипает к форме. Необходимо ввести икс–элемент, который, сохранив отличное затвердование смеси, не допустит прилипания ее к форме.

1.7. Проверка возможности решения по стандартам. Исходная вспольная модель: В₁ – форма, В₂ – смесь, П – вредное поле прилипания. Получается вредный всполь. Для его разрушения можно воспользоваться стандартами подкласса 1.2.

Часть 2

2.1. Оперативная зона (ОЗ). Зона контакта смеси с формой, включая небольшие прилегающие к ней участки смеси и формы (рис. 6).

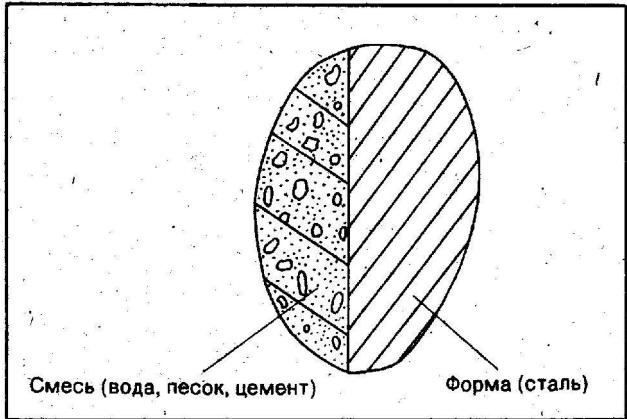


Рис. 6. Оперативная зона

2.2. Оперативное время (ОВ). Конфликтное время T_1 – момент отрывания формы от смеси. Ресурсное время T_2 – время затвердевания.

2.3. Для анализа удобно выписать ВПР в виде таблицы:

Ресурсы	Вещество	Поля
Внутрисистемные (ресурсы ОЗ): инструмент — форма изделие — смесь	Металл Вода, песок, цемент, гравий	$P_{\text{мех.}}$ — прилипание
Внешнесистемные: среда арматура домкрат	Воздух Металл	Фоновые поля $P_{\text{мех.}}$ — усилие отрыва
Надсистемные: то, что есть на стройке	Вода	Электроэнергия

Часть 3.

3.1. ИКР-1. Икс–элемент, абсолютно не усложняя систему и не вызывая вредных явлений, устраниет, не допускает прилипания смеси в месте контакта ее с формой (ОЗ), во время затвердевания (ОВ), сохраняя при этом хорошее затвердевание.

3.2. Усиленный ИКР. Икс–элемент, очевидно, должен быть какой–то прослойкой между формой и смесью. Но за «чужую» прослойку придется платить, она будет расходоваться и т. д. Идеально, если икс–элемент будет из ресурсов, причем из оперативной зоны. Выбирать приходится между металлом формы и смесью.

Несмотря на то, что форма – инструмент, и его ресурсы обычно предпочтительнее использовать, в данном случае мы не можем расходовать металл на создание прослойки, поскольку форма многоразового действия. Зато у нас много смеси. Поэтому выбираем ее в качестве икс–элемента.

Смесь (бетон), абсолютно не усложняя систему и не вызывая вредных явлений, не допускает в месте контакта с формой во время затвердевания прилипания к форме, сохраняя способность хорошо затвердевать.

3.3. ФП на макроуровне. Смесь должна быть схватывающейся, чтобы затвердевать, и должна быть несхватывающейся, чтобы не прилипать.

3.4. ФП на микроуровне. Частицы смеси должны быть липучими, чтобы смесь схватывалась и должны быть нелипучими, чтобы она не прилипала.

3.5. ИКР-2. Оперативная зона сама должна обеспечивать наличие липучих и нелипучих частиц.

3.6. Решение по стандартам. Нужна нелипучая прослойка. Как ее получить, не вводя посторонних веществ? Здесь может помочь стандарт 5.1.1.9.

Часть 4

4.1. Моделирование маленькими человечками (рис. 7). Было: с одной стороны «человечки» (частички) формы, с другой – «толпа» перемешанных между собой «человечков» (частичек) песка, воды, цемента, щебня. Все человечки крепко сцепились между собой. Стало: между человечками формы и толпой выстраивается линия человечков, например воды или песка. Они не прилипают к форме.

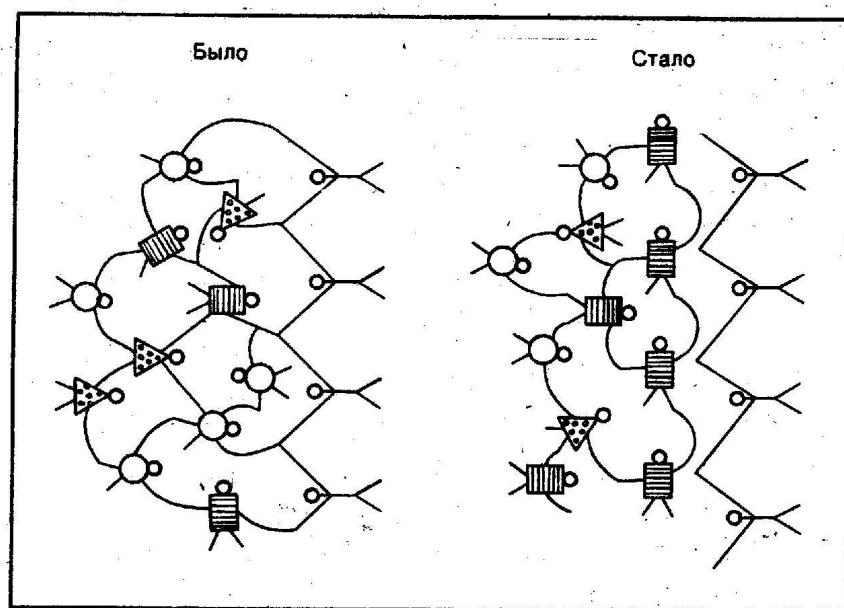


Рис. 7. Моделирование оперативной зоны методом ММЧ

4.2. Шаг назад от ИКР. ИКР: линия человечков, отделяющая липучую смесь от формы. Введем маленькое «демонтирующее» изменение: сквозь «кордон» прорвался «липучий» человечек. Или наоборот – один человечек защитного слоя «сбежал с поста». Что делать? Конечно, нужно водворить «нарушителя» на место. Человечки «подчиняются» приказам полей. Значит, нужно найти поле, способное управлять человечками воды или песка.

4.3. Использование смеси ресурсных веществ. Нас удовлетворяет прослойка из воды, песка или из смеси воды с песком. Не должно быть смеси воды с цементом, порождающей «липкость».

4.4. Использование смеси ресурсных веществ с пустотой. Пустота в нашем случае – это пузырьки пара или газов, входящих в состав воды. Их можно

получить из воды нагревом или электролизом.

4.5. Использование производных ресурсов. Ресурс, производный от воды, – тот же пар или газ.

4.6. Использование электрического поля вместо введения веществ. Нет необходимости.

4.7. Применение пары вещество – поле. Возможно сочетание: заряженные частички – электрическое поле.

Часть 5

5.1. Решение по стандартам. Задача снова изменилась. Исходная вепольная модель: В₁ – частичка (человечек) воды. Нужно им управлять. Неполный веполь, значит, нужно воспользоваться стандартами подкласса 1.1.

5.2. Использование задач–аналогов. Известно изобретение, облегчающее подъем затонувшего корабля из илистого грунта. Ил засасывает корпус корабля, и для его отрыва от грунта требуются огромные усилия. Приходится подводить много понтонов, которые, как только корабль вырвется из ила, становятся опасными: возможен выброс корабля над поверхностью моря, от чего он может разрушиться. Для исключения необходимости в дополнительных понтонах было предложено создать тончайшую прослойку между илом и корпусом корабля с помощью электролиза.

5.3. Разрешение ФП. Основные принципы разрешения ФП приведены в приложении 3. ФП, сформулированное на шаге 3.3, разрешено в пространстве: вся масса бетона липучая, а тонкая прослойка у формы – нелипучая.

5.4. Применение указателя физэффектов. Краткий указатель приведен в приложении 6. В графе «Управление движением жидкости и газа» выбираем электроосмос – перенос жидких частиц от анода (положительного электрода) к катоду (отрицательному). Тот же эффект предлагается и для разделения смесей. Во время электроосмоса идет и обратный перенос твердых частиц от катода к аноду – электрофорез. Он тоже полезен.

Часть 6

6.1. Технический ответ. Для создания водной прослойки необходимо подать постоянное напряжение: отрицательный полюс – на форму, положительный – на арматуру в непосредственной близости от формы.

6.2.–6.4. Замена задачи. Нет необходимости.

Часть 7

7.1. Контроль ответа. Использован ВПР из оперативной зоны – вода из смеси. Электроэнергию можно взять из надсистемы – на стройке наверняка найдется сварочный трансформатор, несложно достать или смонтировать и выпрямитель. Электрическое поле – хорошо регулируемое.

7.2. Оценка полученного решения:

а) выполнено ли требование ИКР? Прилипание устранено, процесс затвердевания не ухудшается. Система незначительно усложнилась: введено электрическое поле;

- б) физическое противоречие разрешено;
- в) система содержит хорошо управляемый элемент – электрическое поле. Меняя напряжение, можно управлять перемещением частиц;
- г) полученное решение годится для непрерывной работы.

7.3. Проверка новизны полученного решения. Такое решение содержится в изобретении по авт. свид. СССР № 308 172.

7.4. Подзадачи.

1. Какие требуются напряжения? Необходимы расчеты.
2. Водяная прослойка плохо работает на морозе – примораживание еще сильнее затруднит отрывание опалубки от бетона.

Часть 8

8.1. Изменения в надсистеме. Потребуется установить сварочный трансформатор, выпрямитель. Поскольку напряжения требуются небольшие, особых мер безопасности принимать не нужно.

8.2. Возможность применения измененной надсистемы по-новому. Можно управлять структурой поверхностного слоя бетона, например создавать определенный рисунок.

8.3. Использование полученного ответа при решении других задач.

8.3а. Обобщенный принцип решения: 1. Для переноса микрочастиц нужно использовать электрофорез и электроосмос. 2. Использовать электролиз и сопровождающие его эффекты электропереноса для получения модификаций при разрушении вредных влаги. 3. Управление равновесием химических процессов и применение для этого электрического поля. Использование электролиза для смешения равновесного состояния смеси.

8.3б. Прямое применение полученного принципа для решения других задач.

При перевозке бетона в самосвалах тоже наблюдается прилипание бетона к стенкам кузова. Полученный принцип годится для решения и этой задачи.

Аналогичные задачи: в пищевой промышленности – тесто при смешивании прилипает к стенкам емкости; в археологии – со дна морей поднимают иногда затонувшие изделия из металлов с наросшей коркой. Отделить корку очень сложно, можно повредить изделие. Электролиз используют для создания прослойки между коркой и поверхностью изделия. Полученный принцип можно также использовать для снижения трения в опорных узлах скольжения (в качестве смазки используют электролит), для получения заданной структуры поверхностей бетонных труб, для получения нескисающего молока (из молока выделяются «кислые» частицы – творог), для осветления соков, создания гидроизоляционных слоев, обессоливания почв и т. д.

8.3в. Использование принципа, обратного полученному.

В технике встречается и обратная задача: как улучшить склеивание? С помощью электрического поля можно решить и эту задачу, в особенности склеивания полимеров. Другой пример – использование электрореологических жидкостей – затвердевание смеси под действием электрического поля.

8.3г. Морфологическая таблица.

Часть системы	Агрегатное состояние				
	Твердое 1	Жидкое 2	Газооб-разное 3	Плазма 4	Пустота 5
A. Опалубка	A1	A2	A3	A4	A5
B. Прослойка	B1	B2	B3	B4	B5
B. Бетон	B1	B2	B3	B4	B5

Полученное решение соответствует комбинации A1, B2, B1/2 (водяная прослойка) и A1, B3, B1/2 (газовая). Но возможны и другие комбинации. Например, A1, B1, B1/2 – создание твердой прослойки из песка соответствует изобретению по авт. свид. СССР № 628266 и решает проблему строительства с помощью скользящей опалубки на морозе. Реализованы на практике и такие комбинации, как A1, B1, B2 – высаживание на поверхности твердого тела из жидкости с помощью электрического тока твердого защитного слоя, предохраняющего от разрушающего действия жидкости (такое решение используется для защиты сосудов, в которых хранятся или транспортируются агрессивные жидкости); A1, B3, B4 – слой холодного газа прикрывает стенки камеры сгорания реактивного двигателя от раскаленной плазмы, A1, B3, B5 – вакуумный диффузионный насос; A1, B4, B5 – электроразрядный вакуумный насос и т. д. Всего в данной таблице ⁵³ = 125 возможных комбинаций, часть из них реализована, часть – невозможны, а часть – новые варианты. Можно построить и другие варианты морфологической таблицы, например «части системы – поле» и т. д.

8.3д. Стремление размеров частей системы к нулю или бесконечности. Допустим, что размеры бетонируемого объекта значительно увеличились, например идет строительство огромной плотины. Задача в целом не меняется, хотя и затрудняется подача напряжения на всю опалубку. Очевидно, это лучше делать по частям. Тогда появляется возможность создания слоев бетона с разной структурой.

Если представить, что размеры уменьшаются, то возникает другая задача: нужно не допустить прилипания каких-то загрязнений к очень малым поверхностям. Здесь, помимо уже полученного решения, можно воспользоваться и электрическим полем, но для нашей основной задачи это решение неприемлемо.

Часть 9.

9.1. Анализ хода решения. Ход решения не отклонялся от теоретического.

9.2. Пополнение информфонда. Мы воспользовались указателем, следовательно, использованный физический эффект (электролиз, электроперенос) известен. Но два других принципа (см. шаг 8.3а) стоит занести в накопитель.

Использование физических, химических, геометрических и других эффектов и явлений при решении изобретательских задач

Исследования патентного фонда показали, что наиболее идеальные технические решения связаны с применением тех или иных физических эффектов и явлений. Таких примеров, когда физический эффект заменяет сложную машину, было приведено немало. Особую эффективность применения физики обеспечивает практическая «безотказность» физических явлений: любой механизм может сломаться, выйти из строя, но не может «сломаться» эффект теплового расширения, он всегда будет надежно «работать».

Задача 19. В печи для обжига цемента исходное сырье – шихту – нагревают горячим газом. Для получения цемента высокого качества необходимо контролировать температуру шихты. Это делали с помощью специального прибора – оптического тирометра, определяющего температуру по яркости свечения. Однако вскоре убедились, что прибор показывает температуру не шихты, а горящего газа. Встала задача: как измерить температуру самой шихты?

Несмотря на то что очень многие физические эффекты могут быть использованы в изобретательской практике, «физических» изобретений в патентном фонде относительно мало. Плохо используются даже всем известные эффекты из школьной программы, не говоря уже об открытых недавно эффектах аномально низкого трения, ультразвуковом капиллярном эффекте, эффекте Александрова и других.

При разработке инструментов ТРИЗ некоторые, наиболее «сильные» и широко применяемые физические эффекты попали в список приемов устранения технических противоречий. В дальнейшем физиком Ю. Гориным была проведена большая работа по созданию специализированного указателя физических эффектов и явлений, представляющих интерес для специалистов самых разных профилей. Указатель построен по разделам, каждый из нескольких сотен приведенных эффектов снабжен примерами изобретательского применения.

Пользование указателем облегчается благодаря приведенной в нем таблице, позволяющей по необходимому в задаче действию подобрать подходящий физический эффект. Возможно использование таблицы и без указателя, хотя с меньшим эффектом. Для этого после определения по таблице нужного эффекта можно обратиться к справочной и другой общедоступной литературе по физике. По таблице (см. приложение 6) для измерения температуры среди прочих эффектов рекомендуется использовать спектры излучения. Обратившись к справочнику по физике (Кошкин Н.И., Ширкевич М.Г. Справочник по элементарной физике. М.: Наука, 1976, с. 200), выясняем, что при распространении света в разряженных средах (газах, парах) спектр излучения линейчатый: состоит из ярких полос, чередующихся с темными. Такой спектр характерен для пламени. А для жидких и твердых веществ спектр излучения сплошной. Отсюда решение: измерять температуру шихты на фоне темных полос спектра пламени.

Однако такое изящное решение долго не могли внедрить. Оказалось трудным найти светофильтры, «вырезающие» из общего смешанного спектра нужный участок. Сложилась ситуация, которая, к сожалению, часто случается при поиске

нового методом проб и ошибок: перевалив через высокую гору, то есть решив сложнейшую задачу, путешественник–изобретатель застрял перед следующей маленькой горкой, даже не попытавшись через нее перебраться, не понимая, что перед ним просто новая задача, которую совсем не трудно решить, если только отнестись к ней именно как к обычной технической задаче, а не организационной, снабженческой и т. п. Два года специалисты разыскивали светофильтры с нужными характеристиками, пока не появилось (должно было появиться!) еще одно простейшее изобретательское решение: разложить свечение в спектр обычной призмой и «вырезать» нужный участок не с помощью светофильтров, а просто «по месту», направив объектив пирометра только на тот участок, который соответствует предъявляемым требованиям.

При решении измерительных задач необходимость использования различных физических эффектов проявляется особенно ярко. По сути дела, все они сводятся к одной проблеме – получить информацию о состоянии имеющихся в системе веществ или полей. Причем эта информация должна быть представлена в виде легко обнаружимого поля, то есть поля, непосредственно воздействующего на органы чувств человека либо на простейшие приборы, например компас, электроскоп, термометр. Такая установка существенно облегчает поиск нужного эффекта, который можно представить в виде преобразователя поля из скрытого или труднообнаружимого в системе в легкообнаружимое. Причем в этом преобразователе нам всегда известно, что за поле на входе – какой параметр системы нужно измерять, а на выходе – в первую очередь поле, обнаруживаемое непосредственно тем или иным органом чувств человека.

Работа по созданию более эффективных указателей физэффектов продолжается и сегодня [8]. В простых случаях указатели можно использовать отдельно, в более сложных – в сочетании с такими инструментами, как вепольный анализ, АРИЗ. Они позволяют создать что–то вроде портрета, фоторабота физического эффекта, по которому его можно опознать в таблице.

Задача 20. Серьезная проблема в микроэлектронике – изготовление индуктивностей. Выполнить их, как остальные элементы (конденсаторы, резисторы, транзисторы), в поверхностном слое кремниевой пластинки, не удается. Поэтому либо создают специальные безындуктивные схемы (они довольно сложны), либо используют навесные элементы, что также усложняет схему, делает ее менее надежной, увеличивает габариты. А между тем не используется довольно большой пространственный ресурс, ведь толщина кремниевой пластинки относительно велика – от полумиллиметра до миллиметра, а используется только тончайший поверхностный слой. Вот если бы выполнить индуктивность в теле пластинки! Но для этого нужно проделать в кремнии спиральные многовитковые отверстия. Как?

Здесь просматриваются три задачи: как пробить в кремнии тончайшее отверстие; как сделать, чтобы отверстие было спиральной формы; как заполнить это отверстие электропроводным материалом.

Начнем с первой задачи. Исходная вепольная модель:

B_1 – пластинка кремния. По стандарту 1.1.1 нужно ввести вещество B_2 и поле P .

Учитывая микроразмеры отверстия, механическое, химическое и магнитное поля не подойдут. По таблице в графе «разрушение объекта» находим эффекты: электрические разряды, электрогидравлический эффект, резонанс, ультразвук, кавитация, лазер. Для нашего случая вполне подойдут электрический разряд и прожигание лазером.

Для решения второй задачи воспользуемся моделированием маленькими человечками. Вот команда «человечков» – фотонов или электронов (в зависимости от выбранного поля) – бросается вперед и... Как закрутить их по спирали?

По таблице в графе «Управление перемещением объекта» находим эффект воздействия магнитного поля на движущийся заряженный объект (ток). По справочнику узнаем, что для получения спиральной траектории необходимо наложить на поток заряженных частиц постоянное магнитное поле. Меняя напряженность и угол между силовыми линиями поля и направлением потока частиц, можно управлять радиусом и частотой витков.

Остается третья задача: как заполнить канал электропроводным материалом? Канал такой тонкий, что «человечки» металла могут проникнуть туда только по одному, буквально по атому. Ясно, что переносить материал по атому может только поле. И соответствующий физический эффект известен – электроперенос (электрофорез).

Закончено ли решение? Как будто да, но осталось кое–что уточнить. Дело в том, что при пробое перемещаются не только электроны, но и ионы. У них одинаковый заряд, но разные массы. Значит, и двигаться они будут не только в противоположном направлении (заряды у них противоположного знака), но и по разным траекториям. Получится не один, а два канала. Один – с большим количеством мелких витков, образованный электронами, другой – с меньшим количеством более размашистых, большего диаметра витков – работа ионов. Выходит, мы получили не просто индуктивность, а два индуктивно связанных контура! Это – большой дополнительный выигрыш, тот самый сверхэффект, который так часто дают хорошие изобретательские решения.

По сравнению с «физическими» «химические» изобретения встречаются еще реже. Но и здесь тоже возможны красивые решения.

Задача 21. Нефтяные скважины, через некоторое время эксплуатации начинают сокращать выход нефти, хотя в самом нефтеносном слое ее еще предостаточно. Но прилегающая к скважине почва забивается, засоряется нефтяными отложениями, скважина «запарафинивается». Для того чтобы снова увеличить выход нефти, скважину нужно прожечь с помощью мощной горелки. Но в этой процедуре были неясные вопросы, поэтому потребовались эксперименты с горелкой. Необходимо было иметь возможность – многократно зажигать ее прямо в скважине, не поднимая на поверхность. Горелка устроена достаточно просто. Основная ее часть – сопло, к которому подводятся воздух и керосин под высоким давлением. Из сопла вырывается мелкораспыленная струя керосина, которая и поджигается. Как поджигать – безразлично, но в зоне пламени горелки температура должна достигать 2000°C, поэтому зажигалки известного типа – пьезоэлектрические, механические, просто электрические

выдергиваю не более одного зажигания. Как быть?

Противоречие налицо: какой–то «икс–поджигатель» должен быть в оперативной зоне, чтобы поджигать струю, и не должен быть, чтобы не выходить из строя. Противоречие разрешается во времени: он должен появляться только на время, необходимое для поджигания. Но тогда придется воспользоваться приемом 27 – дешевая недолговечность взамен дорогой долговечности. «Икс–поджигатель» после срабатывания сгорает, и для следующего поджига нужно подать новый. Это не просто. Вся скважина занята горелкой, поэтому подать «икс–поджигатель» можно только через саму горелку. Он должен проникать в зону через тонкое отверстие сопла. Скорее всего нужно какое–то очень измельченное вещество или что еще лучше, жидкость. И даже можно сформулировать требования, которым она должна удовлетворять. Поскольку ее придется подавать через горелку, то есть по каналу, по которому в зону горения подается керосин, она не должна растворяться или взаимодействовать с керосином. Она должна быть также тяжелее керосина, чтобы, будучи налитой в трубопровод, опустилась вниз, к горелке. Эта жидкость не должна быть токсичной, самовозгораться в нормальных условиях, но должна загораться в воздухе при высоком давлении в присутствии струи керосина. Теперь дело за справочником по химии. И нужная жидкость нашлась. Температура ее вспышки в воздухе зависит от давления: при нормальном давлении – около 100°C, при высоком – около нуля.

Для облегчения поиска и использования химических эффектов и явлений Ю.П. Саламатовым разработан соответствующий указатель [9] (приложение 7). Мало используют изобретатели и геометрические, а также другие математические эффекты. А геометрия, например, позволяет осуществлять согласование–рассогласование форм, обеспечивать оптимальное взаимодействие инструмента с изделием и т. д. Далеко не каждый инженер слышал о «муаровых» узорах. Тем не менее можно ручаться, что все это явление неоднократно наблюдали, глядя на улицу через собранные в складки ажурные занавески. Два слоя такой занавески на просвет при малейшем дуновении ветерка как бы ожидают, по ним начинают пробегать светлые и темные полосы, волны. Дело в том, что если накладываются два участка с пустыми клетками, то это место кажется прозрачным, а если совпадают переплетения – то темным. И поскольку при шевелении слои занавески хоть немного перемещаются друг относительно друга, темные и светлые полосы меняются местами, явно обнаруживая это перемещение, которое другими измерительными приборами нелегко уловить. Простейший пример использования «муарового» эффекта – штангенциркуль. Более сложный – угломер, представляющий собой две наложенные друг на друга пластинки с рисками, верхняя из которых прозрачна. Самый незначительный поворот верхней пластинки относительно нижней приводит к появлению продольных полос в местах пересечения линий, и следовательно, показывает угол поворота.

Задача 22. В бумажном производстве используются окорочные машины, представляющие собой огромные (диаметром в несколько метров) врачающиеся

барабаны. Снаружи барабан обхвачен несколькими обручами, лежащими на катках, благодаря которым он поворачивается. Обручи должны плотно охватывать барабан, чтобы он не проскальзывал, но при необходимости они должны легко сниматься. Как быть?

Противоречие разрешается просто с помощью клиньев, расположенных встречно по окружности барабана и обруча (рис. 8).

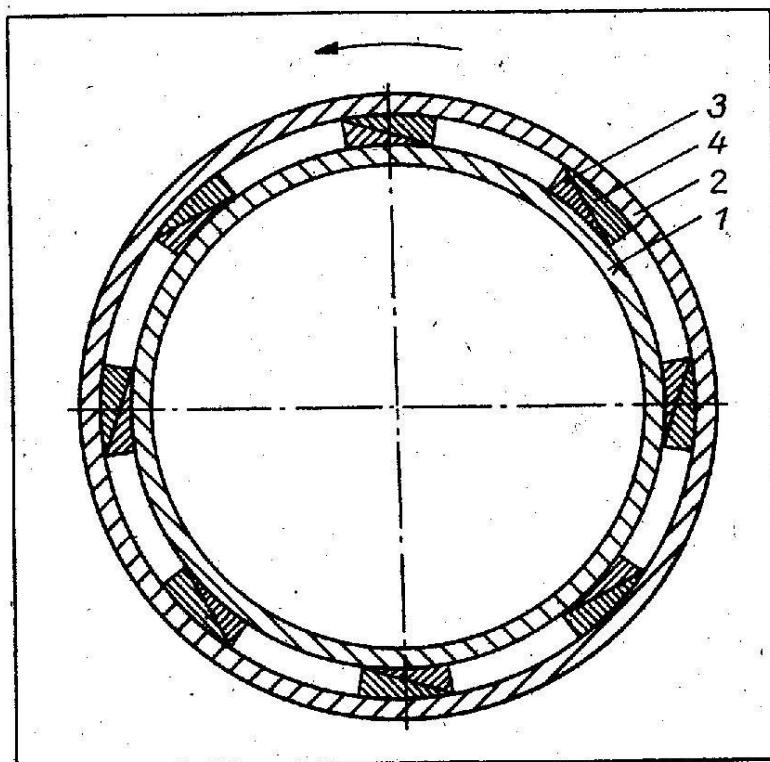


Рис. 8. Крепление окорочного барабана:
1 — барабан; 2 — обруч; 3 — клинья барабана; 4 — клинья обруча

Задача 23. Некоторое устройство получает сигналы U_1 («да») и U_2 («нет»). Для каждого сигнала имеется канал усиления, причем коэффициенты усиления обоих каналов (K_1 и K_2) могут не быть равны. После усиления сигналы вычитываются, и в зависимости от знака разности идет команда в последующие узлы системы. Поскольку эта команда зависит от разности $U_1K_1 - U_2K_2$, то из-за неодинаковости коэффициентов усиления возможны ошибки, например слабый сигнал U_1 («да»), пройдя через большое усиление, может оказаться сильнее большего по величине сигнала U_2 («нет»), получившего меньшее усиление. Как сделать, чтобы устройство никогда не ошибалось даже при существенной разнице в коэффициентах усиления?

Решение было получено с помощью формул алгебраического сокращенного умножения. В один канал усиления подали сумму двух сигналов $U_1 + U_2$, а в другой — разность $U_1 - U_2$. Затем полученные сигналы $K_1(U_1 + U_2)$ и $K_2(U_1 - U_2)$ перемножили. В сигнале $K_1 K_2 (U_2/1 - U_2/2)$ коэффициенты усиления вынесены за скобку и не влияют на знак разности.

Появляются в патентном фонде и изобретения с использованием биологических эффектов.

Задача 24. *Отпечатки пальцев, оставленные преступниками, фиксируют, посыпая поверхность предмета графитовым порошком, который потом сдувают. Мельчайшие частички порошка, прилипая к следам жира, оставленным пальцами рук, повторяют форму папиллярных линий. Но таким образом нельзя снять отпечаток с ворсистого или липкого материала – порошок будет прилипать в любом месте, а не только там, где оставил отпечаток преступник. Как быть?*

Идеальное решение – линии сами становятся видимыми. Но для этого они должны «потолстеть» в тысячу раз. Что может расти само? В первую очередь живое вещество. Недавно был выведен сорт бактерий, которые активно размножаются, питаясь кожным жиром. Кусок ткани со следами пальцев орошают культурой бактерий и помещают в термостат. Через некоторое время ясно видны колонии бактерий, «выстроившиеся» вдоль папиллярных линий. К сожалению, сегодня ТРИЗ еще не располагает набором всех необходимых изобретателю указателей. Но работы в этом направлении ведутся. С использованием геометрических, химических и других эффектов изобретатель может познакомиться в литературе [3 – 9].

Решение изобретательских задач

Решением изобретательских задач нужды производства не исчерпываются. На практике часто приходится сталкиваться и с проблемами несколько иного характера – задачами исследовательскими, в которых нужно найти, объяснить причины того или иного наблюдаемого явления, например причины появления брака.

Задача 25. *Микропровод в стеклянной изоляции толщиной от 3 до 60 микрон получают, поместив стеклянную трубку с находящимся внутри нее металлом в поле высокочастотного индуктора (рис. 9). Металл при этом плавится, стекло размягчается и трубку вытягивают в тончайший капилляр, заполненный внутри металлом. Когда по этой испытанной технологии начали изготавливать микропровод из сплава индий – сурьма, возникли трудности. Они не были неожиданными, потому что этот сплав в твердом состоянии занимает объем на 12% больший, чем в жидкоком. Правда, предполагали, что избыток металла будет вытесняться из зоны остывания вверх по капилляру. Но на практике оказалось иначе: сплав, расширяясь, уходил не вверх, а в стороны, разрушая стеклянную изоляцию, выпуская в нее «иглы»; металлическая жила рвалась на множество кусочков длиной от долей миллиметра до нескольких миллиметров. Почему?*

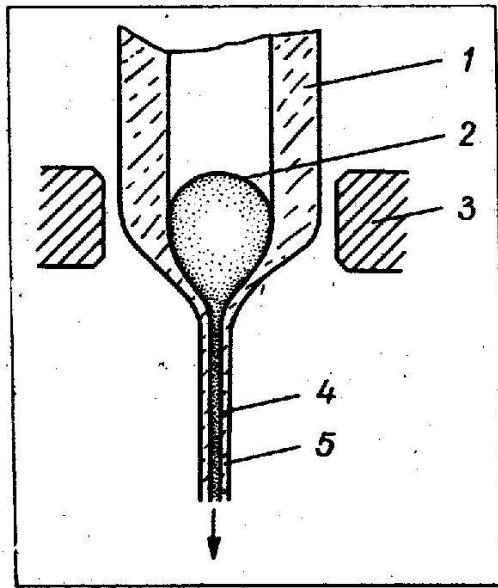


Рис. 9. Изготовление микропровода в стеклянной изоляции:

Эту задачу сначала пытались решать традиционным способом: формулировали гипотезу, потом ее проверяли. Если гипотеза не подтверждалась, выдвигали другую – типичный метод проб и ошибок. Например, появилась идея, что неприятности возникают из-за того, что металл не успевает вытесниться наверх. Попробовали замедлить процесс вытягивания, но в результате снизили производительность, практически не получив выигрыша в качестве микропровода. Другая идея – слишком быстро твердеет стекло. Но дополнительный подогрев зоны вытягивания ничего не дал.

Как же решать подобные задачи, исключив необходимость перебора многочисленных вариантов? Возможно ли и здесь использование ТРИЗ? Ведь в самой постановке исследовательской задачи в большинстве случаев имеется явное или скрытое указание на противоречие: «...явление происходит (или не происходит), в то время как по имеющимся представлениям должно быть наоборот...» Решить исследовательскую задачу – значит снять это противоречие, выяснить, в чем наши представления ошибочны. Анализ решений исследовательских задач, проведенный специалистами по ТРИЗ, показал, что наиболее эффективным в таких случаях является применение приема, который получил название **обращение исследовательской задачи**, заключающегося в том, что вместо основного вопроса «как это явление объяснить?» переходят к вопросу «как это явление получить?» Таким образом, происходит превращение исследовательской задачи в изобретательскую, в результате решения которой получают одну или несколько гипотез, подлежащих дальнейшей проверке с целью подтверждения или отклонения.

Прием обращения позволяет применить для решения исследовательских задач весь известный аппарат ТРИЗ. При этом есть ряд особенностей. Например, при решении изобретательской задачи использование ресурсов всегда предпочтительнее, но не обязательно (возможно и введение веществ, полей «с обе стороны»), в то время как решение обращенных исследовательских задач всегда достигается за счет ресурсов.

Очень часто самым эффективным является ресурс изменения, то есть те изменения, несоответствия условиям задачи, при которых ожидалось появление известного решения. Кроме того, не менее часто решение исследовательской задачи состоит в нахождении некоторого скрытого физического, химического и т. п. эффекта, системного свойства, приводящего к непонятному явлению.

Решение исследовательских задач включает ряд операций, последовательность которых приведена в приложении 8.

Рассмотрим для примера решение описанной выше задачи.

1. Система для изготовления микропровода включает стеклянную трубку, металл, тепловое поле (индуктор). При застывании металл расширяется и разрывает стеклянную трубку, в то время как должен был бы вытесняться вверх по трубке, не разрушая ее. Как это объяснить?

2. Обращенная задача. Система для изготовления микропровода включает стеклянную трубку, металл, тепловое поле. Как обеспечить разрушение трубы в нужном месте?

3. Разрушение трубы легко обеспечить, закупорив ее. В таком случае металл ее разрушит подобно тому, как разрывает закупоренную бутылку вода при замерзании.

4. Поскольку исходная задача исследовательская, пробка должна быть получена за счет ресурсов, то есть из самого застывающего металла. Значит, должны быть две зоны затвердевания, кристаллизации – одна внизу трубы, как бы донышко бутылки, вторая вверху – пробка. А между ними должен остаться жидкий металл.

5. Получить две зоны кристаллизации можно, используя эффект переохлаждения жидкостей. Чистые вещества, особенно в тонких капиллярах, могут оставаться жидкими при температурах существенно более низких, чем нормальная температура замерзания, затвердевания. Известен классический опыт, когда переохлажденная на несколько градусов ниже нуля вода почти мгновенно кристаллизуется по всему объему от легкого щелчка по стакану. Кристаллизация всегда идет с выделением тепла, поэтому в стакане с замерзшей водой всегда некоторое время находится в небольшом количестве незамерзшая вода с температурой около 0°C.

6. Поскольку решение есть, применять ТРИЗ не требуется.

7. В результате решения обращенной задачи появилась следующая гипотеза: разрушение микропровода происходит из-за возникновения двух зон кристаллизации. Поскольку мы имеем дело с очень чистым веществом, кристаллизация начинается в зоне минимальной температуры – при температуре ниже точки затвердевания. При этом выделяется некоторое количество тепла, не дающее застыть прилегающему к зоне кристаллизации слою жидкости. Вместе с тем кристаллизация начинается и в слоях, более удаленных от зоны с минимальной температурой. Причиной может быть толчок жидкости, возникающий в момент кристаллизации в самой холодной зоне. Так возникает «ловушка» для слоя жидкого металла между двумя зонами кристаллизации. При затвердевании этого слоя металлу уже не остается места для расширения, в результате он разрывает стеклянную трубку. При этом провод разламывается на мельчайшие кусочки.

Проверка гипотезы оказалась несложной. Было известно, что зона кристаллизации слегка светится. Приглядевшись к свечению внимательнее, обнаружили две светящиеся точки, расположенные на небольшом расстоянии друг от друга. Две точки соответствовали двум зонам кристаллизации. Выяснилось также, что две зоны наблюдаются и при изготовлении микропровода из других металлов, но поскольку объем жидкой и твердой фаз оставался одинаковым, микропровод не рвался.

8. Для устранения брака необходимо сблизить зоны кристаллизации. Это легко сделать, введя дополнительное охлаждение, отбирающее тепло, выделяющееся в зоне первичной кристаллизации.

На примере этой задачи можно убедиться в том, как очень трудная исследовательская задача после обращения становится настолько легкой, что для ее решения даже не требуется применять аппарат ТРИЗ. Но, конечно, так бывает не всегда.

Задача 26. *Существует способ магнитоабразивной обработки деталей, при котором масса стального абразивного порошка удерживается на круге из магнитного материала за счет магнитных сил. Круг вращается, порошок мягко касается детали и полирует ее. Однажды было обнаружено, что таким способом обрабатываются не только обычные детали, но и детали из твердого сплава. Но мягкий порошок не может обрабатывать более твердую деталь! Как же это объяснить?*

1. Система для магнитоабразивной обработки включает деталь, вращающийся магнит, магнитный порошок. При вращении магнита порошок обрабатывает деталь, твердость которой выше. Обычно это невозможно. Как объяснить наблюдаемое явление?
2. Обращенная задача. Система для магнитоабразивной обработки включает деталь, магнитный порошок, вращающийся магнит. Необходимо обеспечить обработку твердой детали более мягким порошком.
3. В технике известен способ обработки твердого материала мягким – это электроискровая обработка. В частности, в одной из первых установок электроэррозионной обработки медный электрод–пуансон обрабатывал стальные и твердосплавные детали.
4. Имеющиеся ресурсы – вещества порошка и детали; поля – механическое вращение порошка, механическое поле трения порошка о деталь, магнитное поле, создаваемое вращающимся кругом.
5. Необходим физический эффект, превращающий имеющиеся поля в электрическое. Такой эффект широко известен: перемещающееся относительно проводника магнитное поле может создавать в нем электрическое.
6. Строим исходную вепольную модель: B_1 – деталь, B_2 – порошок, Π – механическое поле (абразивное действие). Магнитное поле в процессе полирования не участвует, оно предназначено для удержания порошка. Таким образом, получаем неэффективный веполь. Необходимо его форсировать. По стандарту 2.2.1 нужно перейти к использованию более эффективных полей. Возможен также переход к сложным веполям (введение второго поля по стандарту 2.1.2). Поскольку среди готовых ресурсов подходящего поля нет, второе поле может быть производным ресурсом – электрическое поле (см. предыдущий пункт) и тепловое, которое может быть получено из механического – трения порошка о деталь.
7. Формулируем две гипотезы: причиной обработки являются электрические искры (электроэррозионная обработка); поверхность детали размягчается за счет выделяющегося при обработке тепла. Для проверки гипотез нужно поставить два эксперимента. Эксперимент первый – отключение теплового поля, например, охлаждение зоны обработки. Результат – нет влияния на обработку. Тепловое поле исключается. Эксперимент второй – обнаружение электрических искр, то есть задача на обнаружение. Исходная вепольная модель: B_1 – порошок, Π – электромагнитное

излучение. По стандарту 4.2.1 вводим В₂, преобразующее поле П в другое, хорошо обнаружимое. Например, можно поднести к зоне обработки антенну чувствительного приемника. Искры будут вызывать помехи. Этот эксперимент дал положительный результат.

8. Явление полезное, устраниТЬ его не требуется. Используя стандарты, это полезное действие можно усилить.

Задача 27. *В предвоенные годы были созданы бетонобойные снаряды, большого калибра – 155 миллиметров (рис. 10). При опытных стрельбах произошло несколько неожиданных взрывов снарядов сразу после вылета из ствола орудия. Снаряд нормально срабатывает следующим образом. При ударе о препятствие боек, лежащий на дне латунного стакана и прижатый к нему пружиной, ударяет по капсюлю, который, в свою очередь, подрывает взрывчатку. Как объяснить причину преждевременных взрывов?*

Предположение, что взрыв происходит из-за торможения о воздух, неверно, так как пружина жесткая, рассчитывалась на сильный удар о бетонную препятствие...

1. Система для подрыва взрывчатки включает боек, пружину, капсюль, взрывчатку. При вылете снаряда из ствола боек ударяет по капсюлю, вызывая взрыв, тогда как этого не должно происходить – боек должен удерживаться пружиной в отсутствие резкого торможения снаряда. Как объяснить причину взрыва?

2. Обращенная задача. Система для подрыва включает боек, капсюль, пружину. Необходимо заставить боек сжать пружину и ударить по капсюлю в отсутствие резкого торможения снаряда.

3. Известных технических решений не обнаружено.

4. Ресурсы вещественные: материал бойка, взрывчатка;

ресурссы полевые: ускорение при вылете снаряда, сопротивление воздуха снаряду.

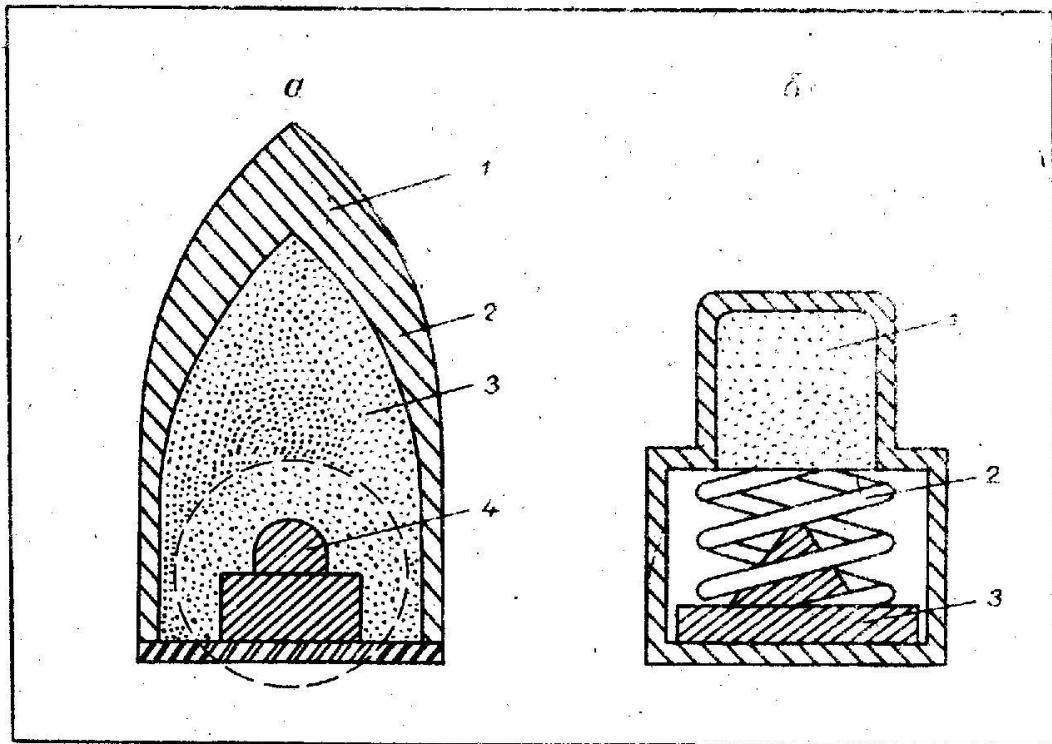
5. Физические эффекты, способные вызывать неожиданный взрыв: электризация, вызывающая проскачивание искр во взрывчатке; химические эффекты – химическая нестабильность взрывчатки, которая может возникнуть при нарушении технологии ее изготовления или хранения и в принципе способна вызвать взрыв при ускорении.

6. Решение обращенной задачи по АРИЗ–85В.

1.1. Мини–задача. Техническая система для подрыва снаряда сразу после вылета включает боек, капсюль, пружину. ТП–1: если пружины нет, то боек может ударить по капсюлю в момент вылета снаряда из ствола, но тогда он может взорваться в любое время. ТП–2: если пружина на месте, боек не может ударить по капсюлю в нужный момент, но снаряд не взорвется в любое время.

Необходимо при минимальных изменениях в системе обеспечить удар бойка по капсюлю в нужный момент.

1.2. Изделие – боек (Б). Инструмент – пружина (П) – отсутствующая, присутствующая.



1.3. Схема конфликта:

ТП-1:
—→ Б

ТП-2:
П ↗ Б

1.4. Выбираем ТП-2, так как по условию задачи взрывов в другие моменты не было.

1.5. Усиление конфликта. Пружина очень сильная.

1.6. Дано: боёк и пружина. Пружина не позволяет бойку двигаться.

Необходимо ввести икс-элемент, который обеспечивает движение бойка, не меняя пружину.

1.7. Исходная вепольная модель: В₁ – боёк, В₂ – пружина, П – поле упругих сил пружины. Это вредный веполь. Поскольку вводить вещества мы не можем, разрушение должно быть по стандарту 1.2.4 – введение противополя.

2.1. Оперативная зона – пространство, включающее боёк и пружину;

2.2. Т₁ – момент вылета, Т₂ – время разгона снаряда.

2.3. ВПР:

Ресурсы	Вещества	Поля
Внутрисистемные ресурсы (ОЗ): инструмент — пружина изделие — боёк	Сталь Сталь	Упругость Силы инерции, энергия разгона
Внешнесистемные: часть снаряда	Латунный стакан, капсюль, взрывчатка	
внешняя среда	Воздух	Фоновые поля
Надсистемные: орудие	Пороховые газы, ствол	Энергия разгона

3.1. Икс–элемент, абсолютно не изменяя систему и не вызывая вредных явлений, обеспечивает движение бойка, не меняя пружину.

3.2. На шаге 1.7 мы определили, что для разрушения вредного веполя нужно ввести поле противоположного действия. Значит, икс–элемент должен быть полем. Среди ресурсов наиболее подходящее поле – силы инерции бойка.

3.3. Силы инерции должны двинуть боёк к капсюлю, чтобы обеспечить взрыв, и не должны двигать боёк к капсюлю, так как по законам физики действуют в противоположную сторону.

3.5. Оперативная зона сама обеспечивает изменение направления действия сил инерции в нужный момент.

3.6. Исходная вепольная модель: B_1 – боёк. Для того чтобы изменить направление сил инерции, нужно ввести B_2 и поле Π .

4.1. Было: под действием сил инерции «человечки» бойка двигаются не к пружине, а давят на дно стакана.

Стало: новая группа «человечков» толкает «человечков» бойка в противоположном направлении.

Новая группа «человечков» тоже должна быть из ресурсов. Это – дно стакана. Силы инерции, отжимающие боёк ко дну, деформируют его (прогибают). После окончания разгона силы инерции исчезают, и дно стремится вернуться в исходное состояние за счет сил упругости. Упругое дно толкает боёк вперед, сжимая пружину.

7. Формулировка гипотезы. Взрыв происходит потому, что во время разгона деформируется дно стакана–взрывателя. После прекращения давления на дно за счет упругих сил оно возвращается в исходное положение, толкая боёк к капсюлю. Это явление не сказывалось на снарядах малого калибра, так как там прогиб был небольшим.

Проверить гипотезу можно, попробовав устраниТЬ вредное явление.

8. Как устранить? Имеем вредный веполь: B_1 – дно, B_2 – боёк, Π – упругие силы. Разрушить вредный веполь можно по стандарту 1.2.1 – ввести B_3 (теперь нет запрета на введение новых веществ), которое должно погасить действие упругих

сил. Для этого подойдет промежуточная пластина из пластичного материала, способного гасить энергию за счет деформации, например из свинца.

После введения такой прокладки взрывы прекратились.

Еще одно важнейшее направление использования приема «обращение задачи» – выявления скрытых дефектов в деталях и конструкциях, скрытых недостатков в технологических процессах, как действующих, так и на стадии их проектирования. В этом случае можно воспользоваться модификацией приема «обращение» – **«диверсионным подходом»**.

Сущность диверсионного подхода заключается в том, что при анализе конструкции или технологии задается вопрос: как этот объект испортить? Как добиться дефектов и брака, причем так, чтобы его не могли выявить ни ОТК, ни другие методы контроля? То есть, по сути дела, нужно придумать «диверсию». А после того как способы «испортить» деталь, объект будут найдены, возникает новая задача: как этого не допустить?

Такого рода анализ необходим не только для готовящегося к выпуску изделия, проектируемой технологии, но и для новых юридических законов, правительственные постановлений, в особенности для выявления и устранения возможностей аварий, катастроф, экспертизы крупномасштабных проектов на экологическую безопасность с целью своевременного выявления возможных нежелательных последствий и их недопущения.

Примеры. При анализе контактного узла автоматического выключателя была поставлена задача выявить слабые места в технологии его изготовления, в которых может возникать брак. Был сформулирован «диверсионный» вопрос: как испортить контакт. (Контакт – деталь, изготавливаемая из двух спаянных частей, – предназначен для работы в электрических цепях.) Одно из предложений заключалось в том, что половинки контакта нужно паять не по всему сечению, а только по наружному периметру. Плохо спаянная деталь в этом случае будет иметь повышенное электрическое сопротивление, поэтому при прохождении через нее максимальных токов она перегреется и развалится на части. А по внешнему виду ее ничем не отличишь от запаянной, как положено по технологии.

Когда эта идея была высказана, обнаружилось, что именно так и происходит часто в действительности: рабочие в целях ускорения процесса пайки и экономии серебряного припоя наносили его только по наружному периметру детали. Выяснилось также, что при эксплуатации были случаи разрушения контактов от перегрева, но причина этого была неизвестна. Благодаря диверсионному подходу удалось ее выявить. А устраниТЬ брак оказалось несложно, введя, например, отбраковку контактов по электрическому сопротивлению.

При изготовлении рабочих органов насосов путем литья «в землю» шел большой брак. Причина этого, как выяснилось позже, крылась в том, что за последнее десятилетие почти устроилась норма выработки изделий на одного литейщика, выполнить ее с высоким качеством стало практически невозможно; рабочие стали нарушать технологию. Анализ последней показал, что в ней имеются, по крайней мере, две операции, которые невозможно проконтролировать в процессе работы, и, следовательно, допускающие недобросовестность. Технология была переработана, вместо простого литья было предложено сначала изготавливать наиболее ответственную центральную часть детали точным литьем по выплавляемым моделям, а затем производить заливку всей детали вместе с готовой центральной частью в земляную форму. Технологи считали, что теперь брака станет меньше. Однако проведенный «диверсионный» поиск показал, что в новой технологии операций, не поддающихся контролю, стало не меньше десяти. Это означало, что при сохранении существующих норм выработки новая технология станет еще более «беззащитной», брак увеличится.

Рекомендации по использованию инструментов ТРИЗ

Применение инструментов ТРИЗ для решения производственных задач началось практически параллельно с их разработкой. Все методические приемы, правила и рекомендации тут же проверялись на практике сначала автором ТРИЗ, а затем подготовленными людьми – обученными на семинарах либо освоившими методику самостоятельно по книгам.

По мере разработки и апробирования новых инструментов ТРИЗ стали возникать вопросы: в какой последовательности их использовать, какой инструмент в каких случаях наиболее эффективен, обязательно ли знакомиться со всеми инструментами?

Практика показала, что разные инструменты ТРИЗ обладают разной эффективностью, в зависимости от уровня решения задач, требуют разного времени для усвоения и применения. Конечно, точные оценки здесь невозможны,

но примерные приведены на рис. 11.

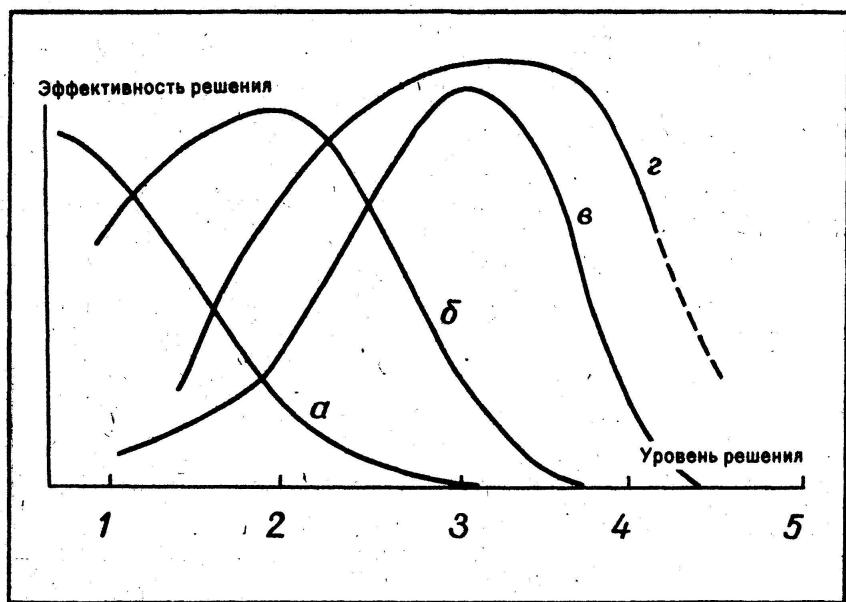


Рис. 11. Сравнительная эффективность разных инструментов ТРИЗ и метода

проб и ошибок в решении задач разных уровней:

а — метод проб и ошибок; б — приемы разрешения технических противоречий; в — всепольный анализ и стандарты на решение изобретательских задач; г — алгоритм решения изобретательских задач (кривая оборвана, поскольку пока нет достаточной информации для статистически обоснованного вывода об эффективности АРИЗ в зоне решений высшего уровня)

Приемы устранения технических противоречий – самый простой для изучения и использования инструмент. Для хорошего практического овладения им требуется 10–12 учебных часов и 10–20 часов самостоятельной работы. Сам процесс решения задачи после такой подготовки занимает немного времени – в пределах нескольких часов.

Всепольный анализ и стандарты на решение изобретательских задач для освоения требуют примерно такого же времени, в основном на отработку техники построения всепольных формул и на тренировку в поиске необходимых для данной задачи стандартов. Затраты времени на процесс решения также невелики. Тем не менее в целом этот инструмент дает решения, как правило, более высокого уровня, чем приемы, хотя как тот, так и другой недостаточно эффективны при решении плохо поставленных задач – в тех случаях, когда имеется не столько изобретательская задача, сколько изобретательская ситуация.

В последнем случае гораздо эффективнее АРИЗ. Для его практического освоения требуется существенно больше времени и усилий – не менее 40–60 учебных часов и до 200 часов самостоятельной работы. Решение задач с помощью АРИЗ также достаточно трудоемко – иногда десятки, а порой и сотни рабочих часов. Но это немного, если учесть, что такие задачи, как правило, ждут десятилетиями своего решения.

Специалист, владеющий инструментарием ТРИЗ, способен получать решения на 1–2 уровня выше, чем даже опытный изобретатель, но не знакомый с ТРИЗ.

Имеется разница и между специалистом, только что прошедшим обучение по ТРИЗ, и тем, кто пользуется теорией много лет, но не столько в уровне решений, сколько в скорости их получения (за счет более обширного фонда задач–аналогов,

наработанной техники формулирования шагов АРИЗ).

Вместе с тем сегодня имеется возможность уменьшить и это различие, а также повысить уровень решений с помощью современных средств вычислительной техники. Группой специалистов по ТРИЗ под руководством В.М. Цурикова разработана интеллектуальная система поддержки изобретателя «Изобретающая машина» (ИМ). В основе системы лежит высокого уровня машинный язык «Пролог». Конечно, машина сама задачи не решает. Она предлагает решающему подходящие к той или иной конкретной задаче инструменты ТРИЗ, подсказывает задачи-аналоги, напоминает о физических, химических и других эффектах, доброжелательными вопросами помогает изменить задачу, оценить степень идеальности полученных решений. Применение ИМ позволяет не только быстро и эффективно решать задачи, но и резко ускоряет процесс освоения ТРИЗ.

Сегодня на базе ИМ отрабатываются программы, целевые алгоритмы, предназначенные для отдельных типов задач, снабженные специально подобранным информационным фондом и т. п.

Из рис.11 видно, что задачи не очень высокого уровня могут успешно решаться разными инструментами. Известны случаи, когда изобретатели-практики предпочитают использовать какой-то один инструмент, например приемы устранения технических противоречий. Однако, несмотря на то что и один инструмент может обеспечить получение приемлемых решений, комплекс инструментов выводит на более идеальные и, следовательно, более эффективные решения.

Опыт выбора инструментов, как правило, вырабатывается еще во время обучения в результате решения десятков учебных задач и закрепляется практикой. Для облегчения этого процесса могут быть предложены следующие рекомендации по работе с уже сформулированными задачами.

1. Определить тип задачи: на изменение системы; на измерение или обнаружение; исследовательская (решается в последовательности, приведенной в приложении 8).
2. Построить исходную вспольную модель задачи и преобразовать ее в зависимости от вида исходной модели по стандартам классов 1, 4. Рассмотреть возможность развития решения по стандартам классов 2, 3 и повышения его идеальности по стандартам класса 5. При необходимости могут быть привлечены указатели физических, химических и других эффектов.
3. Если в задаче сформулировано техническое противоречие, либо оно появилось при попытке решения, в том числе и по стандартам, рассмотреть возможность его устранения с помощью типовых приемов.
4. Решить задачу по АРИЗ.

Успешному решению изобретательских задач часто мешают несколько распространенных заблуждений. Вот наиболее существенные из них.

1. Решающий заявляет: «Задача поставлена неточно. Дайте мне точную формулировку, вот тогда...» Между тем изобретательские задачи никогда не бывают поставлены точно (в противном случае они решались бы автоматически). Процесс решения по ТРИЗ и состоит в последовательном уточнении условий: из расплывчатой ситуации выделяется задача, затем – модель задачи, наконец – физпротиворечие, содержащееся в выбранной модели. Уточнение и преобразование исходной формулировки – обязанность изобретателя.

2. Слушатели иногда отказываются решать задачи, не относящиеся к сфере их деятельности. Но сильное решение всегда выводит изобретателя за рамки его специальности. Научиться хорошо решать трудные задачи – значит научиться смело выходить за пределы узкой специализации. Трудности здесь в основном психологические, ибо для обнаружения принципиально нового решения подчас достаточна физика в объеме средней школы.

3. Считают, что для решения задачи необходимо собрать как можно больше информации. Это – результат использования традиционного метода проб и ошибок, когда любое, даже случайно услышанное слово может натолкнуть на идею решения. При анализе задачи по ТРИЗ излишняя информация скорее вредна, чем полезна. Более того, весь анализ основан на постепенном избавлении от всего лишнего в задаче, чтобы в итоге выделить ее ядро – физическое противоречие. Для решения задачи в первую очередь необходим специализированный информационный фонд ТРИЗ. Если же какой-либо информации в условии задачи действительно не хватает, то это выявится в процессе анализа, и найти ее будет намного проще, так как будет известно, что именно требуется.

4. Начинающие изобретатели часто не решаются анализировать задачу инструментами ТРИЗ, если не угадывают сразу ответ. Во–первых, нет смысла разбирать задачу только для того, чтобы выйти на заранее угаданное решение. Во–вторых, ТРИЗ нужен именно для «глухих» задач, где решение сразу не видно. В–третьих, даже если ответ угадан или получен с использованием одного инструмента, всегда есть смысл продолжить работу с помощью других инструментов ТРИЗ – задача может иметь не одно решение, и вполне возможно, что лучшее еще не найдено...

В заключение несколько советов.

Никогда не старайтесь угадать решение – главное четко и последовательно выполняйте шаги, правила, рекомендации ТРИЗ. При сомнениях обращайтесь к приведенным в тексте примерам и формулируйте свои задачи по аналогии с ними. Как ни парадоксально, но только четкие формулировки, а не попытки угадать обеспечивают высокую вероятность нахождения решения. Конечно, и рекомендации ТРИЗ не всегда идеальны, но они выявлены и проверены на решении тысяч задач. При желании что–то изменить, улучшить попробуйте сперва сделать «как надо», а потом экспериментировать.

Максимально используйте каждый шаг, не надейтесь, что «получится дальше». Но и не «зависайте» слишком долго на каком–то одном шаге, переходите к следующему как только почувствуете, что исчерпалась новизна, что ничего нового этот шаг не дает. Лучше через несколько шагов вернуться назад и заново выполнить «трудный шаг», используя новую информацию.

Обязательно записывайте подробно весь процесс анализа, все шаги, свои размышления, появившиеся решения, возникающие по ходу дела новые задачи. Но не «перебегайте» в процессе работы к другим задачам, даже если покажется, что иная линия анализа эффективнее. Доведите до конца анализ в выбранном направлении и потом начните новый. Не прекращайте анализ и не меняйте его направления при кажущейся невозможности решения, возрастании нелепости, даже «дикости» формулировок. Эта «дикость» – свидетельство эффективного преобразования задачи, возможности появления новых нетривиальных идей,

признак того, что решение близко.

Не торопитесь, работайте в спокойном, несколько даже замедленном темпе, не бойтесь многократных возвратов назад в процессе анализа – каковы бы не были потери времени при анализе, они будут несопоставимо меньше, чем потери, связанные с недостаточно четким, качественным, не доведенным до конца решением.

Не удовлетворяйтесь частичной победой, решениями «вроде бы неплохими».

Любое решение старайтесь «дожать», сделать идеальнее, проще, дешевле и т. п. Закончив решение, проверьте – все ли инструменты, все ли возможности использованы, нельзя ли еще улучшить ответ...

Не следует также терять сразу интерес к решенной задаче, найденные идеи полезно запоминать. В значительной мере эффективность практической работы специалиста–поисковика определяется хранящимся у него в памяти информационным фондом, существенной частью которого являются задачи–аналоги – эффективные изобретательские решения высокого уровня, которые могут быть использованы в дальнейшем. Конечно, нельзя рассчитывать только на память. Задачи и их решения следует выписывать на карточки, тогда со временем образуется изобретательская картотека, существенно повышающая успех в решении задач.