

ISSN 0202-3205

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ (МИИТ)**

---

**Кафедра «Путь и путевое хозяйство»**

**КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ  
К КУРСУ  
«Модели и методы инженерного творчества»**

**Москва - 2012**

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**  
**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  
**высшего профессионального образования**  
**"МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**  
**ПУТЕЙ СООБЩЕНИЯ»**  
**(МИИТ)**

**Кафедра «Путь и путевое хозяйство»**

У т в е р ж д е н о  
редакционно-издательским  
советом университета

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ К КУРСУ  
*«Модели и методы инженерного творчества»*

Для студентов всех специальностей

*Проф. А.И. Гасанов*

М о с к в а - 2012

УДК 501  
Л43

Конспект лекций к курсу "«Модели и методы инженерного творчества» . / Гасанов А.И. - М.: МИИТ, 2012. - 91 с.

Конспект лекций содержит материалы, определенные учебной программой по курсам «Модели и методы инженерного творчества» для студентов специальностей «Строительство железных дорог, путь и путевое хозяйство», курсу "Алгоритмы решения нестандартных задач" для специальностей направления "Инноватика": «Управление инновациями», «Управление исследованиями и разработками».

Излагаются основные понятия системного подхода, законы и тенденции эволюции технических, экономических и организационно-управленческих систем, ряд методов организации мышления при решении нестандартных инженерных задач. В основу данной учебной дисциплины положены наиболее эффективные методологические подходы, развитые в отечественной «Теории решения изобретательских задач» (ТРИЗ).

В конспекте лекций приведено минимальное количество примеров, рисунков и другого графического и иллюстративного материала. Это сделано ввиду того, что по сложившейся практике последних лет лекции по данному курсу читаются с применением компьютерных презентаций, позволяющих самым полным образом в пределах отведенного на лекционный курс часов проиллюстрировать все положения дисциплины.

Поскольку учебная программа по этой дисциплине предусматривает проведение лабораторных занятий, то конспект лекций дополнен рекомендациями для преподавателей по их содержанию.

Конспект лекций может быть полезен также магистрантам и аспирантам всех специальностей для первоначального знакомства с предметом и для преподавателей, читающих или готовящих подобный курс для студентов всех инженерных специальностей

Автор: профессор кафедры «Путь и путевое хозяйство» А.И. Гасанов.

© Московский государственный  
университет путей сообщения  
(МИИТ), 2012

Мозг, хорошо устроенный, ценится выше,  
чем мозг, хорошо наполненный.  
Монтень, французский философ  
(1533 - 1592)

На свете есть вещи поважнее самых прекрасных открытий  
– это знание метода, которым они были сделаны.  
Г.Лейбниц, немецкий философ  
(1646 - 1716)

Лекция №1.

## ВВЕДЕНИЕ

### **О чем пойдет речь в данном курсе лекций?**

Начиная изучать ту или иную учебную дисциплину, всегда целесообразно представить себе ее место в **системе дисциплин**, изучаемых студентом для получения выбранной профессии. Наша дисциплина называется **«Модели и методы инженерного творчества»**. Уже само это название предполагает, что задачи, которые решает в своей профессиональной области каждый специалист, могут быть, условно говоря, инженерными и не инженерными, творческими и нетворческими (рутинными). Предполагается также, что должно существовать какое-то отличие в подходах к этим видам задач.

Какие задачи при этом будем считать инженерными и творческими?

К инженерным задачам будем далее относить все задачи, связанные с созданием принципиально новой и совершенствованием эксплуатируемой техники и технологий. К числу инженерных будем, кроме того, относить задачи организации и управления производством, продажи товаров и услуг, включая задачи маркетинга и менеджмента (в его широком понимании).

Что касается вопросов творчества в инженерном деле, то для лучшего прояснения этого вопроса предварительно целесообразно рассмотреть те качества, которым должен соответствовать хороший специалист.

Попытка сформулировать на подобной лекции такие качества в диалоге со студентами приводит, как правило, к достаточно обширному перечню качеств. Наиболее значимыми из них следует, по-видимому, признать:

хорошую общенаучную эрудиция, достигаемую изучением всего цикла общенаучных дисциплин (математика, физика, химия, теоретическая и строительная механика, гидравлика, информатика и т.д.). Очень важным является при этом чтение научно-популярных журналов, таких как «Наука и жизнь», «Знания - сила», «Техника молодежи», «Химия и жизнь» и др.

хорошую специальную инженерную подготовку, приобретаемую при изучении цикла специальных дисциплин. Для будущих специалистов в области железнодорожного пути – это, например «Железнодорожный путь», «Изыскания и проектирование железных дорог», «Организация и механизация строительных работ», «Геодезия» и т.д.

И, конечно же, хороший инженер должен обладать, целеустремленностью, волей и упорством в достижении своих целей, определенной долей самолюбия, хорошо, говоря языком бокса, держат жизненные удары.

Значительно реже, или говоря откровеннее, практически никогда в этом перечне не появляется такое свойство как творческий стиль мышления или хотя бы стремление к поиску и решению новых задач. Почему же мы, преподаватели, отмечаем чаще всего с наибольшим сожалением.

Дело в том, что среди задач, с которыми повседневно сталкиваются те или иные специалисты, большинство для своего решения не требуют больших усилий. Достаточно, зачастую, при столкновении с ними использовать стандартные, хорошо разработанные и изложенные в учебниках и справочниках, изученные в соответствующих учебных вузовских курсах методы. Однако довольно часто инженер сталкивается с ситуациями, когда готовых подходов к решаемой им проблеме нет, а решение найти непременно надо. Такие ситуации принято относить к творческим, обладающим новизной для человека, перед которым она поставлена. Будем при этом дальше считать, что при оценке уровня новизны высшим ее проявления, а значит и творчества, является изобретение. Под изобретением понимается такое решение, на которое по международным правовым нормам может быть выдан охраняемый документ в виде патента, устанавливающий не только мировую новизну этого решения, но и права собственности на него изобретателя, достигшего такой новизны.

В чем же принципиальная важность такого свойства специалиста как творческий подход, творческий стиль мышления и, что особенно важно, творческий стиль деятельности?

Если внимательно присмотреться к истории человечества, то можно обнаружить, что уровень развитие цивилизации, темпы этого развития определяются именно изобретательской деятельностью людей, то есть их творчеством. К числу выдающихся изобретений, изменивших мир, нужно отнести, например, способ добычи и сохранения огня, плуг и другие инструменты для обработки земли, колесо и повозку, порох, письменность, бумагу и печатный станок, ткацкий станок, паровую и электрическую машины, современные средства транспорта, электронную технику и электронные вычислительные машины, современные средства коммуникаций и информационные технологии, музыкальные инструменты и музыкальные жанры.

Наши предки по своим физическим данным, способности противостоять постоянно изменяющейся внешней среде не слишком отличались от других представителей животного мира, по соседству с которыми они вынуждены были жить и непрерывно конкурировать за жизненные ресурсы. Тем не менее, человек выделился из этого мира. Выделился благодаря своей способности видоизменять окружающую среду. Изобретая технические инструменты из материалов этой окружающей среды, человек создал мир второй, искусственной природы, мир вещей, орудий производства и защиты себя и своих близких от хищников и себе подобных. Для этого он придумал множество способов обработки природных материалов, преобразования энергии воды, ветра, Солнца, ископаемого топлива в энергию различных силовых установок. Это, в свою очередь, позволило человеку не только освоить все уголки Земли, но и выйти сегодня за пределы атмосферы в космическое пространство.

История сохранила имена многих выдающихся изобретателей, создания которых определили в значительной мере ход развития человечества. Вот только несколько из них. Архит Тарентский (4 век до н.э.) - изобретатель блока и винта, Архимед – создатель закона, носящего его имя, и машины для подъема воды с целью орошения сельскохозяйственных угодий в виде винта, Христиан Гюйгенс – создатель маятниковых часов, Уатт и Ползунов – паровые машины, Стивенсон – железные дороги с паровой тягой, Белл – телефон, Попов и Маркони – радиосвязь, Зворыкин – телевидение, Хофф - микропроцессоры, Отто и Дизель – двигатели внутреннего сгорания, Дж. Кейли – современное крыло самолета, братья Райт – самолетостроение, Вестингауз и Матросов - автотормоза, Боченков и Бромберг – современный бесстыковой путь. И, конечно же, среди этих имен нельзя не отметить имена

Томаса Эдисона и Николы Теслы – создателей целой отрасли, связанной с широким использованием электроэнергии.

Со временем в процессе развития общественных и производственных отношений люди поняли, что создание нового может определить их коммерческий успех. Это привело, в конце концов, к появлению патентного права, защищающего изобретателя в качестве обладателя результатов своей творческой деятельности, право на исключительное использование своего изобретения. Зачатки этого права появились уже в достаточно древние времена.

Интересно, что например, самый древний случай выдачи привилегии на изобретение описан уже у древнегреческого историка Филарка. По его свидетельству, в греческой колонии Сибариус (отсюда, кстати, пошло слово «сибарит»), поскольку колония отличалась безумной роскошью) существовал обычай, по которому повар, изготовивший оригинальное блюдо, одобренное согражданами, получал исключительное право на его изготовление в течение года.

И еще два примера из истории патентного права.

В марте 1236 года купец из Бордо Бонафусис де Санкта получил во Франции привилегию сроком на 15 лет на способ выделки шерстяной одежды по фламандскому образцу, подтвержденную впоследствии в Англии и Саксонии.

В английский «Реестр патентов» первой была занесена привилегия, выданная 3 апреля 1449 года Джону Уитнаму на изготовление цветного стекла. В ней указывалось, что Джон Уитнам приехал в Англию из Фландрии вместе с семьей по просьбе короля, чтобы организовать производство цветного стекла, и король в знак благодарности предоставил ему право в течение 20 лет изготавливать цветные стекла, запретив всем остальным это делать без разрешения на то Джона Уитнама.

Сказанное выше потребовалось нам для того, чтобы наиболее ярко и по-возможности убедительно показать роль для человечества изобретательской деятельности, творческого характера инженерной деятельности большой армии специалистов

Чтобы еще раз подчеркнуть эту роль изобретательства в современной экономике передовых в техническом смысле стран, приведем следующий пример исследования в этой области.

Несколько лет назад два сотрудника Федерального Резервного Банка штата Огайо (США) провели интересное исследование, пытаясь понять, от каких показателей зависит экономический успех любого американского штата? Они начали с наиболее «очевидных» показателей, таких как наличие серьезной индустрии и налоги. Увы! Никакой корреляции. Дальше они смотрели все доступные показатели подряд – начиная с 1934 года. И выяснили: экономическая успешность – или неуспех – штата лучше всего коррелируется с количеством **патентов и дипломов о высшем образовании на душу населения**. Вот такова роль инноваций в экономике...

Когда инженер может и должен проявить свои творческие возможности?

Рассмотрим этот вопрос на одном из видов инженерной деятельности – проектировании новой техники.

Студент, обучаясь в высшем учебном заведении, должен хорошо представлять последовательность проектной деятельности и место творчества при выполнении проекта.

Процесс создания новой техники можно представить в виде последовательности следующих крупных этапов:

- формулировка новой идеи, замысла проекта;
- конструкторская и технологическая проработка замысла (создание чертежей, расчет отдельных узлов и элементов, макетирование, написание пояснительных технических документов);
- создание опытного образца, его испытание и постепенная доводка;
- окончательная корректировка технической документации и передача ее в производство.

На втором и последующих этапах проектирования, инженер-проектировщик использует багаж своих знаний в области математики, вычислительной техники, специальных инженерных дисциплин, приобретенный в вузе. Но его работа в этот период чаще всего не является в полной мере творческой, поскольку подразумевает выполнение хотя и необходимых, но достаточно рутинных проектных операций. Творчество присутствует, но в ограниченном объеме.

Вряд ли надо доказывать, что началу проектирования должен предшествовать тщательный поиск новых подходов. Такой поиск, а это и есть творческий процесс, являться первым делом, которое должен выполнить инженер или конструкторский коллектив; без хорошей изначальной идеи, лежащей в основе конструкторской разработки в целом или отдельных ее составляющих, труд проектировщика может оказаться малоэффективным. Вернее всего, что при ошибке на этом начальном этапе, как показывает огромный опыт проектирования во всех отраслях промышленного производства, созданный образец техники не будет способен выдержать конкуренцию с существующими на «рынке» техническими объектами, или даже изначально окажется нежизнеспособным.

А чем может воспользоваться инженер-проектировщик при поиске новых перспективных идей?

Сегодня существует целый ряд различных по эффективности подходов к поиску и генерированию новых технических идей. Среди них наиболее популярными остаются метод контрольных вопросов, мозговой штурм, синектика, морфологический подход (морфологический анализ), Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ). К сожалению, этим методам в высших учебных заведениях России не обучают практически нигде. Поэтому в подавляющем большинстве случаев даже высококвалифицированные специалисты, получившие хорошее фундаментальное образование, выдвигают новые идеи, опираясь на старый как мир перебор вариантов.

### **Цель настоящего курса.**

Подведем некоторый итог сказанному выше и сформулируем цели курса.

У человечества есть потребность в решении своих задач. Задач огромное множество. В том числе и в инженерной деятельности. Если решать их неэффективно, с ошибками, то цена этих ошибок может оказаться огромной. Особенно опасны ошибки на стадии поиска новых эффективных идей. Есть методы повышения эффективности этого рода деятельности, но они зачастую малодоступны для будущего специалиста.

Восполнить этот пробел в подготовке будущего инженера как раз и призван курс «Модели и методы инженерного творчества». В его основе лежит Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), разработанная в нашей стране советским ученым-изобретателем Г.С. Альтшуллером и успешно развиваемая сегодня усилиями его учеников и последователей в ряде стран мира. Нам предстоит познакомиться с основными положениями этой методологии.

При этом роль данного курса не исчерпывается только ознакомлением студентов с современными методами изобретательской деятельности. Не менее важной стороной инженерного образования является выработка у специалиста навыков так называемого системного подхода, системного стиля мышления, без которого, как показывает практика обучения, изучение и применение методов творчества недостаточно эффективно.

Не случайно, что на это неоднократно еще в середине прошлого века обращал особое внимание Нобелевский лауреат, один из создателей Физико-технического института академик Петр Леонидович Капица (Капица П.Л. Некоторые принципы творческого воспитания и образования. – Вопросы философии, 1971, №7, с.16-24.): "... Нет сомнения, что для правильного обучения современной молодежи нужно воспитывать в ней творческие способности, начиная со школьной скамьи, и кончать в высших учебных заведениях. Это

фундаментальная задача, от решения которой может зависеть будущее нашей цивилизации..."

Немаловажным результатом изучения данного курса должна стать внутренняя уверенность студента в возможности стать не только и не столько инженером-исполнителем, сколько инженером-творцом.



## Исторический очерк возникновения методов изобретательского творчества

Историки техники, рассматривая изобретательское творчество множества поколений изобретателей, приходят к выводу, что при поиске новых идей они пользовались, да и настоящее время продолжают это делать, так называемым методом случайного перебора вариантов или, по-иному, методом «проб и ошибок». Об этом свидетельствуют многие воспоминания ряда крупных инженеров и ученых. В частности, например, об этом свидетельствуют десятки записных книжек гениального художника и инженера Леонардо да Винчи, в которых он записывал и зарисовывал случайным образом посещавшие его технические идеи.

Схема получения новых идей чаще всего носила такую последовательность: долгие размышления над проблемой, отвлечение от размышлений в виде сна, прогулки, путешествия и т.д., случайная подсказка или некоторое озарение, приводящее к искомому решению.

Конечно же, со временем метод проб и ошибок претерпевал изменения, совершенствовался. От материальных проб, при которых построенное судно зачастую переворачивалось или тонуло, а изобретатель лишался жизни, происходил переход к мысленному проигрыванию ситуации, построению моделей, использованию простых природных аналогий. Возвращаясь к примеру с Леонардо да Винчи, исследователи его технического творчества отмечают, что метод случайного перебора иногда сознательно им усовершенствовался - например, конструкция летательного аппарата создавалась по аналогии с принципом полета птиц или бабочек. Так же, поступали в последующем и создатели первых планеров и даже самолетов.

Вопросы понимания механизмов человеческого мышления, выработки приемов повышения его эффективности во все времена больше занимали представителей философии, психологии и даже теологии. Внесли свой вклад в эту тему и представители математики и физики. Интересно, что первые упоминания об эвристике, учении о продуктивных методах творческого мышления, относятся еще к временам античности. Например, термин «эвристика» впервые появился в трудах греческого математика Паппа Александрийского, жившего во второй половине III века нашей эры.

Эвристические вопросы, подталкивающие мысль в нужном направлении, использовал в своей научной и практической деятельности и рекомендовал использовать другим еще древнеримский ритор Квинтилиан. Он советовал при обсуждении каждого вопроса ставить и отвечать на следующие семь ключевых вопросов: Кто? Что? Зачем? Где? Как? Чем? Когда?

В дальнейшем к проблемам создания эвристики обращался ряд выдающихся философов и математиков, например, Рене Декарт, Готфрид Лейбниц, Бернанд Больцано, Анри Пуанкаре. Так Рене Декарт в своем труде «Правила для руководства ума» предложил ряд принципов поиска истины. Они настолько интересны и актуальны еще и сегодня, что полезно познакомиться с основными его мыслями в этой части и взять их на вооружение.

Прежде всего, Декарт утверждал, что способность правильно судить и отличать истинное от ложного - что, собственно, по его мнению, и именуется здравым смыслом или разумом - от природы у всех людей одинакова. Различие наших мнений происходит, писал он, не оттого, что одни люди разумнее других, но только оттого, что мы направляем наши мысли разными путями и рассматриваем не те же самые вещи. **Ибо мало иметь хороший ум,**

**главное - хорошо его применять.** (Можно добавить, что мало иметь хорошие знания, главное уметь их применять.)

Декартом сформулированы четыре принципа, следовать которым он рекомендовал, и которые остаются актуальными и в наше время. Приведем их и вслед за их автором настойчиво порекомендуем следовать им, и особенно – вторым, поскольку он предвосхитил, как мы увидим дальше, один из фундаментальных системных принципов, принцип динамизации.

Первое – «никогда не принимать за истинное ничего, что я не познал бы таковым с очевидностью, иначе говоря, тщательно избегать опрометчивости и предвзятости и включать в свои суждения только то, что представляется моему уму столь ясно и столь отчетливо, что не дает мне никакого повода подвергать их сомнению».

Второе – «делить каждое из исследуемых затруднений на столько частей, сколько это возможно и нужно для лучшего их преодоления».

Третье – «придерживаться определенного порядка мышления, начиная с предметов наиболее простых и наиболее легко познаваемых и восходя постепенно к познанию наиболее сложного, предполагая порядок даже и там, где объекты мышления вовсе не даны в их естественной связи».

И последнее – «составлять всегда обзоры столь общие, чтобы была уверенность в отсутствии упущений».

Как известно, открытие наукой в XVIII - XX веках законов электричества, магнетизма, термодинамики и радиоактивности привело к бурному развитию техники, появлению принципиально новых средств транспорта, связи, оружия, обрабатывающей техники и бытовых приборов, бурному развитию общественных отношений, и в частности, конкурентной борьбы между национальными фирмами и международными корпорациями. Это в свою очередь неизмеримо увеличило потребности в интенсификации новых научных и технических разработок, заставило инженеров и ученых всех отраслей знаний задуматься над эффективностью мыслительной деятельности в инженерной практике.

Это неизбежно привело к тому, что возникло множество теорий, по-своему объясняющих творческие процессы и дающие рекомендации по их интенсификации. В соответствии с этим появились и методы интенсификации инженерной деятельности. К наиболее интересным и достаточно активно используемым на практике и в настоящее время подходам, можно отнести следующие методы:

- психологические методы;
- организационные методы;
- "японский метод".

Остановимся кратко на их существовании.

#### *1. Психологическое направление исследований творческого мышления*

В этой части можно отметить, что в 20 веке был выполнен большой объем психологических исследований процессов творческой деятельности. Основной направленностью первого этапа психологических исследований было изучение личности изобретателя. Причем сама личность рассматривалась зачастую как нечто, отмеченное божественной печатью исключительности. И лишь позже на смену этим взглядам постепенно пришло убеждение, что творческие задатки есть в той или иной мере почти у всех людей, на чем настаивал еще в 16 веке выдающийся французский математик и философ Рене Декарт.

Экспериментируя с задачами и головоломками, психологи выяснили, что испытуемые решают задачи перебором вариантов, что многое при этом зависит от предшествующего опыта. Однако это не прояснило главной проблемы, каким образом некоторым изобретателям удается малым числом проб решать задачи, заведомо требующие большого числа проб? Ответить на этот вопрос психология творчества не может и по сей день.

В рамках психологических исследований проводились работы по стимулированию индивидуальной психики, направленное на поиск таких внешних и внутренних условий деятельности изобретателя, при которых повысилась бы продуктивность его мышления.

В литературе по этому поводу часто приводится следующий пример. Замечательный американский физик-экспериментатор Роберт Вуд (1868-1933) решил проделать следующий опыт, поставленный на себе. Раздобыв опиум, а в те времена еще не было термина наркомания и проблем, связанных с ней, он накурился его и впал в забытие. Придя через некоторое время в себя, он вспомнил, что, находясь в одурманенном состоянии, он напал на какую-то чрезвычайно глубокую и важную научную идею, но вспомнить ее так и не сумел. Тогда Вуд повторил свой опыт. Действительно, ему вновь пришла какая-то идея, которую он в последний момент перед забытием успел записать. Очнувшись, он в нетерпении развернул бумажку с записью и прочитал: «Банан велик, а кожа еще больше...».

Другим примером является так называемый психоэвристический подход, разрабатывавшийся, в том числе, и в нашей стране в 60-е годы прошлого столетия. Он заключался в создании особых психологических условий для творчества (мягкая мебель, тихая музыка, приглушенное освещение и т. д.).

Думается, что лучших условий для засыпания трудно себе вообразить. Представляется, что куда полезнее было бы создать условия активности изобретателя, найти стимулы проявить себя, раскрыть свои возможности.

## *2. Организационные методы.*

К этим методам можно отнести:

- увеличение субсидий и соответственно коллективов исследователей; осознана необходимость создания объединений, коопераций разработчиков новой техники с целью дальнейшего повышения производительности их труда. Такие объединения появились уже в 19 веке почти одновременно в ряде промышленно развитых стран.

Так, в 1871 г. при Мюнхенском политехническом институте была образована первая лаборатория, занимавшаяся разработкой новых приборов для бурно развивавшейся техники низких температур.

Наиболее известным примером промышленно – исследовательских лабораторий может служить лаборатория Т. Эдисона, созданная им в 1872 году в городе Менло-Парк (США). Итоги деятельности лаборатории говорят сами за себя. За шесть с половиной лет было получено около 300 патентов (что составляет в среднем 1 патент за 8 дней). Еще более усовершенствовал систему поточного производства патентов А. Белл. С 1879 по 1900 год сотрудники лаборатории его компании получили свыше 3000 патентов, т. е. в среднем 1 патент за каждые два с половиной дня в течение 12 лет.

Еще одним примером объединения специалистов вокруг решения одной проблемы можно признать привлечение к исследованиям своих потенциальных конкурентов (В.Н. Чиколева и А.Н. Лодыгина) одним из изобретателей дуговой осветительной лампы, выдающимся русским электротехником П.Н.Яблочковым.

Эвристическая эффективность таких, так называемых экстенсивных подходов не вызывает сомнений, но затраты финансовые могут оказаться очень большими.

И еще один пример организационного подхода. Он связан с подготовкой хорошего специалиста проектировщика. Его суть в том, что в США и Англии готовят технологов и менеджеров, а конструкторов вообще не обучают в вузах и университетах. На фирму берут молодежь, причем не всякую. Берут тех, кто с детства возился со всякими самоделками, занимался в технических кружках, участвовал в конкурсах самодеятельного творчества. После приема таких инженеров на работу их подсаживают к старому опытному конструктору.

- конкурсное проектирование, которое также требует увеличенного субсидирования;

- переманивание «мозгов» (утечка мозгов), прежде всего характерная для науки и промышленности США («перекачка мозгов») достигла такого размаха и так серьезно сказывалась на развитии многих стран, что в 1972 году ЮНЕСКО принял специальное постановление, осуждающее подобную практику. Тем не менее, остановить этот процесс по ряду причин невозможно, что легко усматривается по опыту перестроечного периода в России;

- промышленный шпионаж (так, например, по данным германского института имени Макса Планка ежегодный ущерб от экономического шпионажа в ФРГ составляет, по крайней мере, 8 миллиардов немецких марок);

3. "*Японский подход*", заключающийся в мощной поддержке и стимулировании рационализаторской и изобретательской деятельности на базе предельного «метода» проб и ошибок («думай непрерывно»). Этот подход совместил в себе как организационный, так и психологический подходы в инженерной деятельности.

Так, например, большой популярностью в Японии пользовались книги известного специалиста по проблемам стимулирования научно-технического прогресса Ясухино Хиросима. Вот его девять советов по тренировке творческого мышления.

Ежедневно выделяйте время для мышления. Японская поговорка гласит: «лучше всего думается на коне, в постели и... в отхожем месте.

Успокойтесь и подумайте.

Публикуйте свои достижения.

Ставьте себе конкретную цель, – это позволит наметить контуры будущего успеха.

Научитесь сосредотачиваться.

Избегайте шаблона.

Записывайте свои мысли.

Расширяйте общение с людьми других профессий.

Всегда ощущайте духовный голод, жажду деятельности.

Как легко заметить, все рекомендации при несомненной своей разумности носят довольно общий и поэтому расплывчатый характер.

Тем не менее, то, что обычно называют японским подходом, вывел ее промышленность после 2-й Мировой войны, которую она закончила разоренной, на второе место по объему производства в мире.

Вот примерно как это реализовано.

В восьмидесятые годы по данным всеяпонского обследования выяснилось, что на 464 главных фирмах страны было подано за год рабочими и мастерами около 24 миллионов инициативных предложений. 72 процента предложений было внедрено. Только на фирме «Мацусита» в наше время подается более 6,5 миллиона предложений в год. За их счет фирма обеспечивает 28 процентов роста своей валовой прибыли.

В японском концерне «Хитачи» шесть тысяч рабочих. Ежегодно они подают 120 — 130 тысяч рацпредложений, то есть в среднем каждый рабочий подает в год 20 рацпредложений. Экономический эффект от внедрения; части рацпредложений составляет более 250 миллионов долларов в год, или более половины доходов концерна.

Столь высокий результат объясняется очень просто: рабочих концерна «Хитачи» отличает высокий уровень образованности. У 90 процентов рабочих — образование не ниже среднего западноевропейского. Более половины рабочих имеют высшее образование, причем высшее образование, за которое платили из своего кармана.

По официальным данным 38 процентов населения Японии имеют высшее образование, а это значит, что не только служащие, не только руководящие работники, а и многие представители рабочего класса имеют этот уровень. Это не случайно: для японца образование — это средство выжить...

Может возникнуть естественный вопрос, почему за достаточно длительный срок осознания потребности в методах эвристики психологической наукой не было создано

достаточно эффективных подходов к решению творческих инженерных задач? По-видимому, здесь можно выделить не одну, а ряд причин. Это и низкий общий уровень развития методологии научного поиска, слабое понимание закономерностей развития природы и связанная с этим попытка зачастую решить слишком общую задачу: найти универсальные принципы, позволяющие решать любые творческие задачи во всех областях человеческой деятельности.

Однако наиболее существенным в рассматриваемом вопросе, как представляется, является то, что уровень промышленного и сельскохозяйственного производства в прошлые века, да и в начале XX века еще не создал ярко выраженной общественной потребности в разработке эффективных методов технического творчества, широкого их применения в практике создания новой техники, в практике работы изобретателя. Необходимые темпы технического прогресса вполне удовлетворялись изобретениями, выполненными методом проб и ошибок или найденными случайным образом, что в истории техники также известно. Только современная мировая научно-техническая революция, начавшаяся в 30-е годы нашего столетия, характерной чертой которой явилось бурное развитие науки, техники и технологий, необходимость обеспечения конкуренции на мировом рынке услуг, вооруженная борьба за распределение мировых материальных и трудовых ресурсов. Результаты этой борьбы не могли не войти в противоречие со старым, малопродуктивным способом поиска новых решений.

Возник ряд факторов развития мирового промышленного производства:

- увеличение спроса на новые идеи, особенно обострившиеся в преддверии и во время второй мировой войны;
- острый недостаток квалифицированной рабочей силы;
- высокая стоимость обучения и оплаты труда подобных специалистов;
- необходимость концентрации большого числа специалистов для решения комплексных, масштабных задач в ограниченные сроки.

Человечество закономерно ответило на это противоречие постепенным созданием специальных приемов, активизирующих творческий процесс. Характерным оказался тот факт, что эти методы были созданы главным образом учеными и инженерами, непосредственно занимавшимися разработкой новой техники. В 30-50 годы прошлого столетия ими было разработано несколько методов поиска новых технических решений.

Среди наиболее популярных методов, позволяющих решать задачи разной степени сложности, можно упомянуть такие как мозговой штурм, синектику, метод фокальных объектов, морфологический анализ и «Теорию решения изобретательских задач (ТРИЗ)».

Может возникнуть вопрос, а нужно ли изучать методы инженерного творчества в вузах, не достаточно ли в практике проектирования пользоваться методом проб и ошибок?

Нет! Не достаточно! Еще раз отметим, что стремительное возрастание потребностей человечества, особенно отчетливо проявившиеся во второй половине XX века, вступает в противоречие с темпами их удовлетворения, темпами развития техники и технологий. Одно из проявлений этого процесса - то, что принято называть экологическими проблемами, результатом длительного потребительского отношения к природе, неумения предвидеть последствий такого к ней отношения.

Обеспечить создание и освоение производства техники новых поколений, позволяющей многократно повысить производительность труда, улучшить его условия, существенно снизить материальные, энергетические и финансовые затраты, уменьшить, а, по возможности, и ликвидировать негативное влияние человека на окружающую среду - решение всех этих задач в первую очередь связано с разработкой и освоением новых машин, приборов, оборудования, новых технологий и материалов, что обеспечивается именно изобретательской деятельностью.

Опыт промышленного проектирования показывает, однако, что одним из главных недостатков в подготовке большинства выпускников инженерных специальностей является

неспособность или неумение самостоятельно ставить новые задачи на уровне изобретений, неумение их решать.

Вопрос этот актуален не только для российского высшего образования. Приведем весьма компетентное мнение американского специалиста в области методологии инженерного проектирования Дж. Диксона:

«Решение технических задач является высокоинтеллектуальным занятием, требующим применения знаний, а это заслуживает такого же внимания, как и приобретение знаний. Чтобы применять знания, нужно активно владеть ими и, кроме того, иметь определенную цель. При чтении курсов я все больше убеждался, что мои студенты знают больше того, что они понимают или могут использовать на практике».

Об этом же свидетельствуют и воспоминания нобелевского лауреата, создателя лучших учебников по физике Ричарда Фейнмана.

Таким образом, можно вслед за рядом вузовских педагогов констатировать, что задачей вуза является не столько наполнение студента суммой знаний, которые быстро устаревают в нашем бурно развивающемся мире, а развитие у него самостоятельного инженерного, в широком смысле, восприятия знаний и навыков эффективного инженерного мышления.

Можно ли развить у человека способности к творческой, поисковой деятельности? Попытки в этом направлении предпринимались неоднократно, однако ощутимых результатов удалось достичь только после создания алгоритмических методов поиска новых технических решений, совокупность которых собрана под аббревиатурой ТРИЗ. В основе этих методов лежит представление о совершенствуемом (или создаваемом заново) объекте, как о некой системе, развивающейся по определённым законам, и поэтому требующей для своего рассмотрения соответствующего подхода.

Рассмотрение этих подходов и будут составлять основное содержание нашего курса.

## Инженерное творчество. Основы системного подхода.

«Польза системы для мышления состоит не только в том, что о вещах начинают мыслить упорядоченно, по известному плану, но и в том, что о них вообще мыслят».

**Георг Лихтенберг «Афоризмы**

Что такое «система»?

Мы, живем в окружении огромного количества материальных объектов. Это и, так называемые, природные, живые (биологические) и неживые объекты. Среди них мы наблюдаем и множество искусственных объектов, созданных человеком для удовлетворения своих потребностей, своих целей. Далеко ходить за примерами не требуется. Достаточно осмотреться в данной лекционной аудитории, чтобы убедиться в многообразии, многоликости нашего окружения.

Все окружающие нас объекты, так или иначе, взаимодействуют друг с другом и с самим человеком. Постоянно мы наблюдаем их соединение или разъединение, перемещение в пространстве, смену пространственных форм, изменение отдельных физических свойства и т.д. Таких взаимодействий неисчислимо много. Это и делает мир и его восприятие человеком достаточно сложным.

Чтобы выжить в таком постоянно меняющемся мире необходимо не только осознание этой сложности, но и умение как-то упорядочивать этот мир, и прежде всего в своей голове, в своем сознании. Поскольку в подавляющем большинстве случаев каждый окружающий нас объект взаимодействует с целым рядом окружающих его иных объектов, то чтобы понять его поведение в пространстве и во времени, человек вынужден был найти способ выделения каждого объекта (в той или иной части) из окружающего мира. Для этого он придумал, в частности, такое понятие как "система".

В действительности, термин «система» не так уж и нов. Характерно, однако, что в последние десятилетия он все чаще и чаще стал использоваться в научной и технической литературе. Этому есть объяснение.

Связано это с тем, что в наше время в практике не только научного познания мира, но и в практике инженерного проектирования, причем инженерное проектирование надо понимать в самом широком смысле слова, на передний план выступила необходимость решения не одиночных, относительно несложных задач, что характерно для прошлых времен, а разрешение комплексных проблем, создание и совершенствование все более сложных, чем это было ранее, технических объектов.

Например, современный специалист часто и повсеместно начал сталкивается с ситуациями, в которых приходится, с одной стороны, учитывать тенденции научно - технического прогресса отрасли, а с другой стороны, устранять негативные последствия использования устаревших конструкций, устройств и целых технологий, их воздействия на окружающую среду.

Создание некоего системного подхода, системного метода мышления - это как раз и есть попытка нахождения специфических мыслительных операций, способных помочь преодолению этой увеличивающейся сложности познания окружающего мира, помочь, в частности, решению всё усложняющегося комплекса проблем, с которыми инженерному делу приходится сталкиваться на пути развития технологий.

Системные исследования в последние годы получили широкое развитие в самых различных сферах человеческой деятельности. Существуют многочисленные попытки сформулировать, что такое системный подход, системотехника, общая теория систем, дать

этим терминам четкое определение. Разные авторы, однако, используя эти понятия при анализе интересующего их круга проблем, вкладывают в них неодинаковый смысл, и поэтому в настоящее время общепринятой трактовки данных терминов не существует. Тем не менее, при многочисленных разногласиях специалисты, занимающиеся развитием системного подхода, единодушны, по крайней мере, в одном: **системный подход - есть методология познания частей на основании целого и целостности в отличие от классического подхода, ориентированного на познании целого через его части.**

Понятие «система» носит ключевой характер в ТРИЗ. Именно поэтому в ТРИЗ наиболее полно используются представления, имеющие отношение к системному подходу. Не претендуя на обобщающий характер излагаемых представлений, ниже изложена точка зрения автора на то, что такое системный подход в случае инженерной творческой деятельности.

Введем ряд определений, которые понадобятся нам в дальнейшем.

Что мы будем понимать под термином «система» в самом общем случае, т.е. не привязывая это понятие только к инженерной практике?

**Система - это некоторая совокупность, находящихся в единстве и потому во взаимодействии, объектов любой физической или духовной природы, обладающая свойствами, не сводящимися к свойствам отдельных составляющих ее объектов.** В этом определении ключевыми словами являются *совокупность, отражающая единство, взаимодействие, новое свойство.*

Часто в литературе возникает вопрос: любая ли совокупность объектов создает систему, обладает системным свойством? Так, например, является ли системой обычная груда камней? На этот вопрос, по-видимому, следует дать утвердительный ответ. Рассматриваемая груда может служить насыпной плотиной, являться опорой при строительстве; с помощью гуды камней, кстати, можно добывать пресную воду в засушливых районах и пустынях, которая ночью конденсируется на ней из окружающего воздуха в виде росы. В ее тени спасается от прямых и потому губительных лучей Солнца масса мелкой живности, а какой-нибудь степной суслик легче с ее высоты может обнаружить хищника, который охотится на него. Следовательно, даже груда камней является не простой совокупностью отдельных элементов, а целой системой (другое дело – используем ли мы её или кто-то иной в этом качестве или нет). Как видим, к этому примеру имеют отношение все приведенные выше основные ключевые слова

Говоря выше о свойствах системы, мы понимаем, что **свойство – это всякий существенный признак объекта.** Совокупность же значений свойств системы в определенный момент времени характеризует ее состояние.

В свою очередь совокупность свойств, связей, их пространственное и временное расположение определяют **структуру системы.**

Одним из общих свойств системы является то, что элемент системы - относительно целая ее часть, обладающая некоторыми свойствами, не исчезающими при отделении от системы. Однако в системе свойства отдельных элементов не просто суммируются. Чаще всего часть свойств каждого элемента при вхождении его в систему гасится, нейтрализуется, теряет свою индивидуальность. Но зато каждая система в целом, повторим еще раз, обладает каким-то особым качеством, которое не является результатом простого суммирования свойств составляющих ее элементов. В этой связи обычно говорят, что система в силу своей структурности обладает особым системным качеством (системным свойством).

Отдельные элементы могут в свою очередь являться **подсистемами** по отношению к рассматриваемой системе. То есть они также могут состоять из элементов, непосредственно взаимодействующих друг с другом, и т. д.

Одновременно, каждая система может рассматриваться как подсистема (элемент) другой системы более высокого порядка - **надсистемы.** Понятие «система» возникает там и тогда, где и когда мы материально или умозрительно проводим замкнутую границу между неограниченным или некоторым ограниченным множеством элементов. Те элементы с их



соответствующей взаимной обусловленностью, которые попадают внутрь, — образуют систему. Те же элементы, которые остались за пределами границы, образуют множество, называемое «системным окружением» или просто «окружением», «внешней средой». Внешняя среда неизбежно взаимодействует с рассматриваемой системой. Это единство на новом иерархическом уровне может изменять как структуру, так и, следовательно, свойства и поведение входящих в нее систем.

**Из этого вытекает важнейший методологический вывод: невозможно рассматривать систему в отрыве от внешней среды, в отрыве от ее, этой среды, «требований».**

Чаще всего, сама система, её подсистемы и надсистема, в которую она входит, образуют иерархию систем. Наряду с подобным иерархическим рядом существуют, иногда взаимодействуя с ним непосредственно, а иногда и имея к нему лишь отдалённое отношение, другие ряды систем. Например, мировоззренчески важно хорошо понимать, что, весь окружающий нас мир, в котором мы обитаем, как раз и является, совокупностью этих рядов систем. Поэтому мы всеми нитями своей жизни связаны с состоянием окружающей среды. Например, ныне довольно хорошо известно, как наша жизнь многими своими проявлениями глубоко связана с активностью процессов, происходящих на Солнце.

### **Что такое «техническая система»?**

Техника – это, образно говоря, вторая природа.

Технические системы (ТС) – это искусственные системы, созданные человеком для удовлетворения своих потребностей. На них распространяется, естественно, все сказанное выше о системах вообще.

Так, например, железнодорожный путь - это техническая система, состоящая из большого числа подсистем, – рельсов, шпал, промежуточных и стыковых креплений, балластного слоя и земляного полотна. Но железнодорожный путь – это подсистема по отношению к надсистеме «железнодорожный транспорт», которая, в свою очередь, является подсистемой ещё более высокоуровневой системы, объединяющей экономику региона, страны и т. д. В то же время, экономика не замыкается на проблемы, связанные с совершенствованием железнодорожных перевозок, в ней параллельно функционируют и другие перевозочные системы, как сотрудничающие, так и конкурирующие с железными дорогами.

Какими же фундаментальными признаками должна обладать совокупность отдельных элементов с тем, чтобы её можно было считать технической системой?

Таких признака четыре. Первые три являются общими для всех систем, и мы о них уже говорили.

Это

- целостность (система - это не простая совокупность отдельных элементов, а ещё и результат их взаимодействия, получить который трудно, а порой и невозможно, если какой-либо из этих элементов удалить);

- организация (имеет место иерархия систем различного уровня, причём отдельные элементы должны быть взаимосвязаны не только в пространстве, но и во времени);

- системное качество (система обладает качеством, не сводящимся к качествам её отдельных элементов).

Четвёртый признак специфичен именно для ТС. Это – **функциональность**. Определяется это тем, что любая техническая система должна выполнять некоторую полезную функцию. Функциональность – это как раз новое системное свойство, возникающее в системе человек - окружающая природа.

Каждая ТС имеет по нашему определению свое предназначение, т.к. создана с некоторой целью или даже системой целей. Цель - это некоторое положение дел, к осуществлению которого стремятся. Функция системы определяется ее назначением, и тем самым близка к понятию цели. Цель функционирования задается при создании технической системы и определяет ее выходное состояние, выходные параметры. Реализуется это путем проектирования множества последовательных во времени состояний ТС. **Функция системы** - это свойство системы воздействовать на другую систему, изменять ее состояние, характеризующееся в свою очередь некоторыми новыми, чаще всего наперед заданными параметрами. Поэтому можно сказать, что целенаправленное поведение системы, или, по крайней мере, способность ее к целенаправленному поведению - и есть ее функция. Часто поэтому применяется к техническим системам термин – целенаправленная система.

Уместно здесь же сказать, что движущими силами развития ТС система потребностей человека, трансформирующаяся в свою очередь в систему целей. Правильнее говорить при этом, что развитие идет ввиду развития самих потребностей и возникающего в связи с этим противоречия между уровнем такого развития и возможностями современного состояния ТС их удовлетворить.

Если же система не полностью реализует заданные ей цели, или со временем или в специфических условиях создает вредные и нежелательные эффекты, то можно и удобно говорить и о **вредных, нежелательных функциях**. Например, железнодорожные рельсы склонны со временем корродировать. Это приводит в свою очередь к возникновению коррозионных усталостных трещин, снижающих сроки службы пути в целом.

Вернемся к основным определениям. Носитель функции - конкретная система, выполняющая указанную функцию. Не все функции системы равноценны: среди них есть основные, ради выполнения которых система создаётся, и вспомогательные, которые обеспечивают выполнение основной функции, способствуют сохранению жизнеспособности самой системы.

Обычно функцию ТС формулируют кратким указанием действия, направленного на некоторый объект. Например, функция верхнего строения железнодорожного пути формировать колею.

Внутренняя форма организации системы определяет её структуру.

Структура - это совокупность элементов, связей или отношений между ними, предполагающая их единство и определенную пространственно - временную устойчивость. И то и другое определяется физическими принципами, принятыми при осуществлении требуемой полезной функции.

Связь - одно из фундаментальных понятий и в системном подходе. Система как единое целое существует именно благодаря наличию связей между ее элементами, т.е., иными словами, связи выражают законы функционирования системы. Связи различают по характеру взаимосвязи как прямые и обратные, а по виду проявления (описания) как детерминированные и вероятностные.

Прямые связи предназначены для заданной функциональной передачи вещества, энергии, информации или их комбинаций — от одного элемента к другому в направлении основного процесса.

Обратные связи, в основном, выполняют функции управления процессами. Их также называют «управляющими». Обратные связи предполагают некоторое преобразование компоненты, поступающей по прямой связи, и передачу результата преобразования обратно, т. е. в направлении, противоположном функциональной последовательности (прямой связи) к одному из предыдущих элементов системы.

Например, железнодорожный путь - это структура, образованная рядом отдельных конструктивных элементов, их расположением в пространстве, связями между ними, определенный набор геометрических, прочностных и деформативных свойств и состояний каждого элемента.

Функции системы и ее структура должны находиться в единстве, взаимосвязи, то есть функция и структура обязаны соответствовать друг другу. Однако это единство носит относительный, временный, преходящий характер. В процессе развития системы может происходить рассогласование её структуры и выполняемых функций, что приводит к их конфликту, противоречию. Чаще всего разрешение возникающих противоречий реализуется путем изменения существовавшей структуры вплоть до отказа от её дальнейшего использования.

Относительно замкнутая система с заданной структурой функционирует однозначно. С другой стороны, функционирование не определяет структуру однозначно. Одна и та же функция может быть реализована различными структурами.

И в этом случае воспользуемся примером перевозок грузов. Совершенно очевидно, что многие грузы можно доставить из одной точки пространства не только железнодорожным способом, но и автотранспортом, водным и т.д., т.е. с использованием других структур.

Что же нам дает системный подход для понимания «жизни» систем, для процессов их преобразования для повышения качества их функционирования? Главное, это то, что для изменения качества выполнения существующих функций, получения новых системных свойств, для повышения ее жизнеспособности необходимо изменение связей или отношений между отдельными элементами, подсистемами системы. Это может быть как введение, так и изъятие или разрушение этих связей. Конкретно же это достигается путем введения дополнительных объектов в систему. Причем это могут быть объекты как той же природы и с теми же свойствами, что и уже существующие в системе, так и с видоизмененными и даже альтернативными или противоположными.

Исходя из сказанного, будем дальше вводимый элемент системы или вводимую связь понимать как некоторый посредник, используя при этом термин «ПОСРЕДНИК», или, как это принято в ТРИЗ, термин «X-элемент» (икс-элемент), имея в виду, что чаще всего при решении задачи не всегда сразу видно, какими нужными свойствами этот посредник должен обладать.

Чрезвычайно важно знать и понимать, что техническая система формирует и проявляет свои свойства в процессе взаимодействия с окружением, являясь при этом ведущим компонентом этого взаимодействия. ***То есть заказчиком изменений являются системы более высокого иерархического уровня.*** А поскольку рассматриваемая система может являться составной частью ряда систем, то это при изменении хотя бы одной из включающих ее в себя надсистем приводит к конфликту, системному противоречию, которое и приводит к необходимости вносить изменения в ТС.

В зависимости от воздействия на окружение и характер взаимодействия с другими системами функции систем можно расположить по возрастающему рангу следующим образом:

- пассивное существование;
- материал для других систем;
- обслуживание систем более высокого порядка;
- противостояние другим системам (выживание);
- поглощение других систем (экспансия);
- преобразование других систем и сред (активная роль).

Набор функций, которые способна выполнять система, со временем может меняться. Это, как уже было сказано, определяется новыми запросами надсистемы, и прежде всего основной надсистемой для техники – человеком. Это может сказаться на числе элементов и связей, в неё входящих, на распределении функций между отдельными подсистемами. В итоге это приведет к изменению пространственно - временной структуры системы.

Отсюда вытекает, что важнейшим свойством любой технической системы является то, что даже изменение одной из её составляющих частей отражается на состоянии других частей и всей системы в целом. И наоборот, изменение системы в целом сказывается на состоянии ее

частей. В разных случаях эти взаимосвязи проявляются с разной силой. В практическом смысле очень важно понимать, что введение в систему новых элементов и связей неизбежно приводит к тем или иным изменениям в смежных с ними элементах и связях. Устраняя противоречие, мы вынуждены вносить в систему ряд других согласующих изменений.

Наиболее типичная форма организации систем - иерархия. По преимуществу иерархия - структура жесткая, с глубокими и прочными связями. И чем ниже по иерархической лестнице, тем жестче становятся связи системы с подсистемами. **Это означает, что адекватное задание целей конкретной создаваемой (или совершенствуемой) системы требует предварительного определения целей более широкой системы, в которую она входит в качестве подсистемы.** Понимание этого ориентирует поиски решения проблемы не только на уровне самой системы, но и на более высоком иерархическом уровне, уровне надсистем.

Так, например, повышение долговечности конструкций железнодорожного пути может быть реализовано не только за счет повышения прочностных свойств самих элементов пути (рельсов, шпал, креплений, балласта). То же самое можно достигнуть и за счет совершенствования надсистемы - системы ведения путевого хозяйства (качества ремонтов пути, организации его текущего содержания). Или даже благодаря улучшениям в смежной системе - подвижном составе (снижениям статических и динамических нагрузок, улучшения состояния ходовых частей подвижного состава). Осознание этого факта привело в свое время к созданию во Всероссийском научно-исследовательском институте железнодорожного транспорта целого отделения комплексных испытаний подвижного состава и пути, задачей которого было согласование процессов одновременного развития как конструкции пути, так и конструкции подвижного состава.

Возвращаясь к выяснению места системного подхода в научной и инженерной практике, отметим еще раз, что как показывают исследования развития науки системный подход, системный стиль научных исследований не являются чем-то принципиально новым, возникшим лишь в последние годы. Это естественный научный метод решения теоретических и практических проблем, используемый на протяжении веков. Для примера можно привести использование для решения задач методов индукции (перехода от частного к общему) и дедукции (получение выводов о частном на основе общих сведений), пришедшие к нам еще из эпохи Возрождения, различные методики планирования, прогнозирования, исторического анализа. По мере развития общества уровень, характер и качество системного познания меняются, совершенствуются.

Например, в период второй мировой войны и в послевоенные годы учёные и инженеры пришли к выводу, что проектировать, планировать следует не просто отдельное, пусть даже и очень сложное, изделие, а весь комплекс материальных условий и организационных мер, которые смогут обеспечить эффективное функционирование этого изделия. Более того, в процесс проектирования данного изделия в качестве важнейшей компоненты должно быть включено планирование самого процесса проектирования. В наше время эти идеи нашли дальнейшее развитие, и плодотворность системного подхода в творческой деятельности человека уже не вызывает сомнений.

По-видимому, прежде всего процесс становления системного подхода в науке и технике опирается на развитие общенаучного мировоззрения, совершенствование методологических принципов науки. В настоящее время это прежде всего связано с возникновением новых научных моделей эволюции мира и их взаимопроникновении. Среди таких наук, носящих междисциплинарный характер, прежде всего надо выделить кибернетику, теорию хаоса и синергетику. Отмеченные здесь научные дисциплины как раз и базируются на понимании системности мира, что приводит к выявлению глубоких аналогий между процессами разной физической природы.

«С давних пор, - писал крупный российский математик, академик А.Н. Колмогоров, еще в середине прошлого века - известны аналогии между: а) сознательной целесообразной деятельностью человека; б) работой созданных человеком машин; в) различными видами деятельности живых организмов, которые воспринимаются как целесообразные, несмотря на отсутствие управляющего ими сознания. Человеческая мысль искала веками объяснения этих аналогий на путях положительного знания, так и на путях религиозных и философских спекуляций». (Колмогоров А.Н. Предисловие к кн.: Эшби У.Р. Введение в кибернетику - М., 1959).

В общем подходе к изучению различных по уровню сложности технических систем можно выделить два диалектических принципа.

Во-первых, при изучении технической системы необходимо представить себе, как происходило её развитие во времени.

Такой анализ позволяет понять:

- что вызвало необходимость рождения технической системы,
- как происходило или происходит её развитие,
- что ждёт эту систему в будущем,
- когда и при каких условиях наступит её старение, «смерть»...

Исторический подход, который часто называют генетическим, продуктивен, поскольку даёт возможность не только оценить эффективность рассматриваемой системы, но и дать рекомендации о целесообразности своевременного перехода от этой системы к новой, идущей на смену ей в рамках непрерывного процесса эволюции.

Во-вторых, рассматривая систему, необходимо отчётливо представлять её пространственные связи. Как мы уже говорили, системы характеризуются своей иерархической включенностью разных уровней (подсистема - система - надсистема), своими связями с другими системами. Любое изменение на одном из этих уровней, так или иначе, затронет и рассматриваемую систему, причем далеко не все следствия таких изменений могут носить положительный характер. Это означает, что чем больше связей внутри и вне системы мы увидим, тем большим набором возможностей для её совершенствования мы будем обладать.

Важность такого пространственно-временного изучения объектов велика. Поэтому в «Теории решения изобретательских задач» введёны специальные понятия – многоэкранный мышление и многоэкранный стиль талантливое мышления.

При проведении анализа того или иного объекта инноваций в ТРИЗ настойчиво рекомендуется строить графическую схему, называемую системным оператором. Ниже на схеме показан системный оператор, состоящий из девяти экранов.

НАДСИСТЕМА (НС) В ПРОШЛОМ	НАДСИСТЕМА (НС) В НАСТОЯЩЕМ	НАДСИСТЕМА (НС) В БУДУЩЕМ
СИСТЕМА (ТС) В ПРОШЛОМ	СИСТЕМА (ТС) В НАСТОЯЩЕМ	СИСТЕМА (ТС) В БУДУЩЕМ
ПОДСИСТЕМЫ (ПС) В ПРОШЛОМ	ПОДСИСТЕМЫ (ПС) В НАСТОЯЩЕМ	ПОДСИСТЕМЫ (ПС) В БУДУЩЕМ

Схема 1. Девять экранов мышления

*Вот как писал об этом операторе создатель ТРИЗ Г.С.Альтшуллер.*

*"Технические системы существуют не сами по себе. Каждая из них входит в надсистему, являясь одной из ее частей и взаимодействуя с другими ее частями; но и сами системы*

*тоже состоят из взаимодействующих частей - подсистем. Первый признак талантливого мышления - умение переходить от системы к надсистеме и подсистемам. Иными словами, когда речь идет о дереве (системе), надо видеть лес (надсистему) и отдельные части дерева (корни, ствол, ветки, листья - подсистемы). Впрочем, этого мало - на каждом этапе необходимо видеть линию развития: прошлое, настоящее и будущее . ... На мысленных экранах талантливого мыслителя постоянно бушуют страсти: сталкиваются противоречивые тенденции, возникают и обостряются конфликты, идет борьба противоположностей... В азарте этой борьбы изображение подчас сменяется антиизображением...*

К сказанному следует добавить, что целесообразно строить не девятиэкранную схему. Эту схему надо рассматривать лишь в качестве минимальной, и дополнять ее экранами, отражающими развитие сопутствующих систем и даже анти-систем.

Для железнодорожного пути такими сопутствующими системами могут оказаться область повышения качества продукции металлургической отрасли, область строительных материалов (железобетона, полимеров, резино-технических изделий и т.д.). Анти-системами в этом случае могут выступать другие виды транспортных перевозок, их техника и технологические процессы.

Таким образом, системный подход как методология изучения объекта состоит в том, что такой объект необходимо рассматривать с учетом всей полноты и сложности его строения, целостности пространственно-временных связей, взаимодействия и взаимообусловленности всех составляемых элементов между собой и со средой, из которой этот объект (система) выделен.

Методология системного подхода включает в себя следующие аспекты:

- понятийный аппарат - совокупность присущих данному подходу определений и понятий, таких как система, структура, функция, системное качество, противоречие, модель системы;
- язык описания систем и их взаимодействий (методы моделирования систем);
- законы строения и развития систем (ЗРТС);
- приемы анализа функционирования систем;
- приемы (операторы) преобразования систем, методы и алгоритмы их применения.
- приемы синтеза преобразованной системы.
- анализ и осмысление полученного результата с позиций экологии, морали и этики.

Подведем предварительный итог нашего введения в рассматриваемую в данной лекции тему.

Стремительность технического прогресса во второй половине XX века требует от современного специалиста владения навыками системного подхода к рассматриваемой проблеме. Эти навыки необходимо развивать целенаправленным образом, поскольку обыденный жизненный опыт способствует развитию подобных навыков лишь в минимальной степени.

Чтобы еще раз подчеркнуть важность сказанного о роли системного подхода в инженерной практике приведем выдержку из романа популярного американского писателя Артура Хейли «Колеса», включающую описание того с чего начинается процесс проектирования новой марки автомобиля на крупных фирмах.

«В основном была подготовлена документация, необходимая для осуществления проекта и в какой-то мере отвечающая на следующие возможные вопросы: какова ситуация на сегодняшний день? Кто продает и кому? В чем мы правы? Чего покупатели ждут от машины? Что они на самом деле хотят получить? Какие потребности будут у них через пять лет, и каких рубежей достигнем мы? В политическом, социальном, интеллектуальном, сексуальном планах? Какова будет численность населения? Вкусы? Мода? Какие новые проблемы будут волновать людей? Какова будет возрастная структура населения? Кто будет

богатым? кто – бедным? Кто между ними? Где? Почему? Эти и множество других вопросов, фактов, статистических данных были пропущены через мозги компьютеров.

Теперь же требовалось то, на что не способен ни один компьютер: внутреннее чутье, толчок, озарение, гений.

Одна из проблем заключалась, к примеру, в следующем: чтобы определить внешний облик «Форстара», надо было знать, как пойдут дела с «Орионом». Но «Орион» предстанет на суд публики только через четыре месяца, и то, как он «пошел», ясно будет лишь полтора года спустя».

Отметим попутно, что запуск новой модели в те семидесятые годы прошлого века уже стоил около пяти миллиардов долларов. Можно представить какие убытки будут у автопроизводителя, если он ошибется в формировании концепции развития своего будущего.

#### Лекция № 4

## ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Одним из первичных, а, следовательно, основополагающих требований системного подхода является недопустимость рассмотрения объекта вне его развития, под которым понимается необратимое, направленное, закономерное изменение материальных объектов природы и человеческого сознания.

В результате изменения структуры объекта возникает, как мы приняли выше при рассмотрении основ системного подхода, новое качество или состояние этого объекта.

Ни у кого не вызывает сомнений, что, например, любая биологическая система характеризуется «линией жизни», основными этапами которой являются рождение, развитие и старость, смерть. Не вызывает сомнения и то, что это развитие закономерно и что управляющие этими процессами законы объективны, т.е. независимы от воли людей. Сходную картину можно увидеть, анализируя социально-исторические процессы, различные течения в искусстве, культуре. Этими же этапами характеризуется «линия жизни» любой технической системы. Однако очень долго процессу развития техники отказывалось в объективности. Считалось при этом, что такое развитие полностью определяются психическими процессами, происходящими в мозгу человека. Нужно было время, терпение, и упорство исследователей, чтобы сломать эту точку зрения, чтобы признать объективный характер развития техники. Осознание этого положения является большим прорывом в науке вообще и в науке о технических системах. В последнем случае оно происходило особенно сложным и драматическим образом и окончательно оформилось при создании ТРИЗ.

Поскольку можно ожидать рецидива непонимания этого вопроса, приведем слова на этот счет, высказанные Г.С.Альтшуллером.

«Мне хотелось бы начать с правомерной постановки вопроса: существуют ли вообще объективные законы, по которым развивается техника? Ведь развитие биосферы происходило без участия человека, задолго до его появления. Поэтому ему при всем желании нельзя приписывать появление новых видов животных и растений.

Иное дело - развитие технических систем. Оно происходит "при нас", и это создает иллюзию, что "все зависит от нас", от наших догадок и озарений, т. е. нет объективной закономерности. Однако смею Вас заверить, это совсем не так. Патентный фонд нашей страны, с которым я работал многие годы, содержащий миллионы изобретений, подтверждает существование технических законов. Жизнеспособными являются только такие изобретения, которые изменяют исходную систему (прототип) в направлении, предписываемом законами развития технических систем.

Я убежден, что технические системы развиваются по объективно существующим законам (да этот постулат сейчас, кажется, никто, кроме отдельных философов-ортодоксов, не оспаривает всерьез). Эти законы познаваемы, и мы плодотворно используем их для сознательного, целенаправленного, без слепого перебора вариантов решения изобретательских задач.

Необходимым подчеркнуть, что законы развития технических систем являются подсистемой наиболее общей системы законов диалектики. Именно поэтому они не должны противоречить последней.

Что же касается "внутренних" противоречий между выявленными уже закономерностями, то они указывают лишь на наличие еще пока неясных закономерностей, регулирующих отношения выявленных законов.

И еще. Несомненно, объективные законы развития техники не могут противоречить фундаментальным законам механики, физики, химии, биологии - вообще естествознания. Этот постулат настолько очевиден, что не требует обоснования».

Таким образом, **основной постулат** теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) гласит: **технические системы развиваются по объективно существующим законам, эти законы познаваемы, их можно выявить и использовать для сознательного, целенаправленного решения изобретательских задач.** Подчеркнем еще раз - по объективно существующим законам, т.е. не зависящим от воли человека.

И все-таки в этих положениях об объективности процесса развития техники остается открытым вопрос о роли изобретателя в этом процессе. Каково, в конце – концов, место человека-изобретателя в этой цепочке взаимоотношений между окружающим миром, техникой и человеком – потребителем этой техники?

Если позволить себе и в этом случае опереться на системную, научно-техническую терминологию, то изобретатель – это оператор, осознающий противоречие в развитии мира техники и отыскивающий приемы и ресурсы для преодоления этого противоречия. Естественно, что изобретатель при этом для успешной работы должен обладать большой эрудицией, хорошим воображением, волей, хорошей долей честолюбия и тщеславия. В нынешних условиях он также должен знать законы развития систем и современные методологические приемы организации процесса решения проблем.

Так что же такое закон? Советский энциклопедический словарь дает следующее определение: «закон - необходимое, существенное, устойчивое, повторяющееся отношение между явлениями в природе и обществе».

Поскольку законы техники имеют некоторое своеобразие в своем проявлении, то в ТРИЗ чаще используется такое определение законов: **законы развития технических систем (ЗРТС) - это комплексы статистически достоверных линий развития, описывающих закономерный последовательный переход систем из одного конкретного состояния в другое и справедливых для всех технических систем или их больших классов.**

В ТРИЗ сформулирован ряд требований к законам развития технических систем.

Назовем основные из них.



- *Законы развития технических систем должны отражать действительное развитие техники, поэтому должны выявляться и подтверждаться на основе достаточно представительного объема технической информации;*

- *Законы развития технических систем образуют систему, надсистемой для которой являются законы диалектики, поэтому они не должны противоречить последним;*

- *Законы развития технических систем должны быть инструментальны, то есть помогать находить новые конкретные инструменты решения задач, прогнозирования развития ТС и обеспечивать получение на их основе конкретных выводов и рекомендаций.*

Первая система законов развития технических систем, удовлетворяющая приведенным выше требованиям, была разработана Г.С.Альтшуллером в начале семидесятых годов. Работы по выявлению, изучению и уточнению законов развития технических систем продолжаются и ныне.

В настоящее время выявлены и сформулированы одиннадцать основных законов развития технических систем:

- полноты частей ТС;
- сквозного прохода энергии;
- согласования - рассогласования ТС;
- развития ТС по S - образной кривой;
- повышения степени идеальности ТС;
- вытеснения человека из ТС;
- неравномерности развития частей ТС;
- свертывания - развертывания ТС;
- повышения динамичности и управляемости ТС;
- перехода ТС на микроуровень и преимущественного использования полей;
- перехода ТС в надсистему.

Все эти законы можно разделить на две большие группы: законы строения ТС (законы принципиальной жизнеспособности ТС) и законы развития (законы эволюции).

## **Законы строения технических систем**

### **Закон полноты частей технической системы**

Закон полноты частей технической системы гласит: **“Необходимым условием принципиальной жизнеспособности ТС является наличие и минимальная работоспособность основных частей системы: двигателя, трансмиссии, рабочего органа и органа управления”**.

*Рабочий орган* - это элемент ТС, выполняющий основную функцию системы.

*Двигатель* - это элемент ТС, в котором энергия от источника энергии преобразуется в нужный для системы вид. Такие двигатели иногда называют двигателями вторичными в отличие от двигателей первичных – источников энергии, непосредственно преобразующих энергию природных ресурсов. Первичные и вторичные двигатели иногда совпадают, чаще - нет.

*Трансмиссия* - это элемент (совокупность элементов) ТС, по которому передается энергия от двигателя к рабочему органу.

*Орган управления* - это элемент ТС, который ею управляет, т.е. обеспечивает поддержание режима деятельности.

Дадим некоторые дополнительные пояснения к этому закону.

Он относится не ко всякой искусственной системе, а к системе, способной самостоятельно выполнить какую-либо функцию. Будем далее называть такую систему **полнофункциональной**.

Перечисленные выше отдельные составляющие (органы) полнофункциональной ТС будем называть **узлами**.

Полнофункциональная ТС часто превращается в многофункциональную ТС. Наиболее яркими примерами являются современные персональные компьютеры, которые от средств вычислений превратились в приборы с широчайшим спектром функций. То же относится и к средствам мобильной связи.

На первых этапах развития ТС может включать в свой состав и человека. В дальнейшем, а это уже надо отнести к законам развития, человек вытесняется из системы.

Закон полноты частей ТС на первый взгляд кажется очевидным. Каждый инженер, проектируя какую-либо ТС, стремится обеспечить работоспособность всех входящих в нее подсистем. Однако в дальнейшем, при совершенствовании ТС и улучшении работы отдельных ее частей, происходит наращивание дополнительных узлов и блоков, введение которых порой идет вразрез с требованиями закона, в результате чего совершенствуемая система может оказаться нежизнеспособной.

Инструментальным является следствие из этого закона: **чтобы ТС была управляемой, необходимо, чтобы хотя бы одна ее часть была управляемой.**

### **Закон сквозного прохода энергии**

Сущность этого закона сводится к следующему: **“Любая ТС для выполнения своих функций должна обеспечить сквозной проход энергии и информации, которая тоже является видом энергии, ко всем частям системы”**.

При кажущейся простоте и очевидности этого закона его строгое выполнение позволяет избежать многих ошибок при разработке новых ТС. Особенно это важно учитывать при совершенствовании сложных ТС или наращивании их дополнительными узлами, блоками и элементами. Иногда, увлекшись возможностью обогащения ТС новыми дополнительными функциями, разработчики не в полной мере обеспечивают энергией вновь введенные подсистемы. Это приводит к неполному функционированию введенных подсистем или даже всей ТС в целом.

Следствие из закона: **чтобы часть системы была управляемой, необходимо обеспечить энергетическую проводимость между этой частью и органом управления.**

При проектировании надо всегда стремиться к тому, чтобы ТС была не только хорошим проводником энергии, но и обеспечивала ее минимальные потери. Большая часть энергии теряется при преобразовании из одного вида в другой или при большом пути передачи. Поэтому при проектировании ТС желательно использовать минимальное разнообразие видов энергии для всех процессов, протекающих в системе, и озаботиться об уменьшении пути потока энергии.

Многие конструкторские задачи сводятся к подбору полей (энергии) и видов передачи, эффективных в данных условиях.

При этом следует руководствоваться тремя правилами:

- при развитии ТС (развертывании) любые новые подсистемы должны работать на энергии, проходящей сквозь систему, или на бесплатной энергии из внешней среды;
- если ТС состоит из веществ, менять которые нельзя, то следует использовать поле, которое хорошо проводится веществами частей системы;
- если вещества частей системы можно менять, то плохо управляемое поле заменяют хорошо управляемым по цепочке: гравитационное - механическое - тепловое - магнитное - электрическое - электромагнитное. Одновременно заменяют вещества или вводят в них добавки, обеспечивающие хорошую проводимость энергии (вещества должны быть “прозрачными” для выбранного поля).

Все изобретательские задачи в технике делятся на два типа: задачи на изменение ТС (т.е. на создание, синтез, развитие) и задачи на измерение ТС (обнаружение, контроль параметров). В задачах первого типа направление движения энергии всегда от источника энергии (двигателя) через трансмиссию к рабочему органу и далее к изделию. В задачах

второго типа наоборот требуется уловить информацию (т.е. энергию или изменение энергии), исходящую от “изделия”.

Закон помогает решать задачи. Знание о том, что ТС нуждается в энергетической проводимости - уже часть ответа. Поэтому в ходе решения задачи полезно задавать самому себе вопросы: «Есть ли в ТС сквозной проход энергии?», «Существует ли хорошая проводимость между частями ТС и органами управления?», «Какое поле лучше всего проводят вещества ТС?», «Можно ли применить более управляемое поле?», «Какое поле лучше всего использовать для новой подсистемы (имеющееся в ТС или “даровое”)?».

### **Закон согласования - рассогласования технических систем.**

Этот закон гласит: **«Условием жизнеспособности ТС является минимальное согласование и (или) рассогласование ее подсистем между собой и (или) с внешней средой».**

**Согласование** должно быть предусмотрено уже при создании системы, когда идет подбор необходимых подсистем, образующих основную функциональную цепочку, ***подбор пространственно-временной структуры, материалов взаимодействующих узлов и деталей.*** К подсистемам, То есть необходимость обеспечения минимальной работоспособности предъявляет требование совместимости отдельных подсистем системы друг с другом по различным показателям и характеристикам системы: по материалам, форме, размерам, частоте, прочности, надежности, температуре и т.д.

Приведем несколько примеров согласования применительно к конструкциям железнодорожного пути,

**Согласование пространственных параметров.** Форма головки рельса согласована с поверхностью катания колес подвижного состава, в частности, так, чтобы колесо всегда находилось на поверхности головки рельса. Подуклонка рельса согласует эти же конструкции так, чтобы были наименьшими контактные напряжения.

**Согласование во времени.** Правильно спроектированный технологический процесс любого ремонта согласует проход путевых машин по ремонтируемому участку так, чтобы не было наезда как машины на машину, так и машин на бригады монтеров пути.

**Согласование по материалам.** Материалы конструкции пути подобраны так, чтобы при заданных их размерах не происходило превышение пределов разрушения элементов пути под поездами.

При развитии системы одним из важнейших процессов является повышение уровня такого согласования - рассогласования. Осуществляется это с путем повышения динамизации и перехода на микроуровень. Что и будет рассмотрено ниже.

### **Законы развития ТС.**

#### **Вторая группа законов - законы развития.**

Эти законы составляют некоторую систему, показанную на рис. 4.1.

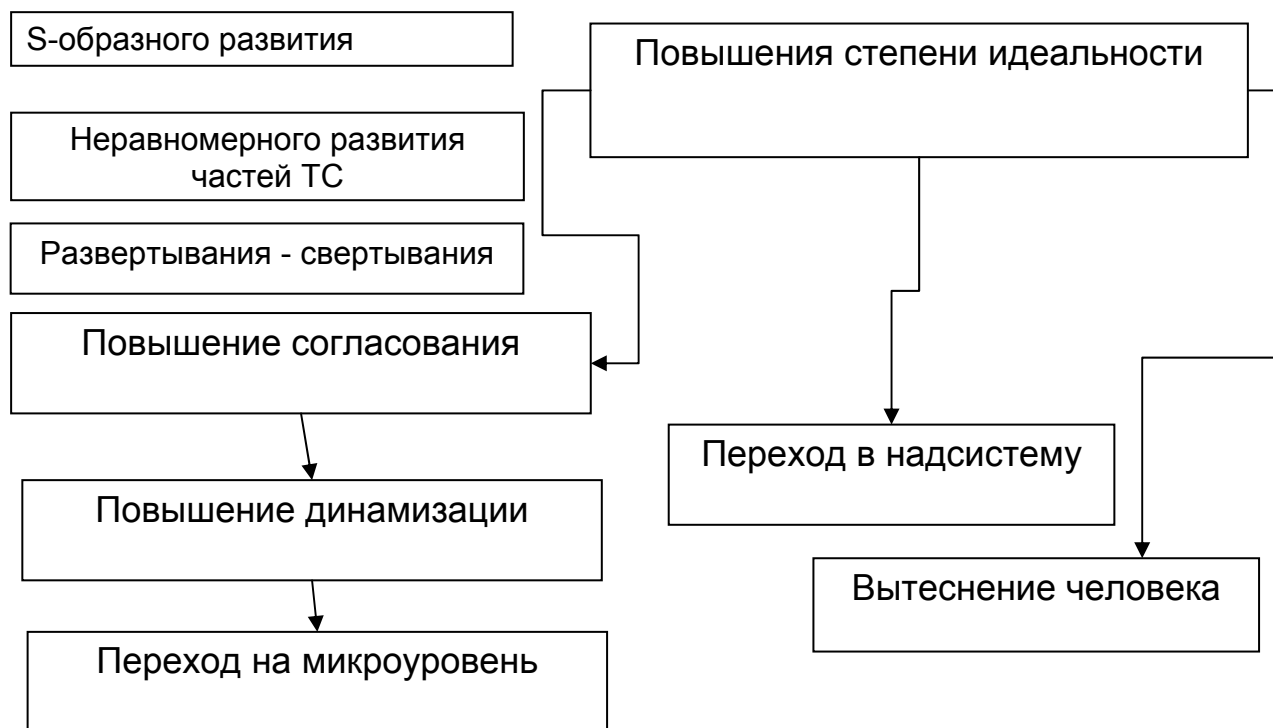


Рис. 4.1.

Рассмотрим их.

### **Закон S – образного развития.**

Характеристика жизни и развития любой технической системы имеет вид S - образной кривой (рис.4.2).

Подобная форма кривой является общей для развития не только технических, но и биологических, общественных и других систем. Так развиваются не только сами системы, но и их отдельные подсистемы. Справедливость этого закона подтверждена результатами многих исследований. В одной из книг по теории промышленного развития показано, что по S - образной кривой изменяются не только технические, но и экономические показатели, такие, как изменение спроса и предложения продукции. Рассмотрим эту кривую.

Как правило, S - образную кривую изображают в виде графика, по одной из осей координат которого отложены значения основных параметров системы (N), а по другой - время (T). Для ТС основными параметрами могут быть мощность, скорость, грузоподъемность и т.д.

В действительности S - образная кривая не является такой гладкой, как она представлена на рис.4.2. В связи с неравномерным развитием подсистем график имеет вид ломаной линии (рис.4.3), на которой, однако, можно выделить характерные участки (этапы I - IV), определяющие коренные изменения в развитии ТС.

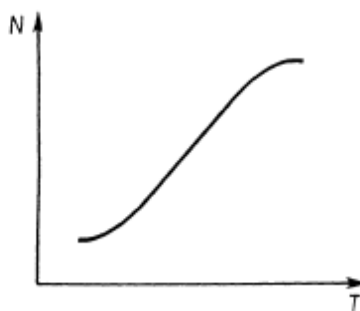


Рис. 4.2.

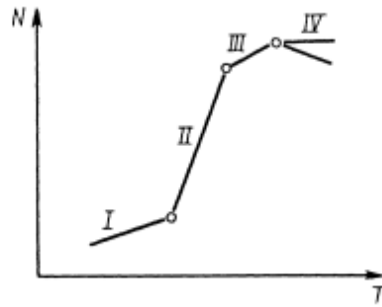


Рис.4.3.

Этап I является начальным и характеризует зарождение ТС, образно говоря, ее “детство”. На этом этапе ТС задумана, разработаны первые проекты, сделаны макетные и опытные образцы. В начале этого периода ТС имеет больше недостатков, чем преимуществ, и развивается, зачастую, только за счет энтузиазма ее создателей. И только в конце его система приобретает необходимые потребительские свойства, и потому заканчивается этот этап началом внедрения, началом продаж.

Этап II характеризует активное развитие ТС, ее массовое производство, интенсивное усовершенствование всех подсистем, входящих в нее. На этом этапе коллектив создателей увеличивается за счет привлечения большого числа специалистов, занятых в технологическом процессе выпуска ТС.

Этап III – этап постепенного замедление подъема показателей ТС. Система уже исчерпывает свои потенциальные возможности, и ее развитие резко замедляется - она “старееет”. Если рост основных показателей еще и происходит, то это осуществляется только за счет отдельных усовершенствований внешнего, косметического характера. В этот период сама система и ее промышленное производство продолжают двигаться больше по инерции, чем развиваться. Количество участников производства данной системы возросло по сравнению с начальным этапом, и они в большинстве своем являются активными защитниками данной системы, сопротивляясь зачастую и противодействуя созданию принципиально новой ТС.

Этап IV - сохраняется постоянство параметров ТС или в некоторых случаях даже спад ее показателей. Система либо снимается с производства, перестает продаваться, либо в некоторых случаях занимает свою ограниченную «экологическую нишу», например, в качестве коллекций старины.

Как правило, на одном из ранних этапов развития ТС зарождается идея новой (кривая с точкой Тсб на рис 4.4.а) более совершенной системы, выполняющей свои функции часто на другом физическом принципе. Случается, однако, что зарождение и развитие альтернативных ТС происходит одновременно. В таких случаях даже более производительная ТС, для которой в данный момент времени нет соответствующих условий (материалов, технологий и т.д.), вынуждена ждать “своего часа”. Ярким примером этого является электромобиль. Идея его создания возникла практически одновременно с идеей создания автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. Однако из-за незрелости ряда подсистем и, в первую очередь, аккумуляторов, электромобиль в настоящее время только выходит из стадии эксперимента, в то время как автомобиль с двигателем внутреннего сгорания за 140 лет своего существования завоевал весь мир.

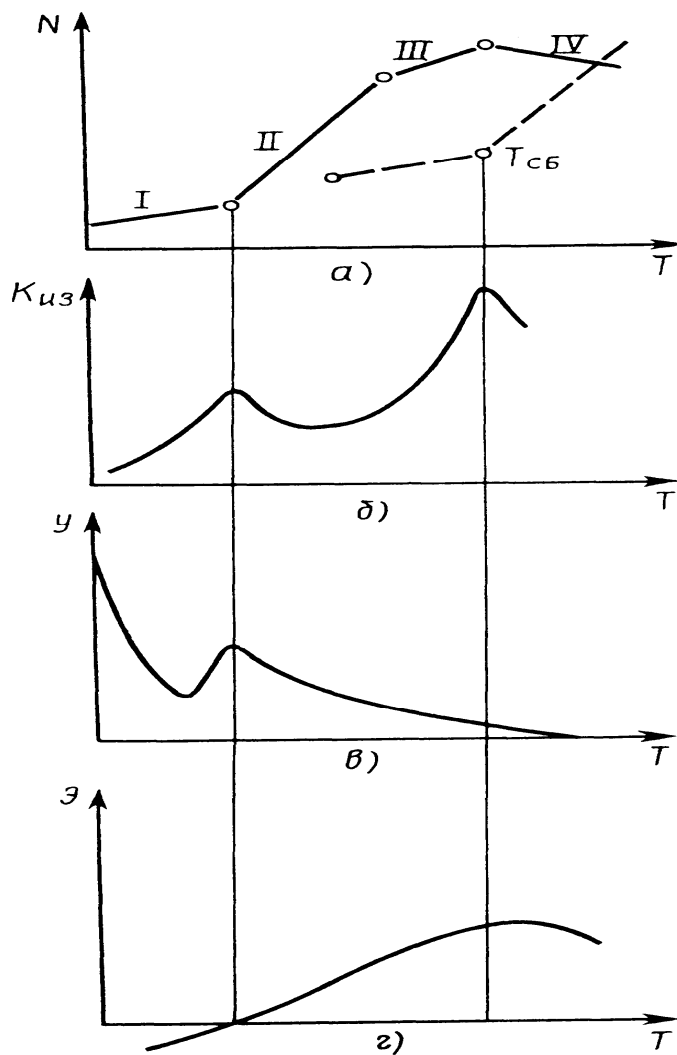


Рис. 4.4.

S - образной кривой (рис.4.4,а) взаимосвязаны другие интересные показатели, такие, как изменения количества изобретений Киз (рис.4.4,б) за время жизни ТС, уровня этих изобретений  $y$  (рис.4.4,в) и эффективности ТС  $\mathcal{E}$  на каждом этапе (рис.4.4,г). Попробуем сопоставить S - образную кривую жизни ТС с другими изобретательскими показателями в этот период.

Кривая Киз имеет два пика в точках перегиба кривой между этапами I и II, III и IV. Первый пик объясняется тем, что при переходе к массовому производству технического объекта возникает большое число изобретений, направленных как на развитие данного объекта, так и на создание технологии его изготовления, сборки, измерения параметров, разработки необходимой оснастки и т.д.

Второй пик изобретательской активности в жизни ТС появляется, когда система, исчерпав свои потенциальные возможности развития, вступает в зону застоя. Все участники производственного процесса активно пытаются продлить жизнь угасающей системы и совершенствуют ее отдельные элементы, не меняя ничего в принципе действия.

Вполне естественно, что за время жизни ТС сопровождающие ее изобретения имеют разные уровни. Наиболее высокий уровень имеет место в начале жизни системы, ведь все начинается с пионерной идеи, когда создаются изобретения, нацеленные на принципиальные изменения в структуре объекта. Затем уровень снижается, так как пионерная идея дополняется большим количеством идей более низкого уровня. Новый всплеск уровня изобретений появляется в период бурного развития ТС, перехода к серийному производству и дальнейшему совершенствованию всех входящих в нее подсистем.

Оценивая эффективность ТС, можно отметить, что на начальном этапе она обычно имеет самую низкую эффективность, в большинстве случаев даже отрицательную, так как затраты на разработку и создание опытного или экспериментального образца превышают отдачу от него. Затем эффективность растет и достигает своего максимума при вхождении ТС в период приближения к своему «застою». Можно говорить, что к «застою» ТС в максимальной степени использовала все свои ресурсы.

Чем же полезен этот закон разработчику новой техники, кроме, конечно же, расширения его представлений о формах развития техносферы. Закон позволяет более уверенно прогнозировать развитие, как конкретной отрасли, так и конкретного объекта. Позволяет производителю вовремя начать разработку новой техники, новых услуг, чтобы не остаться в хвосте у своих конкурентов. Этому как раз и помогает построение S – образной кривой и сопутствующих кривых, а так же аналогичных зависимостей для смежных отраслей, обеспечивающих создание вашего продукта материалами и технологиями.

Лекция №5.

## Законы развития технических систем (продолжение).

### Закон повышения степени идеальности ТС.

Закон повышения степени идеальности технических систем гласит: *«Развитие ТС идет в направлении повышения идеальности»*.

Понятие «идеальность» в ТРИЗ имеет специфическое толкование, поэтому его следует рассмотреть более подробно.

В ТРИЗ принят функциональный подход: идеальной является такая система, которой нет, а ее функция выполняется. В стремлении к «идеалу» ТС должны ничего не весить, не занимать объема, не потреблять энергии и т. д., и при этом выполнять то, для чего они предназначены. «Идеальный» грузовик — самодвижущийся, ничего не весящий кузов. Чем грузовик больше, тем большую часть общей массы составляет перевозимый груз — отсюда стремление конструкторов создавать большегрузные автопоезда.

Транспортное средство, очень близкое к идеальному, существует на самом деле — это обычный плот. На время перемещения груза, т. е. бревен, он, как транспортное средство — есть, а затем, прибыв на место, исчезает, и остается один груз — бревна.

Повышение идеальности можно выразить подобием математической формулы, представляющей отношение группы полезных свойств к группе свойств, отражающих затраты на создание, эксплуатацию и утилизацию ТС.

$$\Delta И = \Delta (ПФ + К) / \Delta (ФР),$$

где

**ΔИ** – приращение идеальности;

**ПФ** - сумма полезных функций;

**К** - качества, свойства, параметры;

**ФР** - факторы расплаты за весь жизненный цикл, включая ликвидацию ТС и реинжиниринг.

Эта формула дает некоторое обобщенное представление о повышении идеальности. Изучение истории развития техники позволило выявить основные конкретные направления повышения степени идеальности существующих ТС, такие как:

увеличение числа полезных функций, выполняемых ТС; универсализация ТС, ведущая к повышению удельного веса функционирования системы, т. е. отношения числа функций, выполняемых системой, к массе, объему, стоимости и другим параметрам системы;



специализация ТС, ведущая к повышению удельных параметров, т. е. отношения полезного параметра (мощности, производительности, точности и т. д.) к вредному (потерям, помехам), конструктивному (массе, размеру) или стоимостному;

выявление и использование ранее не эксплуатировавшихся свойств, параметров или частей самой системы;

повышение степени согласования частей ТС между собой и с внешней средой без существенного изменения принципа действия системы;

повышение полноты частей ТС и вытеснение из нее человека как элемента этой системы;

переход к динамичным управляемым или самоуправляемым системам, способным при подготовке к работе или непосредственно в процессе функционирования изменяться для лучшего выполнения той или иной функции; очень часто этот переход осуществляется за счет изменения свойств материальных объектов системы; пути здесь могут быть разнообразны: их дробления, переход к все более глубинным структурам материи вплоть до замены веществ энергетическими полями, переход от полей плохо управляемых к хорошо управляемым и т.д.;

объединение систем с системами-донорами, способными передать основной системе, системе – реципиенту, то или иное положительное свойство.

Рассмотрим, как проявляется закон идеальности в системах магнитной записи и воспроизведения звука — магнитофонах. С момента своего появления в начале XX в. магнитофон претерпел поразительные изменения. От громадного ящика со сложной механикой и большим энергопотреблением он уменьшился до настольного или даже карманного прибора, работающего от батареек. Специальные записывающие устройства ныне могут даже размещаться в сережках, перстнях, часах и других малогабаритных предметах. В этом нашло отражение стремление конструкторов магнитофонов к уменьшению их массы, размеров, потребляемой мощности, т. е. стремление к идеальности. Увеличение числа полезных функций проявляется в возможности многократной записи информации и ее стирания, объединении с компьютером, с автоответчиком, генерации справочной непрерывной информации и т. д.

Еще один пример проявления закона идеальности в действии — развитие рельсов железнодорожного пути. Первые рельсы имели форму уголка, были короткими (порядка 2-3 м), литыми из чугуна. В 30 годы 19 в. появились грибовидные рельсы. Головка рельса не засорялась, но и они были короткими, что приводило к большому количеству стыков. Постепенно научились прокатывать рельсы из стали относительно большой длины (до 12,5 м к началу 20 века). К 60-м годам длина рельсов увеличилась на дорогах СССР до 25 м, а содержание углерода для обеспечения их прочности до 0.82%, затем освоили объемную закалку. Однако генеральной линией развития рельсов в настоящее время является сварка рельсов в бесстыковые плети, дальнейшее повышение содержания углерода, введение в рельсовую сталь микролегирующих добавок, удлинение проката исходных рельсов до 50-100 и более метров, повышение качества сварных стыков.

Закон повышения степени идеальности технических систем позволил сформулировать понятие об идеальном решении, идеальном конечном результате (ИКР) решения. Не случайно формулирование ИКР — один из важнейших инструментов ТРИЗ в целом и АРИЗ в частности. Ориентация на идеальность позволяет резко улучшить работу инженера (конструктора, проектировщика), выбрать среди множества направлений решение наиболее перспективное, так как хотя оно и недостижимо, но в непосредственной близости от него лежит область сильных изобретательских решений.

### **Закон вытеснения человека из технической системы:**

«В процессе развития технической системы происходит поэтапное вытеснение из нее человека».

Подавляющее число ТС неполно, и недостающие их части заменяются человеком. В своем развитии техника постепенно берет на себя те функции, которые выполняет человек, приближаясь к полным системам, т.е. действующим без его участия.

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. Проявление данного закона можно наблюдать в различных областях техники.

Например, в авиации широко используют такой “заместитель” человека, как автопилот; многие операции человека в металлообработке выполняют обрабатывающие центры, а при автоматизированной сборке - роботы и т. д.

В системе звукозаписи и воспроизведения вытеснение человека наглядно проявляется по мере совершенствования узла управления: вводятся автоматическая запись и воспроизведение информации, автоматическая установка уровня записи, автоматическая установка выдержки в фотоаппаратах и т.д. Особенно заметна эта тенденция в ПК, в которых многие функции выполняются программным путем при нажатии одно, максимум двух кнопок.

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, от технологий, рассчитанных 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.

На рис.5.1 приведена структура полной, т.е. не требующей участия человека, технической системы из книги «Поиск новых идей: от озарения к технологии» (авторы Г.С. Альтшуллер и др.). Эта структура 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).

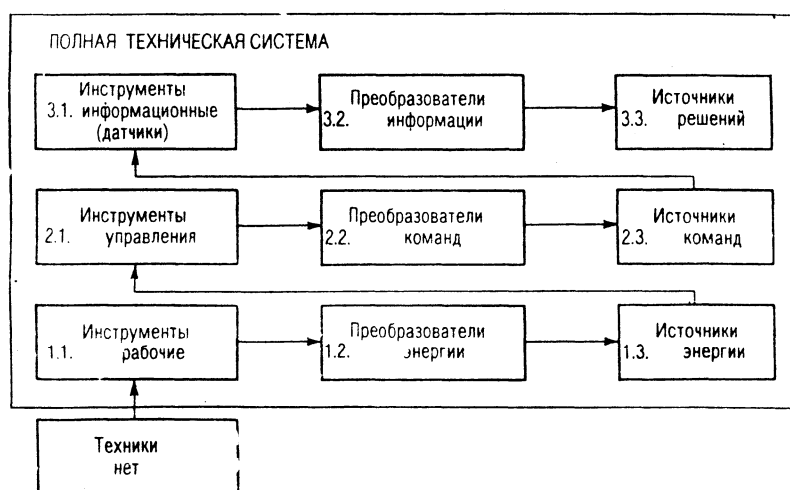


Рис.5.1.

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 начиналось с системного уровня, при котором 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 с более высоких уровней.

Вытеснение с исполнительского уровня сопровождалось следующими событиями: 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). Вытеснение с уровня управления сопровождалось появлением устройств управления механизмами: руль корабля, переход от балансирных планеров, в которых управление осуществлялось перемещением тела человека, к использованию воздушных рулей – элеронов (2.1). Далее наблюдается появление механизмов-преобразователей команд в системах управления, таких как сервомоторы, бустерные (усиливающие) устройства (2.2). Примеры источников команд – это копирные устройства токарных и фрезерных автоматов, простейшие автопилоты без обратных связей и логических схем (2.3). С уровня принятия решений вытеснение человека началось с появления датчиков, заменяющих органы чувств и позволяющих повысить точность получаемой информации, а также получать информацию, недоступную органам чувств человека (3.1). От простейших биноклей до электронных систем - вот примеры преобразователей информации (3.2). Появление систем оценки информации и принятия решений – это уже примеры 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 рассмотренных закономерностей позволяет вести работу по вытеснению человека из технической системы целенаправленно, избегая типичных ошибок, связанных с забеганием вперед, то есть не пытаться вытеснить человека с более высоких уровней, не обеспечив вытеснения на нижних уровнях. Например, нельзя проводить автоматизацию управления системы (3.3), в которой основными датчиками информации все еще остаются органы человека(3.1).

В развитии технических систем в соответствии с законами диалектики происходит чередование этапов количественного роста и качественных скачков. Отсюда «вытекает» следующий закон.

### **Закон неравномерности развития частей технической системы.**

Закон неравномерности развития частей технической системы формулируется следующим образом: «Развитие частей ТС идет неравномерно: чем сложнее система, тем неравномернее развитие ее частей».

Анализ работы любой реальной ТС обычно показывает, что ее отдельные узлы и блоки работают хорошо, другие - хуже, третьи, возможно, совсем плохо. Неодинаковость их работы часто вызывает несогласованность в работе всей системы в целом. Попытки усовершенствования отдельных частей системы часто вызывают “сопротивление” соседних подсистем, самой системы, ее надсистемы и окружающей среды. Это сопротивление может проявляться в различных требованиях, предъявляемых к усовершенствованной системе со стороны ее окружения, в том числе и среды. Например, требование повышения скоростей и грузоподъемности подвижного состава ведет к необходимости разработки как нового подвижного состава, так и железнодорожного пути. Это, в свою очередь, требует изменений в конструкции, повышения прочности их элементов, изменения формы, использования новых материалов и т.д.

Стремление конструкторов усовершенствовать один, плохо работающий узел или блок, приводит к тому, что происходит “скачок” в качестве работы именно этой подсистемы и опережение ее развития по отношению к остальным.

Следующим шагом является усовершенствование работы других блоков, при этом оказываются “в хвосте” третьи и т.д. Так происходит до тех пор, пока вся система в целом не исчерпает возможности своего совершенствования или не появится новая, более совершенная, работающая на ином принципе система.

В системе колесо-путь неравномерность развития проявилась, например, в том, что на определенном этапе твердость рельсов оказались выше твердости поверхности катания колеса. Это в свою очередь привело к повышенному износу колес и увеличению объемов их ремонта. В настоящее время ситуация начинает меняться, т.к. этой проблемой стали заниматься специалисты по подвижному составу и пути совместно.

Другой путейский пример. В середине пятидесятых годов 20 века были созданы железобетонные шпалы, которые должны были постепенно заменить деревянные шпалы. Их создание определялась тем, что деревянные шпалы имели очень маленький срок, и потому затраты на пропитку, замену гнилых шпал в пути требовало больших затрат. Однако при укладке железобетонных шпал в путь под поездами стали интенсивно возникать недопустимые по величине остаточные деформации, просадки. Возникло противоречие между потребностью в более долговечной конструкции и потребностью недопущения расходов на выправку пути. Это и привело к необходимости дальнейшей доработки конструкции ВСП с железобетонными шпалами.

Как видим неравномерность развития приводит к противоречиям. Если вспомнить курс философии, то можно вспомнить, что одним из основных законов диалектики является закон единства и борьбы противоположностей, который как раз и утверждает, что развитие всего в этом мире идет через преодоление противоречий.

Рассмотренные примеры позволяют сделать вывод, что закон неравномерного развития является реализацией закона единства и борьбы противоположностей в случае развития ТС.

В ТРИЗ разработана некоторая классификация видов противоречий. Они составляют свою иерархическую систему взаимосвязанных понятий, полезных при решении изобретательских задач. Рассмотрим эти понятия.

## **Виды противоречий в изобретательских задачах**

### **Административное противоречие.**

В самом факте возникновения задачи, и мы об этом уже упоминали ранее, присутствует противоречие: техническая система существует, но со временем перестала полностью или частично удовлетворять потребностям человека. Для того чтобы параметры функционирования системы улучшились, нужно что-то сделать, но что конкретно - неизвестно. Такая ситуация как раз и представляет собой административное противоречие. Для его выявления нет необходимости проводить какой-либо специальный анализ. Противоречие, как говорится, само лежит на поверхности.

Административному противоречию соответствует понятие «изобретательская ситуация». Эвристическая сила выявления наличия такого противоречия не слишком высока, поскольку остаётся совершенно непонятно, в каком направлении следует искать решение возникшей проблемы. Однако уже само осознание того факта, что для успешного продвижения вперед необходимо задуматься о возможных направлениях дальнейшего поиска, делает

формулирование административного противоречия необходимым. Уже на этой стадии размышлений по поводу поставленной проблемы инженер неизбежно формулирует свое первоначальное представление о технической системе, о ее связях с подсистемами и о взаимодействии с надсистемами, в рамках которых она функционирует.

Выбор направления решения проблемы, т. е. переход к конкретной задаче зачастую осуществляется простым перебором возможных вариантов; эффективность этого шага, впрочем, может быть несколько повышена, если в обсуждение проблемы будет вовлечён коллектив специалистов и использованы при этом обсуждении правила проведения мозгового штурма.

Для повышения эффективности выбора направления дальнейшего решения проблем в ТРИЗ сформулировано четкое правило перехода от изобретательской ситуации к задаче: каждая ситуация сначала должна быть переведена в мини-задачу по принципу: ***все остается без изменений, но исчезает тот отрицательный фактор, который сформулирован в ситуации, или появляется положительный фактор.*** Надо по возможности избежать существенных изменений в системе - такова идея этого правила.

Выбор направления может привести к необходимости решать в дальнейшем как творческие, так и шаблонные задачи. Последние решаются шаблонными, как правило, хорошо апробированными методами, для их решения используются известные подходы. Творческая же задача возникает только в том случае, если в основе изобретательской ситуации лежит техническое противоречие.

Пример. Главной заботой железнодорожных перевозок является увеличение объема перевозимых грузов и скорости их доставки. Это и есть административное противоречие, т.к. путей реализации этой проблемы может быть несколько, а приоритеты этих путей не очевидны. Это и разработка более грузоподъемных вагонов, новых локомотивов с повышенной силой тяги, увеличение длины поездов и их веса.

Но вот беда, увеличение нагрузок на оси вагонов приводит при традиционных методах решения подобных задач к увеличению веса тары (веса самого вагона), что неизбежно приведет к повышенному разрушению путейских конструкций и увеличению расходов на его содержание.

Увеличение длин поездов упирается в длину станционных путей, на которых формируются поезда. Возникают при этом проблемы и с тягой поездов. Надо «впрягать» в такие поезда несколько локомотивов. Делать это правильнее, расставляя локомотивы по длине поезда, а это требует синхронизации режимов их совместной работы. Иначе можно разорвать такой поезд. Возникают при этом проблемы и с подачей энергии поездам и управлением движения поездов на линии в целом.

Отметим так же, что административное противоречие может быть многослойным. Для хорошего представления о многообразии подпроблем в процессе формулирования проблемы как административного противоречия целесообразно построить диаграммы из причинно-следственных цепочек.

### **Техническое противоречие.**

*Техническое противоречие (ТП) - это ситуация, при которой улучшение одного свойства, одной части системы приводит к недопустимому ухудшению другого свойства, другой части системы, то есть «выигрыш в одном приводит к ухудшению в другом».*

**Решение творческой задачи есть преодоление технического противоречия.** Оно заключается в нахождении некоторого способа преобразования технической системы, причем такого, которое при минимальных изменениях в системе приводило бы к искомому результату без ухудшения её параметров.

В ряде случаев даже после выявления технического противоречия и использования предлагаемого ТРИЗ набора приёмов по устранению ТП решения задачи получить всё же не

удаётся. Это означает, что анализ условий задачи необходимо продолжить: выявить зону конфликта в рассматриваемой системе и сформулировать физическое противоречие, которое содержится в глубине технического противоречия, характеризующего эту зону.

Приведем пример ТП, вытекающий из рассмотренной выше проблемы. Повышение нагрузок на оси вагонов и скоростей движения поездов это хорошо, т.к. повышает провозную способность железных дорог. Но при этом долговечность рельсов, безопасность работы пути под поездами достаточно резко снижается, что может привести к авариям, потере груза, отказу производителя грузов от услуг железных дорог с переходом на перевозки другими видами транспорта, что для железных дорог как отрасли, мягко говоря, нежелательно.

Здесь, в частности, сталкиваются интересы перевозчика грузов и эксплуатационников конструкций, осуществляющих эти перевозки.

### **Физическое противоречие.**

Физическое противоречие (ФП) - это ситуация, в которой к физическому состоянию зоны конфликта предъявляются взаимно противоположные требования (например, в этой зоне объект должен быть и холодным – для того, чтобы выполнялось одно из условий успешной работы, - и горячим – для того, чтобы выполнялось другое, токопроводящим и диэлектрическим, тяжёлым и лёгким, и т. д.).

Физическое противоречие возникает, как правило, тогда, когда одна и та же часть системы (элемент, конструкция) входит как составная часть в две подсистемы разного назначения: противоречие потому и возникает, что каждая подсистема предъявляет к функционированию системы свои требования.

Какое именно ФП скрыто в глубине ТП - чаще всего неизвестно. Но если физическое противоречие выявлено, то проблема резко конкретизируется, превращаясь в более простую техническую или физическую задачу, решать которую можно обычными методами.

Продолжим использованный выше пример. Прочность и износостойкость рельсов можно увеличить их термической обработкой (закалкой). Однако закалка приводит к повышению хрупкости рельса. Возникает физическое противоречие: рельс должен быть твердым, чтобы хорошо сопротивляться возникновению усталостных трещин и износу, и рельс не должен быть твердым, чтобы хорошо сопротивляться выкрашиванию металла и хрупкому разрушению. Разрешить это противоречие можно разными изобретательскими путями: например, проводя дифференцированную закалку рельса, чтобы поверхностный, относительно тонкий слой головки рельса был твердым, износостойким, а остальная часть рельса менее твердой, вязкой. Или – отказаться от термической обработки, а направить свои усилия на легирование стали. Или искать пути поверхностного упрочнения поверхности катания рельса, оставляя остальной рельс вязким.

### **Закон развертывания – свертывания ТС:**

«Развитие ТС осуществляется путем развертывания (т.е. усложнения) за счет увеличения количества и качества выполняемых полезных функций и путем свертывания (упрощения) при сохранении или увеличении количества и качества выполняемых полезных функций».

Действительно, если мы проследим процесс “жизнедеятельности” любой ТС от ее “рождения” до “глубокой старости”, то легко можем наблюдать, что в начальный период любая ТС работает в своей минимальной функциональной структуре и содержит минимальное количество узлов, обеспечивающих выполнение требуемой функции. Этот набор минимального числа элементов системы, обеспечивающий ее работоспособность и функциональность, мы договорились называть **полнофункциональной ТС**. В дальнейшем происходит возрастание количества выполняемых функций, при этом увеличивается и количество входящих в ТС функциональных элементов. Система становится

многофункциональной. Процесс продолжается до определенного предела, пока не происходит объединение, свертывание некоторых взаимосвязанных блоков в новый самостоятельный узел.

Так, например, минимальная структурная схема персонального компьютера (ПК), включающая питание, процессор, оперативную память и жесткий диск, и программу вычислений на Бейсике с течением времени стала наращиваться дополнительными функциями. Стала возможной обработка текстовых файлов, рисунков, фото- и видеоматериалов, подключения внешних устройств и многое другое. Для удобства работы появились дополнительные устройств (гаджеты): мышка, устройства флешпамяти, видеокамеры и т.д. Все перечисленное невозможно эффективно использовать, если бы не были созданы операционные системы и подобные программные продукты.

В наиболее общем виде процесс развития можно представить как ряд последовательных событий (изобретений) на оси времени от момента возникновения ТС до сегодняшнего дня. Поскольку всякое изобретение является полезным, т.е. увеличивает главную полезную функцию (ГПФ) системы, то целесообразно совместить ось времени со шкалой роста ГПФ системы.

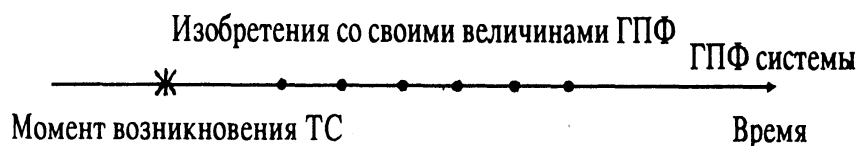


Рис.5.2.

Введем вторую ось - сложность ТС.

В самом общем виде закономерность развития ТС выглядит так. Начиная с момента своего возникновения, система увеличивает свою ГПФ за счет увеличения сложности. Она "обрастает" массой вспомогательных систем. Это период развертывания ТС (рис.5.3). Затем развитие ТС наталкивается на объективные ограничения роста сложности (физические, экономические, экологические...) и начинается период свертывания ТС. Внешне это выгладит как упрощение ТС. На самом деле, полезные функции, найденные на предыдущем этапе развития, начинают выполняться "умным" веществом (идеальным веществом). Идеальное вещество (ИВ) может поглотить в себя одну или несколько частей ТС.

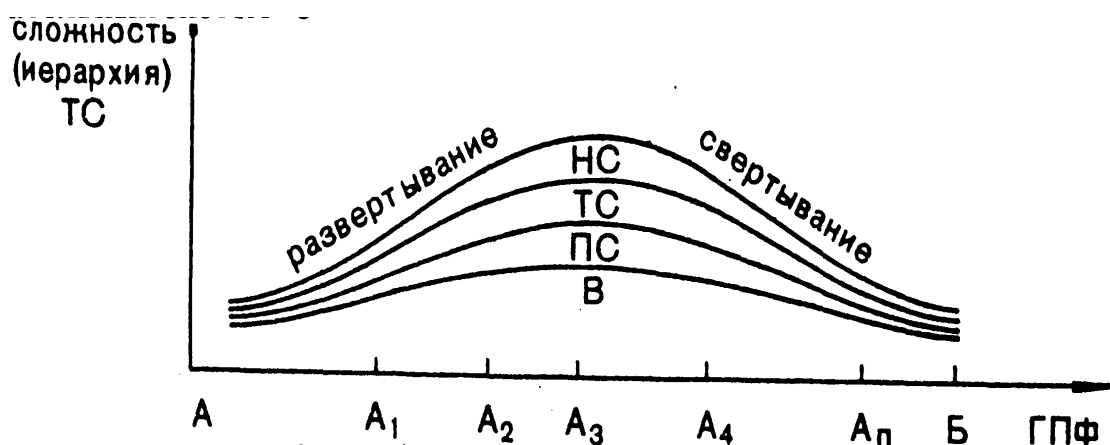


Рис.5.3.

Иногда процесс развертывания ТС заходит далеко - появляются гигантские сложные ТС. Пример: колесный трактор – 65 т, гусеничный трактор - 9000 т, котлоагрегат для Берловской ГРЭС высотой 117 м и весом 26 тыс.т. Или во время второй мировой войны немцы выпустили на поле боя партию танков весом 68 т каждый. Эти монстры были

неповоротливы. И уже в первом бою все они были подбиты нашими “тридцатьчетверками”. В головной машине сгорел сын конструктора этих “монстров” Ф.Порше.

Парадокс гигантизма техники в том, что конструкторы пытаются решить задачу увеличения ГПФ “в лоб”, путем увеличения мощности, расхода ресурсов и энергии, а не путем введения новых принципов и изобретательских решений. Такие ТС быстро наталкиваются на объективные ограничения.

После периода развертывания в принципе возможны три пути идеализации ТС (рис.5.4).

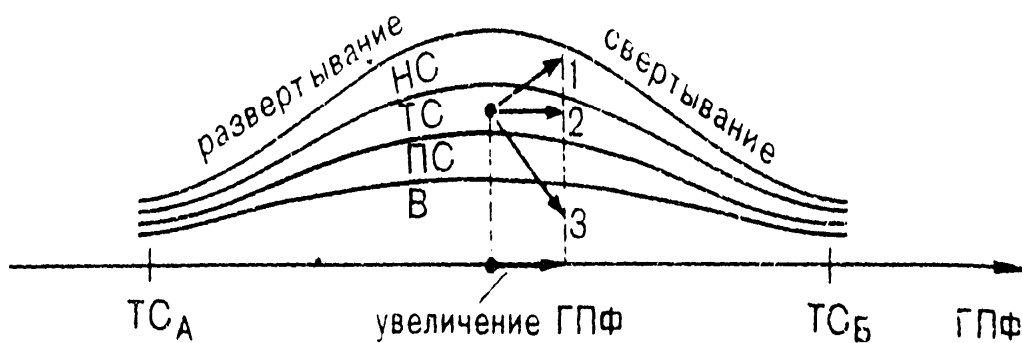


Рис.5.4.

Путь 1 - это увеличение ГПФ за счет передачи части функций в надсистему (НС), путь 2 - за счет дальнейшего развития подсистем, путь 3 - за счет выполнения части функций какой-либо ее подсистемой и далее веществом. Все три пути ведут к одному и тому же - к новой системе В, выполняющей ту же ГПФ, но имеющей меньшие массу, габариты, энергопотребление.

Самый короткий путь - это свертывание ТС в идеальное вещество В. Второй путь достаточно ясен - структура ТС почти не меняется, идет совершенствование всех подсистем.

Свертывание ТС в идеальное вещество начинается с совмещения функций: одна из подсистем начинает выполнять функцию соседней, которая исчезает за ненадобностью; одно из веществ принимает на себя выполнение функций другого вещества, и это второе вещество исключается из ТС.

Два примера совмещения функций на уровне подсистем.

Фары автомобиля установлены так, чтобы освещать путь впереди машины. Из соображений безопасности неплохо было бы иметь еще одну фару, которая светила бы несколько вверх и вбок, освещая дорожные знаки, стоящие на обочине. В патенте Великобритании №1486587 предложено совместить обе функции в одной фаре. Для этого на внутренней стороне стекла фары делается выступ в виде призмы. Призма рассчитана так, что при переключении на ближний свет часть пучка света от фары отклоняется вбок и вверх, освещая дорожные знаки на расстоянии 25 м от автомобиля.

Разработан зонтик с вентилятором. Последний приводится в действие от небольшого электродвигателя, питаемого током солнечной батареи, выполненной в виде купола зонтика. Здесь одна из подсистем выполняет функцию другой.

А вот примеры на совмещение функций двух веществ в одном.

В электронагревательных устройствах есть спираль и элемент, который нужно нагреть. В авторском свидетельстве № 1273221 предложено нагревать непосредственно жало паяльника, которое выполнено из материала с высоким омическим сопротивлением.

В польском патенте №106109 предложен утюг, в котором нагревательный элемент выполнен в виде тонкого полупроводникового слоя окислов металлов, нанесенных на внутреннюю поверхность стеклянной подошвы утюга.



В электронных часах функция динамика передается защитному стеклу, выполненному из пьезокерамики.

Идеализация вещества не останавливается на “захвате” функции соседнего вещества и исключении его из системы. Самое интересное начинается потом: развиваясь, вещество начинает выполнять функцию одной из подсистем, затем нескольких подсистем и, наконец, всей технической системы.

#### Примеры на свертывание подсистем в идеальное вещество.

Посадочные огни на полосах аэродромов должны быть абсолютно надежными. Идеальный огонь - “светлячок” изобретен в США: стеклянная трубка покрыта изнутри люминофором, а в центр ее вставляется ампула с радиоактивным изотопом водорода - тритием (период полураспада чуть больше 12 лет). Два идеальных вещества (люминофор и тритий) “поглотили” в себя все подсистемы.

Устанавливаемые в радиаторах охлаждения двигателей автомобилей вентиляторы должны работать тем производительней, чем выше температура окружающего воздуха. В Англии разработан вентилятор, у которого при изменении температуры лопасти сами, без специальной автоматики, меняют угол установки, а значит, и подачи воздуха. Угол установки лопастей меняется с помощью трех колец из пластмассы с высоким коэффициентом линейного расширения.

Таким образом, совершенствуя техническую систему, разработчик должен стремиться к передаче функций от одних ее элементов другим.

По мере углубления наших знаний об окружающем мире становится все более очевидным, что дальнейший научно-технический прогресс должен идти не “вширь”, а “вглубь”, т. е. таким образом, чтобы в ходе развития ТС происходило не наращивание потребляемой ими энергии, а, наоборот, ее уменьшение. В частности, это означает стремление ТС к предельной микроминиатюризации, к построению их непосредственно из атомов и молекул.

Наглядным примером такой тенденции является микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры. В качестве примера можно привести нанотехнологию технических процессов атомной сборки, когда вместо процесса изготовления изделия, включающего выплавку металла, “вырезание” из него деталей определенной формы и их последующую сборку, предлагается использовать цепочку: атомы - молекулы - агрегаты - молекул - микродетали - изделие. С этим законом тесно связаны следующие законы.

#### **Закон повышения динамичности и управляемости технических систем гласит:**

«Развитие ТС идет в направлении повышения динамичности и управляемости, как отдельных частей, так и всей системы в целом».

Под термином “динамичность” будем понимать качество, характеризующее способность ТС или входящих в нее подсистем проявлять изменчивость в процессе эксплуатации.

Каждая система взаимодействует как с соседними системами, так и с окружающей ее средой. Оптимальной для любой системы является ситуация, когда на любом этапе своего функционирования она оказывается способной адаптироваться к окружающим условиям так, чтобы затраты, сопровождающие ее работу, были минимальны.

В соответствии с этим законом развитие ТС происходит по следующим направлениям:

- от систем с постоянными параметрами к системам с параметрами, изменяющимися при изменении режимов работы, что обеспечивает оптимальность функционирования системы (в качестве примера можно привести магнитофон с разными скоростями движения ленты или тот же токарный станок, имеющий несколько скоростей вращения);

- от узкофункциональных систем, предназначенных для выполнения конкретной операции, к широкофункциональным, в том числе к системам со сменными органами (пылесос со сменными насадками, миксер, кондитерский шприц и т.д.);

- от систем с автономным принципом работы, при котором выполнение функции задано внутренним устройством системы, к системам с программным принципом работы (от станков с управляющими кулачками к станкам с числовым программным управлением);

– от систем жестких, статичных к системам с повышенным числом степеней свободы, с гибкими, эластичными исполнительными элементами и далее к системам с изменяемыми связями между элементами с заменой вещественных связей полевыми (например, при создании захватов промышленных роботов конструкторы стремятся не только увеличить число степеней свободы, но и сделать сами захваты из гибких, эластичных материалов, меняющихся под действием поля);

– от неуправляемых систем к управляемым, в том числе самоуправляемым за счет обратных связей (различные автопилоты и т. д.);

– от систем со статической устойчивостью к системам, устойчивым динамически за счет непрерывного движения.

Например, трехколесный велосипед обладает статической устойчивостью, а двухколесный – динамической.

Другие примеры. Гироскопы, сохраняющие неизменным направление оси вращения; катера на подводных крыльях, способные подниматься над водой только в процессе движения.

### **Закон перехода технических систем на микроуровень и преимущественного использования полей гласит:**

“Развитие ТС идет в направлении перехода отдельных систем или частей с макроуровня на микроуровень, с последующим использованием полей”, т.е. развитие ТС идет в направлении большей дисперсности составляющих ее элементов, в направлении применения полевого воздействия на входящие в систему элементы.

В технике до сих пор преобладают системы, рабочие органы которых имеют макроразмеры. Но с какого-то момента эффективное решение задач требует перехода на микроуровень. Рабочими частицами становятся молекулы, атомы, ионы, электроны и т.д., управляемые полями. Схематично переход на микроуровень отражен на рис.5.5.

Пример: в погоне за грузоподъемностью на закате поршневого эры самолёты снабжались шестью, двенадцатью и более моторами. Затем рабочий орган - винт - всё же перешел на микроуровень, став газовой струей.

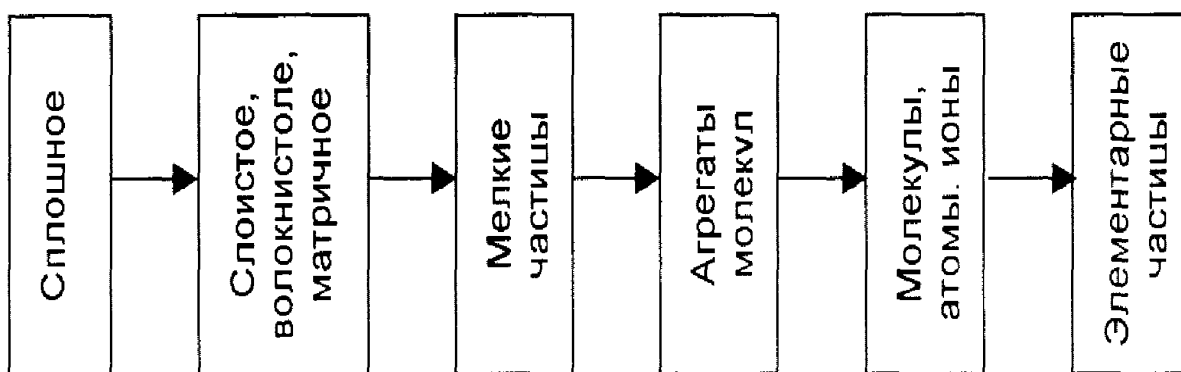


Рис.5.5.

Использование глубинных уровней строения материи и различных полей дает возможность при совершенствовании технических систем отказаться от механической передачи энергии. Так, например, стоит отказаться в динамо-машине, устанавливаемой на велосипеде, от механического принципа работы, и конструкция преобразуется. Достаточно разместить по ободу колеса постоянные магниты; а на вилке велосипеда - катушку, и в устройстве не будет ни одной механически соприкасающейся (изнашивающейся) части, механические потери практически отсутствуют. А “по совместительству” подобное устройство может работать и как спидометр! Достаточно установить между камерой и

покрышкой небольшой магнит, а у колеса катушку, соединенную через выпрямитель с измерительным прибором.

Таким образом, основываясь на законе перехода “от макро” к “микро”, можно уверенно прогнозировать развитие технической системы.

Следует отметить, что переход на микроуровень характерен не только для веществ, используемых в технической системе, но и пустоты. При этом нужно учитывать, что когда говорят о применении пустоты, имеют в виду не обязательно вакуум, а скорее о появлении неоднородностей в веществе, о полостях, заполненных другими, менее плотными веществами и т.д. Так, можно считать пустотой жидкостные и газовые включения в твердом теле, пузырьки газа (пара) в жидкости и т. п. При этом увеличение степени дробления вещества с пустотой происходит по цепочке, представленной на рис.5.6.

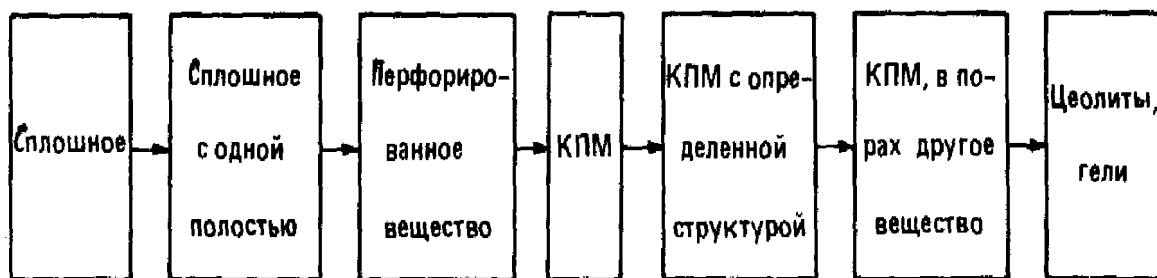


Рис. 5.6

Пример. Эволюция вещества автомобильных шин: шина из сплошного вещества, шина с воздушной полостью (камерой), многокамерная шина (полость разделена перегородками), микропористые шины, шины из капиллярно-пористых материалов (КПП), шины, заполненные пористыми полимерными частицами и гелеобразным веществом (патент РФ 908243).

### Закон перехода технической системы в надсистему.

Из этого закона следует: «Развитие ТС, достигшей своего предела, может быть продолжено на уровне надсистемы».

Чаще всего в современной истории техники при стихийном (неуправляемом ее развитии) этот момент наступает тогда, когда система или ее отдельные части исчерпали все свои возможности и ресурсы для дальнейшего развития на существующем уровне. С переходом на следующий уровень развитие продолжается уже в надсистеме.

Переход в надсистему может осуществляться следующими основными путями:

– 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;

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

Примеры **бисистемы**: ножницы, очки, катамаран, бинокль; полисистемы: веник, плот, кольчуга, забор, канат, многолезвийные брешующие головки «жилет».

– создание надсистемы из элементов (подсистем) со сдвинутыми (то есть близкими, но неодинаковыми) характеристиками.

Примеры: набор шоколадных конфет с разной начинкой, шампунь и бальзам - ополаскиватель в одном флаконе, набор теней, светофор, 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, ёлочная гирлянда и т. д.;

– создание надсистемы из альтернативных (конкурирующих) систем. В тех случаях, когда для выполнения той или иной функции, достижения той или иной цели имеется несколько различных систем и возможности каждой из них практически исчерпаны, дальнейшее развитие возможно объединением систем разных типов.

Примеры: мопед (велосипед и мотоцикл), парусно-моторная яхта, моющий пылесос, 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;

– 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: кондиционер-объединение нагревателя с холодильником, молоток-гвоздодер. 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.

Мы рассмотрели известные к настоящему времени законы развития технических систем и некоторые формы их проявления. Выделение отдельных, изолированных друг от друга законов развития ТС, вообще-то говоря, является некоторым упрощением. На самом деле законы действуют совместно (системно), и их действие надо рассматривать в совокупности. Следствия одного закона нередко переплетаются со следствиями другого, поскольку речь идет об одной и той же общей закономерности, но рассмотренной с разных сторон. Однако рассмотрение ТС в виде отдельных линий развития, каждая из которых представляет некоторую, внутренне не противоречивую закономерность часто значительно упрощает анализ ТС.

Возникает вопрос, можно ли ЗРТС использовать в качестве инструмента решения изобретательских задач? Что можно порекомендовать в этом случае?

Если перед Вами стоит задача по улучшению показателей системы, повышению ее идеальности, то задайтесь для начала следующим набором контрольных вопросов:

- *что изменилось во внешней среде в последнее время, в части, связанной с рассматриваемой системой;*
- *нельзя ли улучшить проход энергии в системе, уменьшить потери энергии при ее передаче от источника к рабочему органу;*
- *нельзя ли уменьшить в системе набор видов энергии, уменьшить число преобразователей энергии, использовать источники даровой энергии, утилизировать отходы энергии или вещества;*
- *что можно сделать, чтобы повысить согласование между частями системы по их расположению в пространстве, за счет изменения формы, особенно в контактных зонах, повысить согласованность ритмики отдельных частей системы или системы с внешней средой;*
- *нельзя ли для реализации предыдущего пункта увеличить упругость связей, ввести шарниры, ввести дополнительные объекты и связи, чтобы увеличить число степеней свободы системы, раздробить вещественные элементы, увеличив тем самым число степеней свободы, заменить вещества связей на связи с использованием физических полей;*
- *возможно ли для повышения мощности, прочности, устойчивости системы положения предыдущего пункта сделать наоборот;*
- *возможно ли устранить человека из ряда операций;*

- *что можно уменьшить по габаритным соображениям, облегчить, изменив материал, размер, взаимное расположение или форму.*

Зная рассмотренный нами набор законов, можно, наверняка, этот перечень дополнить рядом полезных контрольных вопросов.

Хотя приведенный перечень контрольных вопросов достаточно ограничен, что само по себе хорошо с точки зрения сохранения его в памяти, он при систематическом использовании может оказаться и весьма эффективным для быстрой выработки направлений решения задачи.

Лекция №6.

## ЯЗЫК ОПИСАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### Введение.

Для описания технической системы, составления модели задачи и поиска способов её преобразования в ТРИЗ используется собственный язык, основанный на анализе структур, называемых далее **вепöлями**. Что же этот язык из себя представляет?

Как мы уже говорили, в основе изобретательской задачи всегда лежит техническое противоречие, возникающее между отдельными элементами системы. Согласно ТРИЗ, для успешного поиска решения такой задачи необходимо перейти от изобретательской ситуации (связанной с формулировкой административного противоречия) к модели задачи, в рамках которой, собственно, и будет производиться поиск ТП. Надо сказать, что замена обобщённой ситуации конкретной моделью характерна для всей человеческой деятельности. Это касается обычных учебных задач, которые приходится решать в школе и университете на занятиях по экономическим дисциплинам, математике, физике. Вспомните, хотя бы стандартные задачи в механике о падении камня с некоторой высоты, при рассмотрении которых мы пренебрегаем выталкивающей силой воздуха и его сопротивлением. Это же в равной мере относится и к научным задачам и задачам, с которыми мы встречаемся в обыденной жизни. Пренебрегая каждый раз факторами, которые нам кажутся несущественными, мы составляем некий жизненный план, алгоритм своего действий, следуя которым и попытаемся решить возникшие проблемы.

Таким образом, уточнение изобретательской ситуации, когда мы вовлекаем в рассмотрение лишь необходимый (как это представляется нам) круг элементов, - вполне естественный шаг на пути поиска решения.

Но это не всё. Последующий анализ задачи показывает, что в конфликт, который служит основой ТП, каждый раз вовлечено весьма ограниченное число элементов. В простейшем случае их всего два. Так, например, в сложной системе «токарный станок» конфликт может возникнуть между резцом и обрабатываемой деталью. Деталь нужно обработать, но она слишком тверда для резца. Или, в сложной системе «грузовой железнодорожный состав» конфликт часто возникает между колесом локомотива и рельсом. Колесо должно «тянуть» поезд вперёд, а рельс не обеспечивает нужного сцепления, начинается проскальзывание колеса, потеря тяги.

Сказанное выше делает целесообразным переход от самой задачи к её модели. В модель задачи всегда должны входить два элемента: «изделие» - так называется то, что по условиям

задачи обрабатывают, измеряют, перемещают и т. д., и «инструмент» – часть системы, которая конфликтует с изделием, при попытке преобразовать его.

Как изделие, так и инструмент – элементы вещественные, взаимодействие между ними осуществляется в виде потоков энергии, полей.

Вместе инструмент (далее мы его будем обозначать символом  $B_1$ ), изделие ( $B_2$ ) и поле ( $\Pi$ ) образуют минимальную модель технической системы, которая в ТРИЗ и называется **вепóлем** (от слов вещество – поле).

Оговоримся сразу, что особенностью используемой терминологии является то, что в ТРИЗ под полями понимаются не только те поля, о которых принято говорить в физике (гравитационное, электромагнитное, поле ядерных и поле слабых сил), но и вообще любые взаимодействия между объектами системы, всякое воздействие одного объекта на другой. Для удобства запоминания перечня полей, наиболее часто используемых **в изобретательской практике**, часто используется аббревиатура **МАТХЭМ**.

Здесь:

**М** - механическое поле, связанное с использованием силы тяжести (гравитации), силы упругости, центробежной силы, силы трения, давления струи газа или жидкости, силы Архимеда, энергии ветра и энергии движущихся потоков воды (рек, морей, океанов);

**А** - акустическое поле, обозначающее воздействие, создаваемое звуковыми, ультразвуковыми и инфразвуковыми колебаниями (в том числе и при природных явлениях);

**Т** - тепловое поле, включая тепло подземных слоев, гейзеров, солнечного излучения и других природных источников тепла;

**Х** - химическое воздействие на вещества (включая запаховое);

**Э** - электростатическое поле;

**М** - электромагнитное поле: поле Земли, поля постоянных и переменных магнитов, ферромагнитных веществ, электромагнитное действие движущихся токов, свет, электромагнитные колебания низких частот, радиоволны, волны УВЧ и СВЧ - диапазонов.

При рассмотрении систем в задачах социальной направленности в качестве поля рассматриваются **психологические, этические, эстетические, юридические и другие межличностные и межгрупповые взаимодействия**.

Термин «вещество» в ТРИЗ также понимается достаточно широко: «веществами» могут считаться любые материальные тела (кирпич и дом, атом и галактика и т.д.).

К веществам, наиболее часто используемым в изобретательской практике, относятся:

- быстротвердеющие
- легко испаряемые (газотворные)
- взрывчатые
- обладающие эффектом памяти формы;
- пузырьки
- изменяющие свои свойства при нагреве
- пустота
- люминофоры
- легко плавящиеся
- пенообразные, пористые, капиллярно-пористые
- легко разрушаемые
- сильно пахнущие
- легкорастворимые
- сыпучие и порошкообразные
- легкосгораемые
- ферромагнитные
- липкие
- фоточувствительные

- вступающие в экзо - и эндотермические реакции

## Вепольный анализ

Эта тема посвящена изучению нового инструмента ТРИЗ - вепольного анализа. В ряде предшествующих лекций уже неоднократно говорилось о разных видах моделей. Это вполне объяснимо, так как операции, которые сложно или невозможно провести с реальными системами, легко проводить с моделью, а полученные результаты перенести с учетом соблюдения всех условий на реальные системы.

Отражая правильно некоторые существенные для исследования качества объекта, модель не имеет других его качеств, второстепенных для избранного подхода. После формулирования модели в ней можно проводить необходимые те или иные преобразования и исследования, а полученные при этом результаты переносить на реальный объект.

Вепольный анализ как раз и занимается описанием, исследованием и преобразованием структурных моделей технических и иных по своей «физической» природе систем. Используя по сути всего три понятия: вещество, поле и взаимодействие, в рамках вепольной модели мы получаем достаточно ясную картину конфликта. Формализованных способов записи вепольной модели позволяет отнести ее к некоторому классу задач и использовать для поиска ее решения ряд сильных приемов. Чтобы лучше разобраться, о чем пойдет речь, начнем с небольшого практического задания.

Рассмотрим три примера из разных областей техники. Попытаемся определить, что в них общего. При этом полезно помнить, что мы занимаемся именно структурными моделями.

Итак, примеры:

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

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

Для микродозирования жидких лекарств нагревают воздух в полости пипетки, который вытесняет жидкость.

Во всех трех примерах есть изделие, то есть то, что подвергают воздействию: обрабатывают, измеряют, перемещают. Есть то, что осуществляет это воздействие, то есть инструмент. Ну и, наконец, есть взаимодействие между ними. Изделие и инструмент - это элементы вещественные. Вещества в дальнейшем будем обозначать буквой В. Взаимодействие между ними осуществляется в виде потока энергии (поля), обозначаемого буквой П с индексом, соответствующим природе поля. Достаточно очевидно, что вещества взаимодействуют посредством полей, а поля проявляют себя посредством веществ. Запишем структурную модель наших примеров, используя понятия, о которых мы сейчас говорили.

Итак, нам дано вещество - изделие. Это порошок, винт, жидкость. Во всех случаях выполняется их перемещение. Во всех трех случаях оно выполняется воздействием теплового поля на инструмент (корпус, тяговые стержни, воздух). У нас получилась структура, общая для всех трех задач (рис.6.1.):

В общем случае вместо теплового может быть любое поле.



Рис.6.1.

В этом примере мы имеем систему: изделие, инструмент и взаимодействие, необходимое для воздействия изделия на инструмент. Стоит нам изъять хотя бы один элемент, и наша совокупность потеряет свойства системы. Такие минимальные модели систем, как говорилось выше, получили название "веполь" от соединения первых слогов слов "вещество" и "поле".

Во введении к этой лекции мы уже оговорились, что понятия «вещество» и «поле» имеют в вепольном анализе широкий смысл. Это не только поля и вещества в строго физическом понимании. Веществами могут быть любые материальные тела: атом, молекула, гвоздь, автомобиль, планета. Поля тоже могут быть для удобства изобретателей не обязательно физическими. Например, если мы будем описывать систему молоток - гвоздь, то при забивании гвоздя молоток будет взаимодействовать с гвоздем посредством механического поля. Если же Ваша знакомая или знакомый устраивает вам скандал, то в системе «вы - она (он)» инструмент (она или он) будет воздействовать на Вас. Вы в этом случае выступаете в качестве изделия посредством акустического (крик), информационного (обвинения), визуального (жесты) и, возможно, даже механического поля (.....).

Как принято записывать вепольные формулы? Вещество обычно записывают в строчку, поле на входе - над строчкой, поле на выходе - под строчкой. Веполь иногда обозначают, когда нет необходимости его конкретизировать, в виде треугольника. Такую форму записи используют, пока в ходе задачи не конкретизированы взаимосвязи в веполе.

Чаще всего для графического изображения веполей применяются условные обозначения, приведенные ниже.

Условные обозначения:

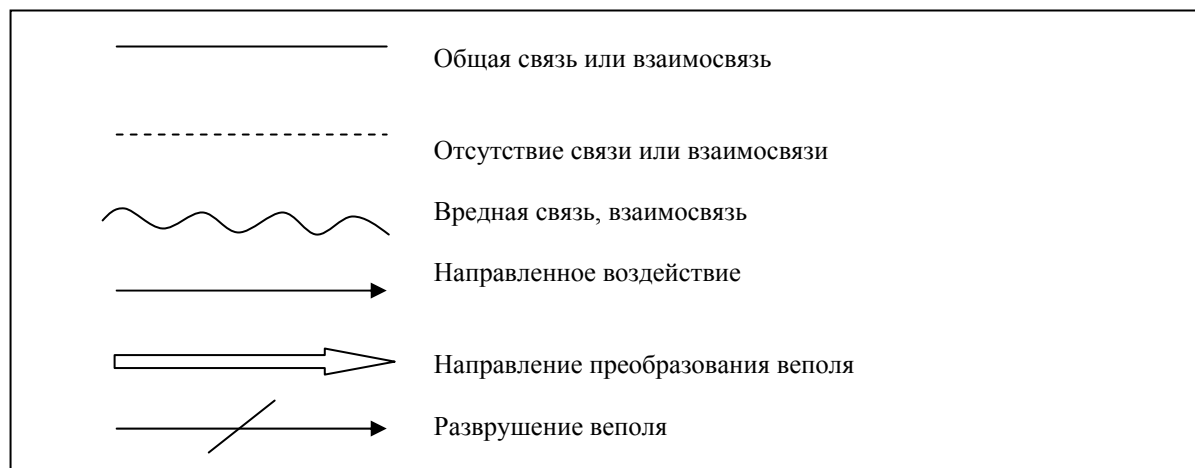


Рис.6.2.

Общая форма записи веполя:

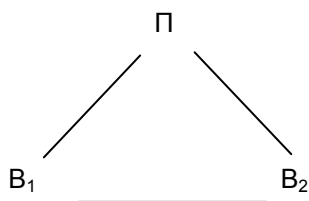


Рис.6.3.



В конкретных технических системах для обозначения природы веществ и полей используют индексы в виде сокращений типа:  $P_{\text{маг}}$  - магнитное поле,  $V_{\text{тв}}$  - твердое вещество,  $P_{\text{макс}}$  - максимальное значение поля и так далее. Для упражнения запишем в вепольной форме такой пример:

Человек берет со стола кусок мела. Как будет выглядеть запись вепольной формулы этого действия? Изобразим его (рис.6.4.)

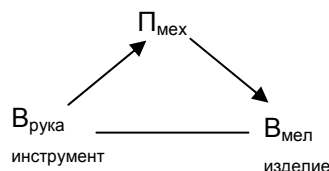


Рис.6.4.

Итак, уже понятно, что, записывая условия задачи в вепольной форме, мы отбрасываем все несущественное, выделяя суть, то есть строим модель задачи.

Вепольная запись позволяет выявлять причины возникновения задачи, "болезни" технической системы, например, недостроенность веполя. Поэтому можно говорить, что вепольный анализ - это не просто удобная символика для записи, но и инструмент для проникновения в сущность задачи, для отыскания наиболее эффективных путей преобразования технических систем.

Вепольное преобразование подсказывает изобретателю, что именно необходимо ввести в систему для решения задачи или как надо ее изменить, но не конкретизирует, какое именно вещество или поле вам нужно. Для получения технического ответа нужно подобрать подходящие вещества и поля. При этом, как правило, целесообразно начинать перебор с полей, так как их существенно меньше, чем веществ. Каждое поле связано со своими веществами, и здесь как раз должна подключаться та информация, которую решающий задачу получает, изучая ресурсы системы.

В вепольном анализе есть определенные правила, и сейчас мы рассмотрим некоторые из них.

Первая группа правил относится к синтезу веполя или к достройке его. Раз прозвучало слово "достройка", значит, до этого в веполе чего-то не хватало. И действительно, есть ряд задач, в которых при попытке построения веполя обнаруживается, что в вепольной схеме не хватает вещества или поля или того и другого. Тогда становится сразу ясно: неполные вепольные системы (один или два элемента) должны быть достроены до полного веполя.

Например, необходимо выгладить брюки, но, как назло, нет утюга. Что делать?

Мы имеем лишь одно вещество - брюки, то есть неполный веполь. Достаиваем его до полного, то есть до двух веществ и поля.

$V_1$  у нас - брюки. Осталось определить  $V_2$  и  $P$ . Можно предложить ряд вариантов:  $P$  - поле давления,  $V_2$  - пальцы или дощечки, прищепка или, например,  $V_2$  - человек (класть брюки под матрас, где под действием веса тела они расправятся). Другой вариант:  $P$  - тепловое поле.  $V_2$  - любой металлический предмет с участком ровной поверхности, например сковородка, обернутая бумагой.

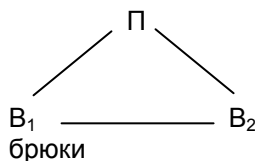


Рис.6.5.

Правило второе. При необходимости в вещество вводят добавки, легкоуправляемые, с нужными свойствами, с образованием комплексного веполя, то есть веполя, где  $V_1$  или  $V_2$  представляют собой комплекс нескольких веществ. При этом добавку вводят внутрь вещества или снаружи, если введение внутрь запрещено условиями.

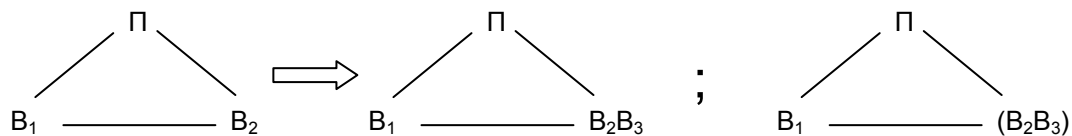


Рис.6.6.

Записано это будет таким образом (рис.6.6.).

Скобками показана внутренняя комплексная связь, без скобок – внешняя.

Пример. При реконструкции спичечной фабрики поставили высокопроизводительное оборудование, но все портила заключительная операция - укладка спичек в коробки. Старые машины не справлялись с возросшими объемами, кроме того, они были "слепыми" - укладывали в коробки спички без головок, то есть брак, ошибались в количестве спичек. Решили от них отказаться. Был нужен новый способ безошибочной укладки спичек.

Итак, есть спички - это  $V_1$ . У нас есть неведомая система. Сразу же достраиваем ее до **полного веполя**. Направления стрелок проставим потом, пока запись делаем в общем виде.

Мы перешли от неуправляемой системы (точнее, от несистемы) к системе взаимодействующих элементов. Теперь мы точно знаем, что нам нужны второй элемент  $V_2$  и поле, делающие систему легкоуправляемой.

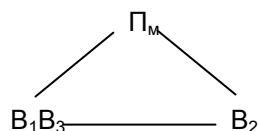


Рис.6.7.

В качестве вещества  $V_3$  использовали небольшую дозу ферропорошка, подмешивая его к зажигательному составу, сделали головку каждой спички чуть-чуть магнитной. Далее понятно, какое поле использовали в этой системе. И наш веполь стал выглядеть так:  $V_1$  - вещество головки спички,  $V_2$  - магнит,  $V_3$  - ферропорошок.

В примерах, которые приводились в начале лекции о сжатии порошка, о гребных винтах, первоначально мы тоже имели неполную схему, которая потом была достроена до полной и легко управляемой посредством теплового поля. Для чего использовано слово "первоначально"? Дело в том, что в примерах мы уже встретились с полными системами и решенными задачами. Что, конечно, было не так на этапе появления данных задач.

Познакомимся с классом задач, не менее распространенных, чем синтез веполя. Этот класс называется "задачи на разрушение **вредного веполя**".

Правило первое: если между двумя веществами в веполе возникают сопряженные - полезное и вредное действия, причем непосредственное соприкосновение веществ сохранять не обязательно, то задачу решают введением между двумя веществами третьего, "дарового" или достаточно дешевого.

Пример. Соседский кот часто залезает на столб, где находится скворечник, со всеми вытекающими отсюда для птиц последствиями. Что делать?

У нас здесь явно есть полный веполю, причем веполю вредный. Кот вонзает свои когти  $V_1$  в дерево  $V_2$  и при участии механического поля  $\Pi_{\text{мех}}$  легко (или не очень) поднимается к скворечнику. Вводим третье вещество - например кусок жести, обернутый вокруг столба на высоте, большей, чем  $V_1$  когти,  $V_2$  дерево,  $\Pi$  - механическое поле.

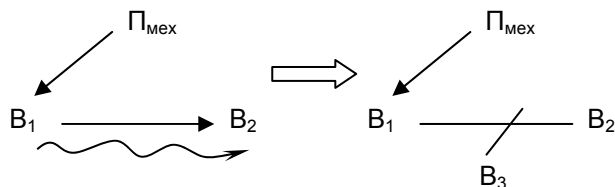


Рис.6.8.

Здесь опять возникает вопрос, что делать, если нельзя применить первое правило, то есть использовать посторонние вещества.

Правило второе: если использование посторонних веществ запрещено или нецелесообразно, то задачу решают введением между двумя веществами третьего вещества, являющегося видоизменением первого или второго.

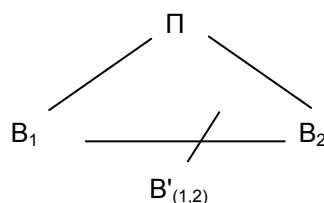


Рис.6.9.

Смысл этого эффективного способа разрушения веполю в том, что он позволяет устранить сильное противоречие: третье вещество надо вводить, чтобы нейтрализовать вредную связь, и нельзя вводить, чтобы в системе не было посторонних примесей.

Правило третье - в отличие от правил 1 и 2 непосредственное соприкосновение веществ должно быть сохранено. Для этого вводят второе поле, нейтрализующее вредное воздействие или превращающее его во второе полезное действие.

Четвертое правило разрушения вредного веполю.

Если в веполе необходимо устранить вредное действие поля на вещество, то вводят третье вещество, оттягивающее на себя вредное действие поля.

Например, для защиты емкости с водой от разрыва при замораживании в них вводят эластичные вставки, заполненные воздухом, например, мячик. Здесь третье вещество принимает на себя давление расширяющейся при замерзании воды, и емкость остается целой.

Первый бронебойный снаряд отличался от обычного тем, что имел наконечник из специальной твердой стали, которая по прочности превосходила броню. Наконечник передавал механическую энергию броне, и она разрушалась. Но вот появилась броня с высокозакаленным поверхностным слоем. Наконечник соскальзывал с нее и рикошетил. Возник вопрос, как удержать снаряд от соскальзывания. Отражающий такое взаимодействие веполь не обеспечивал эту функцию. Выход был найден, его можно представить как перевод веполя в цепной.

Наконечник надо было соединить с каким-то другим веществом, которое бы использовало то же самое механическое поле, но уже для удержания самого снаряда в момент удара.

Адмирал Макаров предложил такой бронебойный снаряд, который "прилипал" к броне. Сердечник снаряда, как и раньше, выполнялся из высокопрочной стали, но имел снаружи рубашку из мягкого материала. В момент удара рубашка снималась с наконечника,

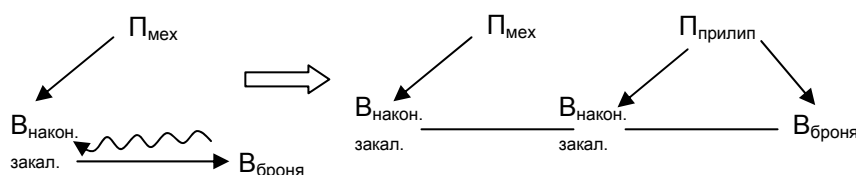


Рис.6.10.

превращалась в комок и прилипла к броне. Наконечник уже не мог сойти в сторону, так как со всех сторон был окружен материалом рубашки, и вся его кинетическая энергия передавалась через острие к броне.

А теперь познакомимся с **измерительным веполем**.

При решении задач, в которых требуется не изменять характеристику системы, а получить информацию о ее состоянии, измерить, оценить количественно то или иное свойство, строится специализированный "измерительный" веполь, отражающий введение того или иного вещества, связанного с каким-то легко обнаружимым или поддающимся обнаружению полем.

Другой вариант – вводится вещество, являющееся преобразователем плохо обнаруживаемого поля в легко обнаруживаемое поле. Вепольные формулы, характерные для решения таких задач, в общем виде выглядят так:



Рис.6.11.

Пример. Развивающаяся под нагрузкой трещина в конструкции "шумит", то есть издает слабые акустические сигналы, услышать которые нельзя. А прослушивать их надо, чтобы правильно прогнозировать опасность той или иной трещины. В таких случаях используют пьезодатчики, преобразующие слабые акустические сигналы в сигналы электрические, легко наблюдаемые по осциллографу.

Подведем некоторые итоги.

Вепольный анализ выполняет две важные функции. Во-первых, это своеобразный язык для конструирования и преобразований моделей, причем, напомним, структурных моделей технических и иных систем. Этот язык не является совершенно оригинальным. Структурными схемами пользуются и в других дисциплинах, и в каждой они несут свои специфические черты. В вепольном анализе свои особенности, которые мы обсуждали, называя их правилами вепольного анализа.

Во-вторых, вепольный анализ может выступать в качестве одного из инструментов для решения задач, который в ряде случаев можно использовать самостоятельно.

Вещественно-полевые ресурсы системы

При рассмотрении предыдущих тем мы неоднократно использовали термин «ресурс». Понятие «ресурс» настолько важен в методологии решения задач, что необходимо рассмотреть его более подробно.

Согласно толковому словарю «ресурс» - это запас, накопление, возможности. Далее мы будем понимать этот термин в более широком смысле: ресурсом мы будем называть все, что без особых затрат может быть использовано во благо системы, для ее совершенствования.

Сам термин «вещественно-полевые ресурсы» впервые вошёл в ТРИЗ при создании алгоритма решения изобретательских задач АРИЗ-85В. Однако очень скоро стало ясно, что понятие «вещественно-полевые ресурсы» (ВПр) - одно из фундаментальных понятий ТРИЗ, такое же, как уже знакомые нам термины «противоречие», «веполь», и т. д. Именно поэтому операции с ВПр отнюдь не являются только составной частью АРИЗ. Уже на ранней стадии анализа структуры, выявления составных частей и характера функционирования системы зачастую возникает необходимость в поиске источника энергии для выполнения необходимой функции; эта же проблема может возникнуть и на следующей стадии решения задачи, при рассмотрении её модели.

Анализ большого патентного материала, который, как и во всех других случаях, является основным исследовательским материалом в ТРИЗ, позволил разработать классификацию ВПр, существенно упрощающую работу с этим инструментом при решении изобретательских задач. Можно выделить следующие основные характеристики ресурсов: вид, количество, ценность, степень готовности к применению, источник.

**По видам ресурсы можно разделить на энергетические, вещественные, пространственные, временные, функциональные, информационные, комбинированные ресурсы.**

К энергетическим ресурсам относятся все известные нам виды энергии и полей (электрические, электромагнитные, тепловые и т. д.), которые не подводят к системе и не вырабатывают специально, а уже имеются в совершенствуемой системе или во внешней среде.

Приведем пример:

Многие садоводы-любители для борьбы с вредителями пользуются опрыскивателем. Чаще всего в качестве энергетической установки при этом выступает сам человек, нагнетая давление в баллон с жидкостью. Точно так же поступает и автомобилист, накачивая шину колеса, хотя у него «под рукой» мощный энергетический ресурс: для выполнения этой функции наверняка можно приспособить двигатель автомобиля.

Под вещественными ресурсами будем понимать все материальные тела, которые есть в системе, надсистеме или внешней среде. Пример: группа авторов предлагает в хранилища легко портящихся продуктов подавать природный газ высокоазотных месторождений прямо из трубопроводов, по которым он транспортируется к промышленным объектам (газ с высоким содержанием азота замедляет гниение продуктов) - а. с. 973073.

Под пространственными ресурсами будем понимать свободное пространство, «пустоту», которую можно использовать для изменения исходной системы или для повышения эффективности ее эксплуатации.

Ярким примером использования пространственного ресурса являются приём перехода в другое измерение. Так, в теплицах широко практикуется не горизонтальное огородничество, а вертикальное, когда делянки с разными культурами в зависимости от степени развития растения размещают в вертикальной плоскости. При этом значительно облегчается уход за ними. Довольно близка к этому и идея использования крыш жилых и промышленных зданий для устройства теплиц - и солнца и воздуха на крыше в достатке.

Что можно отнести к временным ресурсам? Это, во-первых, время которое должно пройти от включения системы до того момента, как начнётся главный производственный процесс, и, во-вторых, временные интервалы между его отдельными этапами. И те, и другие временные отрезки могут быть использованы для улучшения основного функционирования системы.

Пример на использование временного ресурса: если совместить процесс прокатки рельсов с их закалкой, то можно резко сократить расходы теплоты на повторный нагрев металла, необходимый для закалки.

Функциональные ресурсы. Под этим термином понимается возможность использовать известную функцию объекта по иному назначению, или выявить в системе новую функцию. Сюда же можно отнести и возможность системы выполнять по совместительству дополнительные функции после некоторых изменений. Приведем пример использования такого ресурса.

Многие производства имеют дело с летучими и нелетучими взрывоопасными веществами. Взрывную волну стремятся «выпустить» за пределы здания, не дав ей разрушить оборудование и само здание; размещают взрывоопасное производство около остекленной стены - уж если что и произойдет, то пусть взрывная волна выбьет стекла, но стена не пострадает. А что, если опасное производство находится в середине здания, или нельзя остеклить стену? В ЦНИИ промышленных зданий и сооружений разработали конструкцию кровли, которая легко сбрасывается при взрыве, перемещаясь вертикально вверх. Энергия уходит вверх, не повреждая стен здания. Как видим, крыша приобрела вторую функцию.

Потребность в информационных ресурсах обычно возникает в задачах на разделение смесей, на обнаружение объектов, на измерение их параметров. Чем больше нам известно отличий одного вещества от другого, тем эффективнее может оказаться их разделение, обнаружение. Вещества различают по разным параметрам: размерам, твердости, отражательной и преломляющей способности, по магнитным и электрическим, химическим и биологическим и другим свойствам. Если отличия в параметрах малы, то их усиливают, подвергая вещества воздействиям, при которых эти отличия увеличиваются.

Пример: новый способ диагностики ишемической болезни сердца использует разную степень поглощения ультразвука эритроцитами крови (а. с. 1126288).

До сих пор мы рассматривали только одиночные ресурсы. Однако большей эффективности можно достичь, используя их комбинации.

Пример: В институте Гипроцветмете разработана установка для комплексной очистки сточных вод от органических веществ, масел, шламов и различных взвесей. В этой установке стоки сначала превращают в газо-водяную пену, а затем сжигают. При этом теплоту отходящих газов используют при подготовке стоков и при очистке, что значительно снижает энергоёмкость процессов.

Помимо различия по видам ВПР можно различать:

- по количеству, (неограниченные, достаточные, недостаточные);
- по ценности (вредные, нейтральные, полезные);
- по степени готовности к применению (готовые к применению, требующие модификации или разрушения путем использования различных физических, химических и геометрических эффектов);

- по источникам, откуда ресурс может быть получен (из самой ли системы или её подсистем; из надсистемы и соседних систем; из внешней среды; из «чужих» систем).

Особую ценность среди возможного ряда ресурсов любой системы имеет пустота. В зависимости от условий задачи пустота может приобретать свойства как пространства, так и вещества. Ценность этого ресурса заключается в том, что он часто имеется в неограниченном количестве, предельно дешев, легко «смешивается» с веществами, образуя полые, пористые, ячеистые структуры, изменяя при этом свойства смесей в очень широких пределах. Пустота позволяет легко менять физические, адгезионные и адсорбционные, электрические и магнитные свойства материалов и т. д. Пустота - не обязательно вакуум. Если вещество твердое, пустота в нем может быть заполнена жидкостью, газом; в жидкостях она обычно находится в виде пузырей газа (пара).

В технике одним из первых ресурсосберегающих мероприятий явилось применение фасонных, трубчатых, коробчатых и подобных им конструкций. Использование в них пустоты позволило достичь большой экономии материала без существенных потерь прочности, разработать разнообразные легкие многослойные и ячеистые материалы.

В какой последовательности предпочтительнее вести поиск и применение ресурсов? В ТРИЗ определен порядок их выявления и использования, позволяющий получить максимальный результат при минимальном расходе ВПР. Это относится, прежде всего, к ресурсам:

- инструмента;
- изделия, если нет запрета на его изменение;
- внешней среды;
- к побочным ресурсам, в частности, к ВПР отходов.

Легче всего использовать ресурсы, имеющиеся в неограниченном количестве. Как правило, это касается ресурсов из внешней среды, которыми могут быть воздух, вода, их температура, солнечная и ветровая энергия и т.д. Если во внешней среде нужных нам ВПР нет, то рассматривают ресурсы, имеющиеся в достаточном количестве в самой технической системе. Чаще всего это ресурсы, связанные с основными функциями системы или смежных систем - производимая или потребляемая ими энергия, вещество, свободное пространство. Использование ресурсов, имеющихся в недостаточных количествах, наиболее затруднительно, так как требует каких-то дополнительных систем для их накопления.

Так, например, при запуске двигателей самолета АН-2 использовали стартер, потребляющий ток, меньший, чем у двигателей «Жигулей». Как это делалось? Ведь такой мощности явно недостаточно для запуска! Оказывается можно сначала маломощным стартером раскрутить маховик, накапливающий энергию, а потом уже маховик раскрутит двигатель самолета.

Если рассматривать ресурсы по степени их полезности, то это лучше делать в порядке ее возрастания; сначала предпочтительнее использовать вредные ресурсы: отходы производства, загрязнители, неиспользованную энергию. Такой подход, а он соответствует закону идеальности, позволяет получить практически бесплатные ВПР, и при этом улучшать экологические параметры производства. Можно привести огромное количество примеров утилизации неиспользованной энергии, прежде всего тепловой, отходов перерабатывающей промышленности для улучшения бетонов или создания их бесцементных сортов, использование битого бытового стекла для улучшения дорожных покрытий и т. д. Сначала используют ресурсы, имеющиеся в готовом виде, а при их отсутствии - производные. Однако

надо иметь в виду, что любое преобразование простого ресурса в производный ресурс, его модификация, требует усложнений системы, дополнительной энергии, отдаляет решение от идеального решения.

## Лекция №7

# МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

## Классификации задач

Перед тем как рассмотреть методы, которыми может воспользоваться специалист для решения своих профессиональных задач, рассмотрим, с каким «типом» задач он может столкнуться на практике.

Можно предложить множество классификаций типов задач, но надо понимать, что все они, как и всякие классификации, достаточно условны.

Можно, во-первых, разделить задачи по видам человеческой деятельности.

Это – научные задачи, инженерно – технические, экономические, организационно-управленческие, социально–психологические, политические и т.д. Этот перечень приведен лишь для того, чтобы высказать в этом месте мысль, что рассмотренные ниже методы решения задач чаще всего применимы не только к техническим задачам, которыми в первую очередь в данном курсе мы посвящаем свое внимание, но, как показывает практика их применения, и к нетехническим, включенным в приведенный перечень. Надо только иметь в виду, что в каждой так называемой «отрасли» действуют не только общие, но и специфические законы, поэтому можно предположить, что и методы решения задач каждый раз могут иметь специфические черты.

В свою очередь, и это касается не только инженерно-технических задач, их можно разделить на два типа:

1 - задачи на изменения систем, на повышение качества выполнения их функций;



2 – задачи на измерение или обнаружение тех или иных свойств системы. Решение каждого типа задач так же имеют как общие черты, так и свою специфику, которую можно обнаружить при пристальном рассмотрении, например, инструментов ТРИЗ.

Еще одним отличительным свойством можно характеризовать задачи – их сложностью. Ниже приведена классификация технических задач по этому признаку. Эта классификация будет нами использована для выработки рекомендаций по применению того или иного инструмента решения задач, поэтому остановимся на ней несколько подробнее.

### **Классификация технических изобретательских задач по уровням сложности**

Жизненный опыт каждого из нас свидетельствует, что в быту мы встречаемся с проблемными ситуациями разной сложности. Какие-то мы разрешаем быстро и легко, иные зачастую не находят правильного решения. То же самое происходит и при решении технических и прочих производственных задач.

Раз есть задачи разной сложности, то возникает ряд вопросов: почему одни задачи просты, а другие сложны, нельзя ли решать более сложные задачи более эффективными с этой точки зрения способами. Оба вопроса имеют большое значение в инженерной деятельности, поэтому остановимся на поиске ответов на них поподробнее. Хотя мы будем говорить об изобретательских задачах, сказанное будет иметь, как мы уже упоминали, принципиально общий характер. Это определяется системностью окружающего нас мира, о чем мы уже достаточно подробно говорили выше.

Весь спектр встречающихся изобретательских задач в технике можно опять же условно разбить на три группы.

Первая группа (и, пожалуй, наиболее обширная) – это задачи, связанные с совершенствованием уже существующих технических систем. Ранее мы говорили, что этап II жизни системы знаменуется появлением большого числа изобретений, цель которых – улучшить те или иные её параметры. Уровень этих изобретений не всегда высок, однако все они вместе позволяют системе достичь расцвета и занять своё место в ряду других систем. Это происходит до тех пор, пока система не достигла предела своего развития. В дальнейшем мы будем преимущественно говорить именно об этом классе задач, называя их мини-задачами.

Вторая группа задач во многом близка первой. Они связаны не столько с самой системой, сколько с технологией ее изготовления с необходимым качеством. Необходимость снизить вероятность конфликтов между изготовителем и потребителем выдвигает задачи, называемые обобщенно поиском причин брака. Для решения задач такого типа в рамках ТРИЗ разработан так называемый «**Диверсионный подход**», суть которого кратко можно сформулировать словами «**Как можно систему испортить**». Такой целенаправленный подход как раз и позволяет найти дополнительные идеи, дополнительные резервы повышения качества продукции, в том числе и на стадии проектирования объекта.

Третья группа задач связана с созданием принципиально новой техники. Чаще всего разработчики техники решают эту задачу тогда, когда предыдущая система, выполнявшая ту или иную функцию, исчерпала ресурсы своего развития. Это может быть как исчерпанием физического предела данного принципа действия, так и «моральное старение», заключающееся в неудовлетворенности в качестве выполнения надсистемных требований. Особенно ярко можно это видеть на примере развития военной техники. Такие задачи мы будем называть **макси-задачами**.

Это направление развития чаще всего связано с успехами в фундаментальных науках, с научным поиском в области физики, химии, биологии и т.д. Изобретения, которые делаются при решении задач этой группы, могут иметь пионерский характер, во многом определяя

лицо не только отдельной отрасли, но и всей окружающей нас техносферы в целом. Их значение для развития человечества огромно.

Как видим, мы провели еще одну классификацию задач на **мини - и макси-задачи**. Она важна для нас тем, что всякий раз, задачу мы начинаем решать как мини-задачу, что позволяет поучить, как правило, более внедряемое решение. И только когда не удается решить мини-задачу, имеет смысл формулировать обходный путь, макси-задачу.

Решения, которые получают при рассмотрении задач разной группы, можно разделить по уровням, оценив предельно условно количеством попыток, которые нужно совершить для того, чтобы, перебирая всевозможные разумные варианты, случайно выйти на данное решение.

Для решения задачи первого уровня, а всего мы будем выделять 5 уровней, достаточно около десятка попыток. Предложения по их решению, – по сути, это даже не изобретения, хотя на них выдаются патенты. Рецепт того, что нужно сделать, возникает здесь уже на стадии формулировки задачи даже без выяснения того, какое техническое противоречие нужно преодолеть. В патентном фонде таких «изобретений» около 30%.

Задачи второго уровня требуют до 100 попыток, многим они кажутся сложными, поскольку требуют от инженера, не владеющего алгоритмическими методиками поиска решения, перебрать около сотни вариантов с тем, чтобы выйти на приемлемое решение. Изобретений этого уровня большинство в патентном фонде (до 45%).

Третий уровень изобретательских задач характеризуется необходимостью осуществления 1000 попыток выявить устраивающий исследователя вариант. В задачах этого уровня можно выявить острое техническое противоречие, требующее разрешения; результаты имеют значение не только для данной технической системы, но и для смежных систем, принадлежащих, порой, другим отраслям промышленности. Доля таких изобретений в патентном фонде составляет около 20%, в целом их можно характеризовать, как средние.

Задача четвертого уровня – это около десяти тысяч попыток случайно найти решение. Изобретения этого уровня – крупные, их в патентном фонде мало (примерно 4 процента). Такую задачу, прежде чем ее решать, нужно ещё выявить, понять и четко сформулировать, в чём заключается техническое противоречие, лежащее в её основе. Для решения приходится применять неочевидные подходы, использовать достаточно редкие физические эффекты и явления. Подобные изобретения способны резко изменить совершенствуемую систему; их внедрение означает существенный прогресс в технике.

Наибольший вклад в научно-технический прогресс даёт решение задач пятого уровня. Соответствующие изобретения способны стать основой возникновения новых наук, целых отраслей техники. Революционные изменения, вызванные внедрением таких изобретений, существенным образом сказываются на окружающем нас мире. По существу, они связаны с выявлением и постановкой новых задач, с научными открытиями. Создаются те самые системы, которые работают на совершенно новых принципах выполнения своих функций. Ценность таких изобретений чрезвычайно высока, однако их доля в общем патентном массиве незначительна (до 1%), что связано с громадным числом возможных попыток, которые пришлось бы совершить, для того чтобы случайно выйти на такое изобретение.

Деление изобретений по уровням предложено Г.С.Альтшуллером. Методологическая ценность подобного подхода заключается в том, что он основан не на субъективных представлениях в вопросе, насколько удачным является то или иное техническое решение, а на количественных и качественных показателях.

Первые показатели определяют среднее число вариантов, которое необходимо перебрать при решении задачи на данном уровне: число вариантов для каждого следующего уровня на порядок выше, чем для предыдущего. Разработанная классификация уровней сложности задач показывает, что сложность, а, следовательно, и время решения задач, а оно часто бывает ограниченным, зависит от ряда факторов – **объективных и субъективных**.

К объективным факторам следует отнести сложность самой системы, характеризуемой количеством взаимосвязанных, взаимодействующих подсистем. Чем больше связей, тем больше согласований между элементами надо обеспечить, преодолев множество противоречий между ними как в пространстве и во времени, так и по множеству взаимных свойств. **Эта множественность связей является источником множественности путей решения каждой задачи.**

Очень важно разработчику для получения более высокого эффекта при выполнении проектируемой системой своей функции выйти за пределы стереотипов своей узкой специальности, применить другие физические принципы, физические эффекты. Это возможно только при условии, что конструктор обладает не только хорошей подготовкой в узкопрофессиональном смысле, но и хорошо эрудирован в смежных областях знаний. Такая подготовка достигается хорошим вузовским уровнем образования в области фундаментальных дисциплин.

К чисто субъективным факторам, определяющим сложность получения результата при решении задач, надо, прежде всего, отнести наличие мотивации у решателя, нацеленность его на решение стоящих перед ним принципиально новых проблем. Другими факторами субъективной сложности выступают: психологическая зашоренности на современном состоянии техники, неумение находиться в постоянном поиске, отсутствие смелости, уверенности в своих силах, самолюбия и умение переносить неудачи. В силу наличия или отсутствия этих свойств та или иная задача будет для одного инженера сложной, а для другого – несложной. Все - как и в обыденной жизни.

Качественным показателем, характеризующим уровень решения задач, является связь его с разрешением выявленных противоречий (административным, техническим, физическим), с характером изменений, которые вносятся после разрешения этих противоречий в рассматриваемую систему. Чем менее типично для данной отрасли техники найденное решение изобретательской задачи, тем выше его качественный показатель.

Зачем же нужен нам этот разговор об уровнях сложности задач. Тем более что, не решив задачу, мы вряд ли можем заранее эту сложность достоверно оценить.

Эта классификация потребовалась нам для того, чтобы сформулировать некоторую стратегию подхода к решению изобретательских задач.

Она заключается в следующем. Поскольку, как уже сказано, заранее определить уровень сложности задачи не представляется возможным, каждую новую задачу мы начинаем решать как задачу первого уровня сложности, используя при этом простой перебор вариантов и его модификации (метод фокальных объектов, мозговой штурм). Полезно сознательно поискать аналогии и прежде всего функциональные аналогии, задаваясь вопросом "как в других случаях – в быту, в природе, в других производственных процессах – выполняется такая же функция. Если полученное при этом решение нас удовлетворяет по условию его новизны, повышению уровня идеальности, в качестве которого рассматривается соотношение приращения полезных качеств к приращению факторов расплаты, по технологической возможности его реализации в конкретных условиях конкретного производства, то оно принимается. Если решение не удовлетворяет этим требованиям, то мы рассматриваем задачу как задачу следующего уровня сложности. Что, в конце концов, это может означать практически. Это означает, что задачу надо решать каким-то другим более эффективным инструментом. Для этого как раз и надо иметь набор инструментов разной силы, разработанных в ТРИЗ, и по-возможности ими владеть.

## **Обзор методов решения задач.**

Веками человечество для создания нового владело лишь методом проб и ошибок. Времена меняются, а это означает, что задачи, которые возникают перед современным производством, становятся сложнее. Понятно, что рассчитывать на случайный перебор вариантов («метод

**проб и ошибок»)** при поиске решения задач высоких уровней, а тем более в выявлении самих задач, не имеет смысла в виду крайней неэффективности такого подхода. Именно поэтому практически с самых ранних этапов развития техники не прекращались попытки активизации мыслительных способностей человека, организации всего процесса поиска технических решений. Рано или поздно, как мы отметили выше, они должны были появиться. Это и произошло, когда возникло достаточно острое противоречие между потребностью в массовом решении задач изобретательского уровня, темпами и качеством удовлетворения этой потребности. Сегодня уже можно констатировать, что в распоряжении потенциальных изобретателей есть некий набор методов активизации и организации мыслительной деятельности при изобретательском процессе.

Весь существующий набор подобных методов можно разделить на группы: **неалгоритмические и алгоритмические.**

### *Существует ли историческая логика в возникновении и развитии методов?*

Методы первой группы исторически предложены были раньше вторых. Они базируются на активизации ассоциативного мышления человека. При этом понимается, что ассоциация – это отражение в сознании человека взаимосвязи между предметами, явлениями действительности и психическими восприятиями, ощущениями, двигательными актами, представлениями.

В ассоциативной психологии было предложено выделять ассоциации по типу их образования. Так были выделены ассоциации по сходству (красное - пурпурное), по контрасту (большое - маленькое), по смежности в пространстве или во времени (запах приправы к пище вызывает аппетит), причинно-следственные (сильный ветер - озноб).

Ассоциации по сходству могут быть использованы как исходные для прямых аналогий, по контрасту – для антианalogий, инверсии (например, что будет, если сделать или расположить наоборот), по смежности – для приемов преобразования в пространстве и во времени.

Основная цель генерирования ассоциаций заключается в том, чтобы "расшатать" стереотипное представление о совершенствуемом объекте, активизировать фантазию и воображение, перекинуть "мостик" от этого объекта к искомому, используя аналогии.

Как видим в этом определении метода много психологической терминологии. Действительно, идеи, заложенные в ассоциативных методах, направлены на активизацию чисто психических процессов в мозгу человека-решателя. Это привело к тому, что эта группа методов часто называется психологическими методами. К ней обычно относят такие методы как метод контрольных вопросов, фокальных объектов, мозговой штурм, синектику. Сюда же можно поставить и метод, развивающий метод фокальных объектов – метод гирлянд ассоциаций.

Применение этих методов, безусловно, позволяет решать ряд относительно несложных задач. Опыт их применения свидетельствует, что, например, некоторые из них могут быть полезны при решении задач рекламы, маркетинга, а мозговой штурм может быть эффективен для поиска направлений решения плохо сформулированных, плохо структурированных производственных проблем. В силу этого основные из этих методов полезно знать. Поэтому отдельные из них мы рассмотрим при проведении практических занятий.

**Алгоритмические методы** в наборе рассматриваемых нами методов представлены **Алгоритмами решения изобретательских (АРИЗами)**, которые являются основным решательным инструментом ТРИЗ. **АРИЗы** могут рассматриваться как система исторически развертывающихся алгоритмов. *Каждый из них представляет логически выстраиваемую последовательность взаимосвязанных предписаний, правил, уточняющих их выполнение, ряда поясняющих примечаний и примеров выполнения этих предписаний.* Пошаговое выполнение приведенных в АРИЗ предписаний должно выстроить такую

последовательность мыслительных операций, которая позволила бы ускорить выявление причин невыполнения или неудовлетворительного выполнения сформулированной в условиях задачи цели. Вслед за этим необходимо последовательно подобрать соответствующее для выполнения цели преобразование рассматриваемой системы и сформировать окончательную компоновку преобразованной системы, согласовав при этом вновь входящие в нее подсистемы со структурой исходной системы.

В соответствие с этой компактно выраженной схемой алгоритма весь процесс решения любой проблемы можно разбить на три стадии, поочерёдное прохождение которых и является сутью творческого или, говоря современным языком, инновационного поиска.

#### **Первая стадия – аналитическая:**

- выявляется совершенствуемая техническая система;
- составляется перечень её элементов;
- уточняются связи внутри самой системы, с соседними системами, с иными системами, входящими в надсистему;
- изучается история развития данной системы;
- изучаются потоки вещества и энергии между элементами системы и между системой и надсистемой,
- выявляются пространственная и временная зона, где локализуется конфликт в системе (в терминах ТРИЗ – «оперативные зоны»);
- намечаются возможные для дальнейшего использования ресурсы.

На этой же стадии формулируется и **техническое противоречие (ТП)** и **идеальный конечный результат (ИКР)**.

**Вторая стадия – оперативная.** Она связана с поиском путей преодоления выявленного технического противоречия.

Неалгоритмические методы (например, синектика) могут помочь и здесь (хотя при использовании этих методов само понятие ТП не используется).

На этой стадии эффективно применять алгоритмы **ПА** и **УА**, которые подключают к поиску решения задачи информационный фонд ТРИЗ, включающий приёмы устранения типовых технических противоречий, стандарты на решение изобретательских задач, библиотеки и указатели физических, химических, геометрических эффектов и явлений. Наиболее целесообразно при этом сочетание этих двух алгоритмов, обеспечивающих как достаточно глубокий анализ условий задачи, так и подключение указанных инструментов ТРИЗ.

**Третья стадия решения – синтетическая.** В полной мере эта стадия характерна только для наиболее развернутых модификаций алгоритмов, например, для **АРИЗ-85В**.

На этой стадии анализируется как само найденное решение, возможности его использования для других технических систем, так и весь ход решения задачи, что само по себе имеет значительную методологическую ценность.

Важным моментом этой стадии работы является формулирование вторичных задач, решение которых должно позволить довести полученное вами решение первичной задачи до стадии внедрения.

Событие	Содержание события	Цель решения	Возможные решения	Оценка решения
1	Клещ попадает на человека	Предотвратить попадание клеща на человека	Не ходить в лес во время массового размножения клещей. Уменьшить численность клещей	Резко ограничивает хозяйственную деятельность человека. Методы не найдены
2	Клещ добирается до кожи и вонзает свой хоботок	Предотвратить попадание клеща на кожу	Носить специальную одежду. Наносить на кожу специальные защитные покрытия	Оба метода сопряжены с большими расходами и на практике мало удобны (работать летом в жару в плотной одежде крайне тяжело)
3	Клещ выделяет слюну и разрыхляет верхний слой кожи, а затем и стенки кровеносного сосуда	Слюна не растворяет верхний слой кожи и стенку кровеносного сосуда	???	---
4	Клещ погружает свой хоботок в разрыхленный слой кожи и стенку сосуда	Предотвратить погружение хоботка в разрыхленный слой кожи и сквозь стенку сосуда	???	---
5	Вирус попадает в кровь человека, внедряется в её клетки, организм заболевает	Предотвратить внедрение вируса в клетки организма, его заболевание	Создать антитела к белкам вируса путем создания вакцин и вакцинация населения	Необходимо создание более 400 разных вакцин, но вакцинация таким набором вакцин дорога и вряд ли полезна для здоровья человека

Если проблема связана с выявлением мест зарождения нежелательного явления, источников брака, участков выхода параметров технологического процесса за нормативные или допустимые пределы, или с поиском момента времени, когда вмешательство в процесс или преобразование системы оказывается наиболее эффективным, то в этом случае на стадии анализа целесообразно построение **цепочек причин и следствий**.

В результате такой процедуры часто удается сформулировать техническую задачу, решение которой обеспечивает действительно наибольший эффект. **Практика показывает, что существует общее правило: чем ближе нежелательный эффект к месту его физического зарождения, тем проще и эффективнее его устранение.**

Продемонстрируем плодотворность изложенного подхода на следующем интересном и показательном примере (Пономаренко А.И. Выбор задачи с помощью оператора отрицательного нежелательного действия // Журнал ТРИЗ. – 1995. - № 1(10). – с. 51 – 53.).

Икосодовые клещи переносят до сорока различных инфекционных заболеваний, и в том числе клещевой энцефалит. Попадая на кожу теплокровного животного, клещ выделяет каплю слюны, которая разрыхляет верхние слои кожи. Хоботок клеща проникает все глубже и глубже, пока не достигнет кровеносного сосуда, стенка которого под действием слюны становится хрупкой. Клещ сосет кровь жертвы, а при этом в ее кровь проникают вирусы. Медицина создавала и создает лекарства и вакцины против переносимых клещем болезней, но не все болезни, и, в частности, энцефалит, поддаются эффективному лечению. Затраты средств и времени на эту борьбу огромны. Составим причинно-следственную цепочку развития нежелательного процесса, заражения человека клещевым энцефалитом, и поищем тот момент и место, где и когда легче им управлять (см. таблицу).

Рассмотрение этой таблицы показывает, что избежать заболевания человека и одновременно снять неприятности, связанные с использованием защитных средств, можно было бы, если при попадании клеща на кожу удалось предотвратить проникновение его хоботка сквозь кожу и стенки кровеносного сосуда.

В таблице не указаны способы предотвращения проникания хоботка клеща через кожу человека или теплокровного животного. Однако в 1986 году группой ученых сделано открытие, зарегистрированное под номером 322 («Явление регуляции гиперпаразитизма иммунитетом позвоночных»), позволившим решить эту проблему. Путем вакцинации у человека и животного возникает иммунитет к слюне клеща: в месте ее нанесения возникает затвердение кожи, и хоботок кровососа не проникает вглубь кожи. Этот метод борьбы с рассмотренным явлением позволяет получить и ряд сверхэффектов: иммунизированное животное не только не может стать носителем инфекции, но клещи, напившиеся крови иммунизированных животных, либо погибают, либо дают нежизнеспособное потомство.

### **Алгоритм предварительного анализа**

Ранее мы уже сформулировали рекомендацию, в соответствии с которой решение задач надо начинать в предположении, что мы имеем дело с задачей первого уровня сложности с неалгоритмических методов.

Если же удовлетворяющего нас решения на этом шаге мы не нашли, то следует сделать следующий шаг - использовать алгоритм предварительного анализа (ПА).

Данный алгоритм является модификацией одной из ранних версий АРИЗа (АРИЗ-64). Этот алгоритм считается менее мощным оружием, чем более поздние, включая, естественно АРИЗ-85В, но, тем не менее, его использование даёт хорошие результаты при решении задач второго уровня сложности; ПА подготавливает хорошую почву для применения средств решения задач третьего уровня сложности – стандартов на решение изобретательских задач, указателей физических, химических, геометрических эффектов. Мало того, знание и

использование этого алгоритма в силу его большей общности формулировок шагов очень полезно при решении задач нетехнического характера, который столь же много, как и технических.

Как и любая работа по алгоритму, использование ПА требует соблюдения порядка выполнения предписываемых шагов.

Приведем здесь первые восемь шагов этого алгоритма, что поможет понять структуру алгоритмов в целом. Полный текст алгоритма ПА приведен в приложении 1.

**ВАЖНО (!!!)**, что решение задачи может возникнуть на каждом шаге алгоритма. Но не следует останавливать ход анализа. Запишите (!) полученную идею и продолжайте (!!)-выполнение шагов алгоритма.

## АЛГОРИТМ ПА

1. Опишите, не используя (по возможности) специальных технических терминов, состав системы, с которой предстоит иметь дело, взаимосвязи между элементами системы, порядок действий, которые выполняет система, действия внешней среды, направленные на выполнение системой своей функции.

Примечание 1: использование специальных терминов увеличивает психологическую инерцию, привязывает к образу старой системы!!!

Примечание 2: на этом шаге постоянно используйте контрольные вопросы Квинтилиана

2. Дайте ответ на вопрос, какова конечная цель, с которой ставится задача.

Часто задача задачедателем, как утверждают специалисты по техническому консалтингу, ставится неточно и даже неверно!!!

Правильный выбор конечной цели - важный шаг, какова конечная цель, таков и весь ход дальнейшего решения. Поэтому, приступая к решению практической задачи, не забудьте еще и еще раз проверить себя: ту ли цель вы выбрали? При этом не исключено, что в ходе дальнейшего анализа по данному алгоритму, конечную цель придется переформулировать. Может также выясниться и ненужность решения задачи вообще.

3. Определите, в какой постановке будет решаться задача: в первоначальной или «обходной»

Рекомендуется всегда начинать решение с мини-задачи. Мини-задачу получают из изобретательской ситуации введением ограничения: «Все остается без изменений или упрощается, но при этом появляется требуемое действие (свойство) или исчезает вредное действие (свойство)». Решение, полученное для мини-задачи, как правило, легче внедряется в производство. Именно поэтому в рамках данного алгоритма мы всегда решаем мини-задачу. Этот шаг введен в алгоритм как раз потому, что слушатели часто пытаются сразу перейти на рельсы поиска обходного пути.

4. Сформулируйте, что желательно получить в самом идеальном случае .

На этом шаге формулируется идеальный конечный результат (ИКР), состоящий в том, что система сама (или ее части) при минимальных изменениях обеспечивает достижение конечной цели. Именно поэтому в ответе на этот вопрос обязательно должно присутствовать слово «сама» («сам», «само», «сами»).



Примечание. Такая формулировка ИКР в дальнейшем должна нацеливать на получение решений, основывающихся, прежде всего, на изменениях в элементах рассматриваемой системы, определенных на втором шаге. Поэтому формулировок ИКР надо написать столько, сколько элементов системы вы определите на первом шаге.

Существуют два полезных правила, помогающих точнее определить ИКР:

- не следует загадывать заранее, возможно или невозможно достичь идеального результата;
- не надо заранее думать о том, как и какими путями будет достигнут конечный результат.

Отметим здесь же, что решение задачи может появиться на любом этапе анализа задачи. Однако не следует спешить и останавливать анализ. Для оценки качества найденного решения полезно провести анализ до конца, после чего проконтролировать ответ на соответствие законам развития технических систем (ЗРТС).

5. На этом шаге ПА следует определить:

«В чем состоит помеха? В чем существо конфликта? Что мешает получению ИКР?»

Ответ на этот вопрос должен заканчиваться фразой «..., а это недопустимо».

Этот шаг позволяет нам сформулировать и техническое противоречие (ТП), лежащее в основе рассматриваемой задачи.

6. Надо сформулировать: в чем состоит конкретная научно - или технически обоснованная причина помехи? («почему мешает?»); какое свойство системы или ее элемента мешает.

Мир «физичен»: в основе взаимодействия систем и их частей лежат явления, подчиняющиеся законам природы, поэтому при формулировании этого шага могут возникнуть трудности – не хватает конкретных знаний. В этом случае целесообразно обратиться к справочной литературе, учебникам, побеседовать со специалистами в данной области знаний.

7. Определите, при каких условиях помеха исчезнет

Сформулируйте для определенного на предыдущем шаге «свойства» его «анти-свойство», «анти-действие».

Воспользуйтесь следующими рекомендациями:

- Привлеките для нахождения решения прямые аналогии (как эта задача решается в быту, в других отраслях), биоанalogии (как задача решается в живой природе - во флоре и фауне), личную аналогию (представить себя в роли объекта). Очень полезно, как показывает опыт, применить метод моделирования маленькими человечками.

- Рассмотрите, прежде всего, возможность изменения в самой системе или ее элементах (это соответствует Вашей формулировке ИКР). Обратите внимание на имеющиеся в системе ресурсы (см. ВПР).

- Если не удастся реализовать предыдущий пункт, то рассмотрите возможность изменений во внешней среде, других объектах, работающих совместно с данной системой, в надсистеме.

- Рассмотрите, как решаются в технике задачи, обратные данной.

8. Если решение задачи найти не удастся, то, прежде всего, рекомендуется еще раз проверить формулировки шагов алгоритма, начиная со второго, и при необходимости

переформулировать конечную цель, с которой ставится задача, а также ИКР, отнеся его к другому элементу системы.

Если, тем не менее, решение не найдено, перейдите к следующему пункту

## **Интуиция и ее роль в изобретательском творчестве**

Изучая методы поиска новых решений технических задач, необходимо рассмотреть и вопрос о роли интуиции. Это важно сделать потому, что в литературе по творчеству, особенно ранней, интуиции уделялось большое внимание; мы же говорим сейчас об алгоритмических (какая, казалось бы, уж тут интуиция?) методах поиска решения.

Под интуицией понимается, если следовать философскому энциклопедическому словарю, способность постижения истины путем прямого ее усмотрения без обоснования с помощью доказательств. В практике научной и изобретательской деятельности под интуитивным решением понимается чаще всего внезапное, без какого-либо волевого усилия со стороны исследователя, возникновение искомого решения проблемы. Синонимами интуиции являются термины «озарение», инсайт.

Не отрицая интуиции, как действительно наблюдаемого явления, можно высказать возражение против придания ему мистического оттенка, что иногда пытались сделать некоторые исследователи процессов научного и изобретательского творчества, исходя из результатов опроса творческих работников (ученых, изобретателей). Не осознавая истоков своих творческих достижений, эти специалисты зачастую связывали полученные успехи с «внутренней предрасположенностью» к творчеству, с природным или даже божественным даром, проявлением которого и является интуиция.

В литературе по техническому творчеству и ныне можно встретить случаи сведения процесса генерирования новых научных и технических идей исключительно к интуиции.

Чтобы обсудить проблему интуиции, приведем несколько примеров, которые демонстрируют роль интуиции в инженерном и научном творчестве.

Датчанин Финзен, наблюдая за поведением водяного жука, который, коснувшись тени, сразу же торопливо отскакивал и спешил найти участок воды, ярко освещенный солнечными лучами, пришел к мысли об использовании солнечных лучей для лечения туберкулеза кожи, за что в 1903 г. Финзен получил Нобелевскую премию.

Многим известны ипликаторы Кузнецова для лечения ряда недугов. Каким путем пришел к нему сам изобретатель? «Лет двадцать назад, когда я жил в Челябинске,- делится воспоминаниями Кузнецов,- мне поставили диагноз: острая почечная недостаточность. Ни лекарства, ни другие средства лечения мне не помогли. Лишь некоторое облегчение принесло традиционное иглоукалывание. Мелькнуло озарение: а что, если попробовать воздействовать на отдельные участки организма или на все тело не несколькими иглами, а сразу сотнями, тысячами. И тут же захотелось проверить на себе еще никем не испробованный метод. Сделал устройство, в котором использовал самые обыкновенные швейные иглы. И сразу почувствовал облегчение».

Известный французский исследователь стратосферы и морских глубин О. Пикар рассказывал, как он преодолел затруднение при конструировании стратостата. Надо было обеспечить сбрасывание балласта из герметической кабины, не выпустив при этом воздух. Неожиданно помогло яркое воспоминание, сохранившееся с детства. Воспоминание о том, как укротитель на глазах у публики выходил из клетки с тигром. Сначала укротитель вышел в смежную клетку и сразу запер за собой дверь. Только после этого он открыл следующую дверь и оказался снаружи: ни на миг обе двери не были открыты одновременно, и хищник не мог выскочить из клетки. Идея шлюзовой камеры для сбрасывания свинцовой дроби из герметичной кабины стратостата явилась как бы сама собой.

Слесарь-изобретатель Б. Егоров в своей книге «Секрет НСЕ» подробно восстановил ход творческого процесса, который привел его к созданию уникального намоточного станка. На завершающем этапе работы подвернулась подсказка. Дело было в вагоне электрички, где

изобретатель увидел старушку, вязавшую чулок: «...и как будто пелена упала с глаз!» Мысль тотчас свернула с проторенного пути на ранее незамеченную боковую дорогу. В своем станке Егоров использовал для захвата провода крючок, аналогичный вязальному.

Подобными историями переполнены книги о далеком и недавнем прошлом науки и техники. Подчас от извилистого и сложного процесса открытия молва оставляет только наиболее яркие эпизоды, связанные с подсказкой, моментом внезапного возникновения решения проблемы. Таковы легенды о ванне Архимеда и его возгласе «Эврика!», о яблоке Ньютона, подпрыгивающей крышке чайника Уатта, сцепившихся обезьянах, якобы увиденных химиков Кекуле, и т.д. Внимательное рассмотрение этих и многих других примеров позволяет сделать некоторые предварительные выводы и выдвинуть гипотезы о природе акта интуитивного мышления.

Первое. Это, действительно, большая роль подсказки или некоторой стрессовой ситуации, возникающей в жизни исследователя.

Второе. Часто при обсуждении акта, озарения возникает впечатление, что этот акт проявляется на ровном месте и не требует глубоких знаний области, в которой совершается поиск. Но это не так. На голом месте не может родиться новое знание, новая идея. Нужно, чтобы исследователь, изобретатель был бы человеком эрудированным. Каждый из выдающихся изобретателей был специалистом в своем деле и на протяжении длительного времени занимался решением данной или иной проблемы. В отыскании решения им всем помогли косвенные подсказки, мимо которых человек, не занимающийся данной проблемой, прошёл бы совершенно спокойно. Понятно, что случайная подсказка, стрессовая ситуация могут оказать решающее воздействие только на хорошо подготовленного, широко эрудированного профессионала.

Сошлемся в этом обсуждении вопроса об интуиции на точку зрения одного из авторов книг по методологии инженерного проектирования. Дж. К. Джонс (Методы проектирования. – М.: Мир, 1986.) объясняя, почему сложность современных задач оказалась непосильной для традиционных процессов проектирования, пишет: «Важнейшим этапом процесса при этом является не взаимная подгонка узлов и деталей друг к другу, а творческое «озарение», благодаря которому мозг достаточно информированного и гибко мыслящего человека позволяет выдвинуть на передний план один из перспективных комплексов узлов и деталей».

Эффективному проявлению интуитивных процессов способствует то, что принято называть гибкостью ума. В обыденной жизни с гибкостью ума мы связываем находчивость человека в разговоре, хорошее чувство юмора, хорошее владение речью, ее образность и т. д. Чтобы прояснить хотя бы гипотетически, что же отличает гибкий ум от негибкого, и тем самым малопродуктивного, рассмотрим, правда крайне упрощенно, схему информационного взаимодействия человека с внешней средой. Будем опираться при этом на самые общие аналогии, связанные с архитектурой современных ЭВМ.

Первичная информация попадает из внешней среды через органы чувств в мозг человека в его часть, которую психологи связывают с сознанием. Это аналог оперативной памяти ЭВМ, в которой эта информация перерабатывается либо для принятия человеком решений, от которых зависит его функционирование в окружающей среде в данный момент времени, либо для ее накопления для реализации долговременных целей жизнедеятельности человека. Для этого такая информация пересылается в те отделы мозга, которые связаны с подсознанием (здесь возможна аналогия с долговременной памятью современных электронно-вычислительных машин). Многие психологи считают, что человеческий мозг способен воспринимать, накапливать и хранить в подсознании всю информацию, которая в том или ином виде попадает через органы чувств в мозг человека в течение всей его жизни.

Если бы память человека была бы идеальной, то мы в любой момент могли вспомнить любые интересующие нас факты, события, явления. Повседневный опыт каждого человека показывает, что это далеко не так. По-видимому, в подсознании информация хранится как в хорошо структурированном виде, так и не в слишком хорошо структурированном. Это зависит как от врожденных данных каждого человека к такой структуризации, так и от способа приобретения информации. Известно, что при целенаправленном изучении тех или иных материалов, их запоминание происходит значительно эффективнее. Это похоже на кладку стены кирпичами или целыми блоками. Блоки прилегают плотно и делают кладку прочной и устойчивой.

Однако большую часть информации человек получает из внешней среды плохо структурированной. По-видимому, достаточно значительная ее часть в таком же виде и попадает в подсознание. Это обрывочные и потому неполные знания, отдельные малосвязанные факты и впечатления. Их структура сравнима с кучей камней, в которой отдельные камешки связаны друг с другом малым числом точек контакта, а зачастую у отдельных частиц такие контакты отсутствуют вообще. Прочность такой структуры значительно меньше блочной.

Когда же мы хотим вспомнить что-то в обыденном мышлении или при целенаправленном решении проблемы, в мозгу происходит поиск нужной информации. Чем упорядоченнее хранится информация, тем легче реализуется процесс поиска.

При обучении, целенаправленной практической или научной деятельности степень структурированности подсознания увеличивается. В ней легче обеспечивается и случайный поиск информации, образование ассоциативных связей. Структурирование, по-видимому, обеспечивается разными механизмами управления процессами в мозгу, которые при этом чем-то похожи на системы управления в современных ЭВМ.

Неизвестно, как работает наше подсознание, но то, что оно перебирает различные идеи - это гипотеза, которая выглядит вполне правдоподобно. То, что решение как бы «всплывает» из подсознания, доказано психологами, да и сами ученые подтверждают такой взгляд.

Многие исследователи пытались понять, каким образом в нервной системе возникает все многообразие выходных реакций. Существует предположение, что мозг - это сеть, меняющая свою структуру в зависимости от того, какие сигналы поступают на нее из внешнего мира. Согласно этой теории «озарение» возникает, когда такая сеть после многих неудачных попыток находит структуру, соответствующую полученным незадолго до этого входным сигналам. В эти представления, труднообъяснимые на современном уровне знаний о физиологии мышления, хорошо вписывается и роль случайной подсказки, которая, возможно, и является недостающим звеном в построении итоговой структуры. В пользу правдоподобности этого предположения говорит, в частности, существование различных методик ассоциативного запоминания информации.

Из рассмотренного выше можно сделать некий полезный вывод.

Тот, кто надеется, что при решении творческих инженерных задач его «вывезет» интуиция, должен понимать, что для этого, как минимум, нужно глубоко проникнуть в суть стоящей проблемы, быть хорошо эрудированным (то есть - получить хорошее систематическое образование), иметь гибкий ум. Дальше остается дожидаться счастливой подсказки, которая (возможно) выведет исследователя на правильное решение.

Но стихийные, случайные интуитивные процессы, протекающие в мозгу человека все же можно сделать более управляемыми и тем самым более эффективными. В частности, ряд рассмотренных нами в этом курсе неалгоритмических методов активизации творчества как раз и способствует решению такой задачи. Сказанное касается, прежде всего, методов: мозговой штурм, синектика, фокальных объектов, и в определенной мере метод морфологический анализ. Данные методы были разработаны для создания условий, способствующих интенсификации ассоциативной деятельности подсознания человека с

целью генерирования серии подсказок, которые призваны разорвать круг привычных мыслей, в случае, когда задача не решается простым перебором вариантов.

## **Использование аналогий в изобретательской деятельности**

**Аналогия** - это наличие, по крайней мере, в двух объектах общих условий (свойств, отношений), позволяющих переносить информацию об одном объекте на другой. Такое определение означает, что аналогию можно строить только там, где существует повторяемость свойств, условий, отношений, то есть там, где наличествует закономерность.

Интуитивный поиск аналогов при решении различных задач зачастую происходит из нечеткого осознания того факта, что большинство новых технических задач в той или иной мере уже кем-то решалось ранее.

Почему же вообще в природе существует так много аналогий? По-видимому, дело здесь в системности мира, выражающейся в общности законов строения и развития совершенно, казалось бы, разнородных объектов. Анализ этих законов со всей определенностью показывает, что переход от старой системы к новой системе в процессе такого развития осуществляется не бесконечным числом способов, а базируется на некотором ограниченном количестве принципов.

**Прямая аналогия** – это перенос одного из принципов с одного объекта на другой.

Использование прямых аналогий - метод, позволяющий решать достаточно простые задачи. Где же искать в этом случае новые идеи? Часто удается найти приемлемое решение на базе своего обыденного жизненного опыта. Если же это не удастся сделать, то надо обратиться к своему профессиональному опыту, т.е. рассмотреть, как решаются подобные задачи в сфере, не связанной с собственной профессией. Сильные решения могут быть найдены, если рассмотреть те отрасли техники, где уже накоплен большой опыт решения аналогичных задач, где задачи вынужденно решаются в условиях жестких ограничений.

Иногда поиск прямых аналогий не дает положительного результата. В этом случае можно попробовать обратиться к «обратным» аналогам: поискать их в отраслях техники, сталкивающихся с решением задач, в которых осуществляются противоположные действия или выдвигаются требования, обратные тем, с которыми столкнулись Вы.

Для ускорения поиска продуктивной аналогии возможно использование неалгоритмических методов: мозгового штурма, в котором этот поиск происходит неосознанно, хаотически, в разных направлениях, синектики, впервые сознательно введшей использование аналогий (**прямой, символической, личной, фантастической**) в качестве средства для смещения процесса исследования структуры проблемы с уровня осознанного мышления на уровень спонтанной активности мозга. Однако и в случае с синектикой, строго говоря, подходом по аналогии является лишь прямая аналогия.

При рассмотрении простых аналогий надо иметь в виду, что для часто повторяющихся ситуаций в жизни человека однажды найденная аналогия становится жизненным, поведенческим стереотипом. В обыденной жизни это часто даже необходимо, так как, превращаясь в полезную привычку, такой стереотип освобождает мозг от излишней работы. Однако в инженерной и научной деятельности они же становятся источником психологической инерции, мощным фактором торможения мысли. Для преодоления этого противоречия в ТРИЗ разработаны специальные приемы преодоления такой инерции мышления и, в частности, метод **моделирования маленькими человечками (ММЧ)**.

Приведем пример использования простой аналогии.

Для дефолиации хлопчатника (сбрасывания листвы) традиционно применяют химикаты, которые экологически вредны. Ю.М. Сизов, научный сотрудник КБ научного приборостроения Узбекистана предложил проводить дефолиацию «термическим ударом».

Идея родилась так. Он обратил внимание на то, что после особенно жарких солнечных дней листва хлопчатника быстро жухнет. Не ночные заморозки, а именно неистовая жара служила причиной обвального листопада. После домашних опытов догадка подтвердилась, а дальнейшие лабораторные исследования показали, что под воздействием мощного инфракрасного излучения в растениях изменяется белковый обмен: разрушаются клеточные мембраны. Устьица, через которые происходит водообмен, открываются на максимальную величину и больше не закрываются; идет интенсивное испарение, и листья быстро усыхают. Питательные вещества транзитом следуют в коробочку, и вес ее растет. На базе этой идеи и создали ИК-дефолиатор. Выяснилось, что, кроме того, под воздействием ИК- излучения погибают коробочный червь и многие другие паразиты.

Достижением ТРИЗ является нахождение и введение в практику поисковой деятельности аналогий более высокого уровня - аналогий по типам технических и физических противоречий, по приемам их устранения, по типам моделей задач. Это позволило построить стройную систему инструментов для нахождения идеи решения, сформированного в виде специализированного информационного фонда, включающего в себя таблицы простых приемов для устранения технических противоречий, систему стандартов на решение задач, указатели физических, химических, геометрических, биологических эффектов и явлений, перечень приемов устранения физических противоречий. Этот инструментарий позволил сделать поиск аналогий значительно более эффективным, и, прежде всего, для задач высокого уровня сложности.

### **Природные аналоги и биоанalogии.**

Когда мы говорим о ценности аналогий для решения изобретательских задач, возникает вопрос, а возможно ли использовать аналогии не только из техники, но и из природы, природных биологических объектов. Если обратиться к истории техники, то возникает мысль, что первое, к чему обратился человек в своей изобретательской деятельности, было использование природных аналогов. Вспомним, например, миф об Икаре и Дедале. Идею реального применения знаний о живой природе для решения инженерных задач связывают с именем Леонардо да Винчи, который пытался построить летательный аппарат с машущим крылом как у птицы - орнитоптер. Однако лишь появление кибернетики, рассматривающей общие принципы управления и связи в живых организмах и машинах, стало сильным стимулом для более широкого изучения строения и функций живых систем с целью выяснения их общности с техническими системами. В конце пятидесятых годов стала оформляться соответствующая наука - бионика. С бионикой было связано много надежд. Однако довольно быстро выяснилось, что копирование природы сталкивается с огромной сложностью созданных ею «живых машин».

Сравним, например, крыло самолета и крыло птицы. Крыло современного самолета - одно из наивысших достижений техники. Но ни один самолет не может соперничать с птицей по весу поднимаемого груза на единицу затрачиваемой мощности. Если бы крылья современных самолетов были машущими, они поднимали бы 120 - 130 кг на 1 л. с., развиваемую двигателями. А пока крылья наиболее совершенных машин способны поднять лишь вдесятеро меньший удельный груз.

Природа за миллиарды лет эволюции создала живые объекты громадной сложности. Детально разобраться в их устройстве и функционировании очень трудно, нужны тонкие многолетние исследования. Построить же достаточно адекватную копию при современном уровне развития техники порой просто не представляется возможным.

Но так ли бесперспективен путь использования природных аналогов? Наверное, это не так, если брать в качестве прообразов достаточно простые организмы: растения, древних простейших животных, изучаемых палеонтологией.

Приведем несколько примеров вполне плодотворного использования такого подхода.

Зодчий итальянского Возрождения Ф. Брунеллески, проектируя купол Флорентийского собора, взял за образец форму скорлупы птичьего яйца. В 1921 году для крыши Московского планетария была также выбрана форма яйца.

Итальянский инженер П.Л. Нерви в покрытии Главного зала Туринской выставки заимствовал основные структурные элементы листа цветка виктории-регии. В этом покрытии сочеталась оболочка-скорлупа и решетчатая структура.

Вантовые (канатные) конструкции напоминают паутину. А мембранные конструкции вполне аналогичны кожным покровам, широким мышцам и сухожилиям животных. На практике они воплощены в перекрытиях олимпийских спорткомплексов на проспекте Мира и в Измайлове в Москве, универсального спортивного зала в Санкт-Петербурге.

Это примеры использования простой прямой биоанalogии. Более глубокие результаты могут быть достигнуты путем изучения таких природных конструкций с применением научных методов.

Доступным и весьма заманчивым оказалось исследование демпфирующих свойств стеблей растений - на первый взгляд кажущихся слабыми, но в действительности проявляющих большое упорство в борьбе с ветрами. Здесь интересным показателем служит отношение ширины основания стебля или искусственного сооружения (или их площади) к высоте - коэффициент стойкости. Для телебашни в Останкино он составляет 1:30, а у стебля тростника - 1:200, у стебля ржи - около 1:500. При этом надо помнить, что стебель ржи несет тяжелую ношу - колос, вес которого в 1,5 раза больше веса стебля.

Откуда тогда такая устойчивость по отношению к ветру?

Оказывается, что устойчивость достигается в основном за счет того, что его сопротивляемость связана с перераспределением и ослаблением действия моментов сил от ветровой нагрузки. Исследования показали, что если эпюру изгибающих моментов от действия ветровой нагрузки на свободно стоящую колонну разбить на четыре равновеликие по площади части, а центры тяжести этих частей спроецировать на колонну, то получим места расположения на стебле злака четырех узлов. Эти же узлы архитектурной бионикой рассматриваются как особо устроенные упругие шарниры - демпферы, играющие важную роль в изменении силы изгибающих моментов.

Не менее совершенны находки природы, созданные в глубокой древности. Современные грызуны не идут в сравнение с некоторыми динозаврами. Крупные динозавры весили десятки тонн и жили до 120 - 200 лет; нетрудно представить, какое количество пищи перемалывали они в течение жизни... Особенно интересны зубы зауролофа - своего рода «копытного», двуногого динозавра. Каждый его зубной ряд состоял из трех зубов, сидевших друг под другом. Принцип хорош для создания буровых коронок.

Многие из вымерших животных хорошо изучены, поэтому изобретатели, решающие задачи, связанные с переработкой вещества, могли бы заимствовать много хороших идей, «запатентованных» природой много миллионов лет назад.

Полезен оказался палеобионический подход в случае, связанном с малоизученным процессом, например, с кавитационным разрушением бетона плотин. Удачное решение нашел В.И. Сахаров, заметивший, что камни и валуны, покрытые водорослями и мхами, практически не разрушаются от ударов волн. Он предложил предотвратить контакт кавитационных ударов, возникающих при набегании волны, с телом сооружения, используя защитный слой из упругих стержней, волокон, пластин.

## ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

### **Приемы преодоления технических противоречий**

Анализ большого информационного материала показывает, что, несмотря на многообразие встречающихся изобретательских задач, большая часть из них (даже принадлежащих разным областям техники) решаются при помощи сходных подходов. Это связано с тем, что лежащие в основе таких задач технические противоречия повторяются. Работа, проведенная в этом направлении в рамках ТРИЗ, позволила выявить группу приемов, которые раз за разом применяются в изобретательской практике. Для эффективного поиска полезных для данной задачи приемов Г.С.Альтшуллером была разработана двумерная таблица размером 39 на 39. Сформулировав для объекта какое свойство из приведенного в боковике таблицы перечня хотелось бы улучшить и затем, выбрав из перечня в шапке таблицы какое свойство при этом в системе ухудшится, можно получить из этой таблицы соответствующую рекомендацию по приемам.

Работа с приёмами – это не только шаг, предписываемый алгоритмами решения изобретательских задач. Ведь для того, чтобы выбрать нужный приём, нужно перейти от изобретательской ситуации к модели задачи и выявить техническое противоречие, лежащее в её основе. Использовать приём – это означает понять, что же следует «улучшить» в технической системе, что «препятствует» этому улучшению.

Поиску ответа способствуют и примеры на применение приёмов. Эти примеры могут дать пищу для поиска аналогий с Вашей задачей, «подсказать», как можно её решить. В целом, анализ перечня приёмов и примеров их использования – хороший способ расширения собственного кругозора.

Однако не все из выявленных приёмов одинаковы по эффективности. Кроме того использование таблицы преодоления технических противоречий требует большого опыта работы с ней. Поэтому в дальнейшем были отобраны наиболее «сильные» и наиболее часто используемые в изобретательской деятельности приемы, которые представлены в приложениях 3 и 4. С описание приёмов можно познакомиться в [2].

Таблица наиболее часто применяемых приёмов позволяет выбрать несколько перспективных приёмов, сформулировав лишь то, что хотелось бы улучшить в рассматриваемом объекте. Такой подход, как показывает опыт его применения, позволяет существенно повысить эффективность применения системы приёмов.

### **Стандарты на решение изобретательских задач**

**Стандарты** - это следующий шаг в развитии фонда типовых приемов решений технических задач. Стандарты по сравнению с приемами выполнены на более высоком обобщающем уровне и содержат элементы анализа условий задачи. При формулировке стандартов использованы понятия и правила вепольного анализа. Поэтому стандарты можно



определить как выраженные в терминах вепольного анализа правила решения определенных технических задач на уровне идей.

Понятие «стандарт» в ТРИЗ отличается от общепринятого. Если государственные, отраслевые или другие стандарты обычно содержат требования, которым должна удовлетворять выпускаемая продукция, то в ТРИЗ дело обстоит совсем иначе. Здесь этот термин означает лишь наличие некоторого постоянно повторяющегося, типового, «стандартного» правила решения внешне совершенно различных технических задач. С помощью этих правил сегодня достаточно обученный специалист может решить до половины всех изобретательских задач.

Стандарты ТРИЗ разделены на пять классов: стандарты на **изменение** (классы 1 - 3), стандарты на **измерение** (класс 4) и **стандарты на применение стандартов** (класс 5).

Под термином «**изменение**» понимаются любые изменения, которые нужно провести в системе. Например, раздробить, склеить, переместить, повысить производительность, точность и т. п.

Если же в задаче нужно что-то **измерить или обнаружить**, например массу, длину, текущее время, скорость и пр., то на помощь приходят стандарты четвертого класса.

Стандарты пятого класса помогают в тех случаях, когда из-за особенностей задачи и имеющихся в ее условиях ограничений невозможно напрямую использовать подсказки стандартов первых четырех классов. Эти стандарты позволяют обойти ограничения и тем самым воспользоваться рекомендациями стандартов предыдущих классов.

В стандартах на изменение четко прослеживается одна из основных линий развития технической системы: переход от невепольных систем к вепольным, затем к сложным вепольям (комплексным, цепным, форсированным, фепольям и т. д.), а в случае невозможности решения проблемы в рамках рассматриваемой системы - переход к надсистеме или на микроуровень. Каждое из этих направлений выделено в **отдельный подкласс**.

Большинство стандартов формулируется по общей схеме: цель решения задачи - ограничения на применение стандарта - рекомендации по решению. Первые две составляющие позволяют выбрать стандарт, наиболее полно отвечающий условиям конкретной задачи. Кроме того, каждый стандарт снабжен одним или несколькими примерами, поясняющими принцип их действия.

Ориентироваться в системе стандартов без предварительной подготовке довольно сложно, поэтому рассмотрим более подробно основные идеи, заложенные в каждом классе стандартов.

**Класс 1: «Построение и разрушение вепольных систем»** состоит из двух подклассов.

Основная идея подкласса 1.1 «**Синтез вепольей**» состоит в том, чтобы перейти от невепольей (одно или два вещества, одно поле, одно поле и одно вещество) к полному веполью. Если веполь уже есть, но работает недостаточно хорошо, то его нужно превратить в комплексный веполь, вводя добавку В3 к одному из исходных веществ В1 или В2. Добавка В3 может либо вводиться внутрь В1 или В2 (внутренний комплексный веполь), либо присоединяться к В1 или В2 (внешний комплексный веполь). В качестве В3 в некоторых случаях может быть использована внешняя среда (веполь на внешней среде) или В3 может быть получено путем разложения внешней среды (нагреванием, электролизом и т. д.).

Кроме этого в первый подкласс входят три стандарта: 1.1.6 - 1.1.8, позволяющие осуществить специальные режимы работы: оптимальный, минимальный и максимальный. Таким образом, в стандартах этого подкласса более четко выражены ограничения на применения.

Рассмотрим на практическом примере, как можно пользоваться стандартами подгруппы 1.1.

Задача 1. Геологам необходима передвижная установка, позволяющая измельчать образцы сверхтвердых немагнитных горных пород до размеров частичек 1-100 мкм. Масса одного образца - до нескольких килограммов. Известные шаровые и прочие мельницы не годятся, так как они загрязняют породу частицами самой установки. Как быть?

Из условия задачи следует, что нам дана невепольная система, состоящая из одного вещества  $V_1$  - горной породы, которая плохо поддается изменениям (измельчению). Серьезных ограничений в условиях задачи пока нет, поэтому попробуем воспользоваться стандартом 1.1.1.

Идея решения ясна, остается подобрать необходимые  $V_2$  и поле П. На первый взгляд набор веществ и полей весьма значителен, но при внимательном изучении условий задачи можно убедиться, что это далеко не так. Вещество  $V_2$  не должно засорять  $V_1$ , следовательно, это может быть только нейтральный газ или жидкость, или исчезающее вещество. Поскольку набор таких веществ может быть достаточно большим, попробуем подобрать подходящее поле. Перечень изобретательских полей нам уже известен (**МАТХЭМ**). Попробуем применить их. **Механическое** поле мы уже отвергли (шаровые мельницы). **Акустическое** поле пока пропустим и рассмотрим следующие поля. **Тепловое** поле в данной задаче явно не годится, поскольку при нагревании могут произойти химические реакции, и изменится состав породы, а это нежелательно.

**Электрическое** поле с неэлектропроводящей породой взаимодействовать наверняка не будет. Но по стандарту 1.1.1 поле должно взаимодействовать с  $V_2$ , и уже они вместе должны воздействовать на породу  $V_1$ . Электрическое поле П вместе с  $V_2$  должно создать какие-то нагрузки, удары на породу, чтобы измельчить ее. На помощь тут может прийти хорошо известный электрогидравлический удар (эффект Юткина). Если мы погрузим нашу породу в сосуд с химически нейтральной дистиллированной водой ( $V_2$ ) и создадим в этой воде импульсные электрические разряды, то создающиеся в жидкости импульсные удары и будут дробить породу до необходимых размеров.

Идея решения найдена, а практически она была реализована в установке электроимпульсного измельчения «Дик-1М», созданной в Томском политехническом университете.

Мы получили решение при условии, что допустимо введение нейтральных добавок  $V_2$  в виде воды. Но, допустим, наша порода не должна взаимодействовать даже с водой. Как быть? Ищем другой стандарт, в котором запрещено введение добавок. Это может быть стандарт 1.1.4. Какая внешняя среда имеется у породы? Это - воздух, пусть он и будет веществом  $V_2$ . Теперь нужно найти поле, которое при взаимодействии с воздухом создаст усилия, измельчающие породу. Без долгого анализа можно выбрать акустическое поле П, представляющее собой волны разряженного и уплотненного воздуха. Если на породу воздействовать импульсами воздуха, то будет происходить помол по принципу самоизмельчения. Именно так работает установка импульсного помола, разработанная в том же Томском государственном университете.

Как видим, стандарты подсказывают нам общую идею решения задачи, а экспериментальная проверка и конструкторская проработка идеи остаются за изобретателем.

**Подкласс 1.2 «Разрушение веполей»** помогает в решении тех задач, где имеются вредные взаимодействия между двумя веществами, приводящие либо к повышенному трению, износу, разрушению, либо к ненужному притяжению, соединению, сцеплению и т. д. Для разрушения таких вредных связей стандарты рекомендуют ввести между  $V_1$  и  $V_2$  **добавку  $V_3$** , либо, что более эффективно, ввести между ними **вещество, являющееся видоизменением  $V_1$  или  $V_2$** . Рассмотрим следующую задачу.

Задача 2. Как создать на поверхности бетонной плиты (вещество  $V_1$ ) какое-то покрытие ( $V_3$ ), которое защищало бы бетон от проникновения в его поры воды (вещество  $V_2$ )? Налицо вредное взаимодействие между  $V_1$  и  $V_2$ . Как разрушить его?

В Днепропетровском государственном университете была разработана установка, в которой с помощью плазмотрона (тепловое поле  $\Pi$ ) поверхность бетона нагревается до 5000 К и оплавляется. Получившаяся стеклообразная пленка ( $V_3$ , оно же - видоизмененное  $V_1$ ) прекрасно защищает бетон от воды.

**Класс 2** «Развитие вепольных систем» содержит 22 стандарта в четырех подклассах. В целом эти стандарты продолжают идеи первого класса, предлагая переходить от простых веполь к сложным, форсированным и т.д. Стандарты этого класса достаточно сильно различаются степенью абстрактности: от подсказки направлений решения в достаточно общем виде до почти практических рекомендаций.

**Подкласс 2.1** «Переход к сложным вепольям» содержит два стандарта, основная идея которых состоит в следующем: для повышения управляемости веполь в них нужно ввести дополнительные вещества ( $V_3$  и  $V_4$ ) или поля ( $\Pi_2$ ), превращая обычный веполь в двойной или цепной.

**Стандарты подкласса 2.2 «Форсирование веполь»** имеют значительно более конкретный вид. Для повышения эффективности веполь эти стандарты предлагают не вводить новые вещества или поля, а как-то **интенсифицировать или заменить имеющиеся имеющиеся ресурсы**. В частности, эти стандарты предлагают вместо плохо управляемых полей использовать хорошо управляемые - электрическое, магнитное; перейти от цельного инструмента  $V_2$  к дробному, иногда - к капиллярно-пористому. Кроме того, вместо неоднородных и неупорядоченных полей и веществ рекомендуется перейти в **вепольях** к однородным и упорядоченным полям и веществам. Упорядоченные поля - это обычно либо стоячие волны, либо просто поля определенной конфигурации, полученные конструктивным путем. **Упорядоченные вещества** - это вещества, имеющие расположенные определенным способом слои, добавки, вкрапления, полости, отверстия, содержащие определенные компоненты (например, диэлектрические включения) в определенных точках. Как видим, стандарты этого подкласса предельно конкретны, и нужно лишь суметь использовать их рекомендации для решения своей задачи.

Задача 3. Как закрепить очень маленькую керамическую пластинку, из которой затем делают микросхему, на время ее механической обработки? Обычно это делают с помощью синтетического клея, который затем нужно растворять. Процесс плохо автоматизируется. Различные механические зажимы не годятся. Как быть?

В данной задаче можно выделить сложный веполь, состоящий из трех веществ:  $V_1$  - пластинка,  $V_2$  - клей и  $V_3$  - подставка, между которыми действует механическое поле  $\Pi$  (силы притяжения клея). Веполь плохо выполняет свою задачу, значит, нужно его форсировать, вводя новые вещества или поля, которыми легче управлять.

Легче всего управляется электрическое поле. Именно оно было использовано при разработке электроадгезионной кассеты в Московском приборостроительном университете. Установка представляет собой диск, на поверхности которого имеются концентрические металлические кольца, покрытые сверху защитной пленкой и подключенные к источнику высокого напряжения. Это поле высокой напряженности ( $\Pi$ ) вызывает появление зарядов в любом предмете (вещество  $V_1$ ), находящемся на кассете ( $V_3$ ). За счет взаимодействия зарядов  $V_1$  притягивается к кассете с силой до 25 кг.

**Стандарты подкласса 2.3 «Форсирование согласованием ритмики»** также предельно инструментальны. Они рекомендуют для повышения эффективности согласовывать частоты изменений поля (или полей) с собственной частотой изделия или выполнять различные действия в импульсах и паузах периодических процессов. Как видим, эти стандарты во многом повторяют уже рассмотренные нами ранее приемы устранения ТП.

**Подкласс 2.4 «Феполи»** содержит 12 стандартов. Основная идея этого подкласса заключена в стандартах 2.4.1 и 2.4.2, рекомендующих для повышения управляемости перейти к «феполям». **Феполь** - это веполь, в котором  $B_2$  - ферромагнетик, управляемый магнитным полем ПМ. Переход к феполям - очень сильный ход, который «срабатывает» во многих задачах, где допустимы добавки в виде частиц, порошка или магнитных жидкостей.

Основная идея подкласса развита в стандартах 2.4.5 - 2.4.10 в полном соответствии с уже рассмотренными идеями первого и второго подклассов. Если вводить ферромагнетики по условиям задачи нельзя, то предлагается либо построить **комплексный веполь с добавкой ферромагнетика**, либо попробовать использовать для этих целей внешнюю среду.

Если феполь удалось построить, то его эффективность может быть повышена путем использования физических эффектов, структуризацией веществ и полей, согласованием ритмики.

Последние два стандарта (2.4.11 и 2.4.12) знакомят нас с еще одним типом веполя – «эполем», который управляется уже только электрическим полем.

Задача 4. В некоторых производствах возникает задача разделения на фракции пористых веществ по степени их пористости. Разделение по плотности не получается из-за разнородности исходных веществ. Как быть?

В соответствии со стандартами подкласса 2.4 в а. с. 1052264 предложено заполнять поры веществ ферромагнитным материалом, а затем уже проводить магнитную сепарацию.

Основные идеи стандартов *класса 3* вынесены в его название: **«Переход к надсистеме и на микроуровень»**. Два подкласса развивают эти идеи и подсказывают изобретателю, как осуществить такой переход.

К стандартам третьего класса принято обращаться, когда иссякают все внутренние ресурсы развития и совершенствования объекта «внутри себя» в соответствии с рекомендациями стандартов первых двух классов. Исчерпав все эти ресурсы, можно попробовать решить задачу, перейдя на качественно иной уровень, например, в надсистему.

С понятием «надсистема» мы уже встречались, оно означает совокупность объединенных общим названием множества элементов, одним из которых и является рассматриваемый объект. Для карандаша надсистема - это множество рисовальных и чертежных принадлежностей; для стола - мебель, предназначенная для удовлетворения потребностей человека; для железнодорожного вагона - весь железнодорожный транспорт, перевозящий грузы и т.д. Не сумев решить задачу в заданных условиях, можно попробовать перейти в надсистему и попытаться найти решение через преобразование уже в надсистеме.

**Стандарты подкласса 3.1 «Переход к би- и полисистемам»** как раз и показывают нам, как можно осуществить переход в надсистему. Для этого стандарты рекомендуют перейти от одного к двум (би-система) или многим (полисистема) объектам. Причем эффективность этих би- и полисистем будет выше, если соединенные в них элементы будут обладать либо сдвинутыми по отношению друг к другу, либо даже противоположными характеристиками. Например, известен проект экологически чистых коровников-теплиц, где коровы потребляют выращенную в теплице траву, а тепло из коровника и от перегнивающего навоза обогревает теплицу и сам навоз удобряет почву.

**В подкласс 3.2 «Переход к подсистемам»** входит один стандарт, отражающий один из основных ЗРТС - **перехода технической системы на микроуровень и преимущественного**

**использования полей.** Стандарт рекомендует для повышения эффективности работы объекта перейти к управлению в подсистеме, т. е. попробовать решить задачу не на уровне всего объекта, а на уровне его элементов. При этом часто удается найти такие вещества и поля, которые легко решают самую сложную задачу. Например, этот стандарт очень эффективен, когда необходимо осуществить точные, дозированные микродействия - перемещение, регулировку зазоров, размеров и т. д. Механические устройства, выполняющие эти действия, обычно очень сложны и дороги. В то же время просто и дешево эта проблема решается на микроуровне - за счет изменения размеров материалов под действием теплоты, магнитного или электрического поля.

**Класс 4 «Стандарты на обнаружение и измерение систем»** состоит из пяти подклассов.

Стандарты подкласса **4.1 «Обходные пути»** содержат несколько достаточно практических идей: если возникла задача измерения, нужно попробовать изменить технологический процесс таким образом, чтобы надобность в измерениях отпала. Если это не удастся, можно попробовать работать с копией объекта - в прямом соответствии с приемом «копирование». В крайнем случае, можно попробовать ввести в объект индикаторы и вместо измерений проводить последовательное обнаружение, что обычно значительно легче. Например, предлагается шины гоночных автомобилей делать из полос цветной резины. Тогда по цвету покрышки можно легко определить степень износа протектора.

Если обходные пути не удалось реализовать, то на помощь приходят стандарты подклассов: **4.2 «Синтез измерительных систем»**, **4.3 «Форсирование измерительных веполей»** и **4.4 «Переход к фепольным системам»**. Идеи стандартов этих подклассов полностью повторяют идеи стандартов первого, второго и третьего классов - достроить полный веполь, затем построить комплексный, веполь на внешней среде и т. д.; форсировать веполи с помощью резонанса или других физических эффектов; перейти к феполью - простому, комплексному, феполью на внешней среде и т. п.

Основные отличия стандартов четвертого класса от всех предыдущих состоит в том, что при постройке и форсировании веполей нужно использовать такие вещества и поля, которые дают на выходе легко обнаруживаемое «измерительное поле» - электрическое, магнитное, зрительное и другие.

Отделить руду от угля прямо на ленте конвейера, определить момент закипания воды, найти активные точки на теле человека - эти и множество других задач решаются путем пропускания электрического тока через объекты контроля (ПЭЛ). Определить объем жидкости в стационарной емкости или напряжения в переборках подводной лодки можно с помощью другого поля - акустического, возбуждая в этих объектах резонансные колебания. В этих и многих других «измерительных» задачах главное - суметь достроить или форсировать «измерительный» веполь.

**Подкласс 4.5 «Направление развития измерительных систем»** показывает, что измерительные системы имеют тенденцию развития к би- и полисистемам, и также по направлениям: «измерение функций - измерение первой производной функции - измерение второй производной функции». Например, для предсказания землетрясений измеряют электрическое сопротивление слоев Земли. Наибольшую же информацию дает не само сопротивление, а скорость его изменения.

**Класс 5 «Стандарты на применение стандартов»** состоит из пяти подклассов и предназначен для обхода ограничений, имеющихся в условиях задачи и не позволяющих использовать стандарты предыдущих классов. Стандарты этого класса в большинстве своем предельно конкретны и инструментальны.

В подкласс 5.1 «Введение веществ» входят стандарты, позволяющие обойти противоречие типа: «необходимо ввести вещество - нельзя вводить вещество». Стандарты этого подкласса предлагают использовать вместо вещества пустоту, поля, наружные или особо активные добавки. Каждый из этих стандартов уже использовался в сотнях изобретений и найдет применение еще много раз.

Стандарты подкласса 5.2 «Введение полей» позволяют обойти ограничения на введение полей. Для этого предлагается либо более интенсивно использовать уже имеющиеся в системе поля, либо использовать поля внешней среды, либо попробовать найти поля в имеющихся в объекте веществах.

Стандарты подкласса 5.3 «Фазовые переходы» содержат рекомендации более интенсивно использовать фазовые переходы или ввести специальные взаимодействия между частями ТС.

Стандарты подкласса 5.4 «Особенности применения физических эффектов» показывают особенности использования физических эффектов при решении изобретательских задач.

Стандарты подкласса 5.5 «Экспериментальные стандарты» предназначены для проверки решений в изобретательской практике.

Проведенный нами краткий обзор основных идей, заложенных в систему стандартов, показывает, что они представляют собой мощный информационный фонд изобретательских идей, который может во многом облегчить труд изобретателя. Более полные тексты стандартов с примерами их применения представлен в [2].

### **Указатели эффектов для решения изобретательских задач**

Для решения многих задач повышенной сложности требуются самые различные изобретательские инструменты, позволяющие по-новому взглянуть на задачу, построить ее модель и подсказывающие правила преобразования этой модели. Но иногда для решения задач всего этого бывает недостаточно. Не хватает каких-то знаний, без которых «зависают» самые смелые проекты. Подобная ситуация встречается достаточно часто, и для выхода из нее уже давно создаются специальные изобретательские банки знаний, и в первую очередь фонды и указатели различных эффектов и явлений.

Под **эффектом** в данном случае понимается некоторое стабильно повторяющееся взаимодействие с однозначной зависимостью между входными и выходными параметрами. **Изобретательские эффекты** могут быть самыми разными – **физическими (ФЭ), химическими(ХЭ), биологическими(БиоЭ), математическими(МатЭ).**

Если проанализировать существующий фонд патентной информации, то можно убедиться, что основой многих сильных изобретений является использование одного или нескольких физических эффектов. Это естественно, поскольку помимо решения чисто фундаментальных задач, стоящих перед любой наукой, и, в частности, перед физикой, целью многих исследователей является получение прикладных результатов для последующего использования в практической деятельности. Так, только за последние десятилетия в обиход вошло применение таких эффектов, как лазерное излучение, ядерные реакции, целый комплекс явлений в полупроводниковых материалах и т. д.

С рекомендациями по использованию знаний в области физики мы сталкиваемся уже на стадии предварительного анализа (шаги 9 – 11); ряд сильных идей по использованию физических эффектов содержится и в перечне приёмов разрешения ТП (см., например, приёмы 35 – 37) и в стандартах на их применение (вспомним, хотя бы, о феполях и эполях).

Осознание важности знаний в области физики привело исследователей инженерного творчества к мысли о создании **указателей физических эффектов**, которые позволяли бы

дать оперативную информацию о том, какой эффект может помочь осуществлению того или иного требуемого действия.

Рассмотрим пример удачно использованного хорошо известного ФЭ - термического расширения - для решения практической задачи.

Токарной обработке цилиндра с очень тонкими стенками мешает вибрация, в результате которой образуется точеная поверхность, похожая на муаровую ленту. Исключить вибрацию можно, посадив заготовку цилиндра на оправку с коэффициентом линейного расширения, большим, чем у материала заготовки. При нагреве цилиндр плотно фиксируется расширившейся оправкой, и его теперь можно обточить, как обыкновенный массивный валик (а. с. 931300).

Ознакомление с подобными указателями значительно расширяет кругозор инженера, развивает его воображение, позволяя решать многие задачи по аналогии с примерами, обычно приводимыми в тексте.

Однако сильное решение может быть получено при использовании не только физических, но и химических эффектов. Кстати, их применение предусмотрено, например, некоторыми типовыми приемами устранения ТП (приёмы 35, 38, 39). Использование химических эффектов для решения изобретательских задач привлекательно тем, что получаемые при этом изменения физических свойств рассматриваемого элемента обычно во много раз превосходят аналогичные изменения, получаемые с помощью физических эффектов. В то же время, в отличие от физэффектов, химические, как правило, необратимы и поэтому их применяют в основном в тех случаях, когда требуется однократное действие.

Многие ФЭ и ХЭ тесно связаны друг с другом, и порой трудно отделить чисто ХЭ от физико-химического или даже просто ФЭ. Примерами проявления такой связи можно считать явления адсорбции и десорбции, люминесценции, молекулярной и атомной эпитаксии и т. п. Кроме того, для интенсификации ряда химических явлений часто используют чисто физические воздействия: повышение температуры, применение ионизирующего излучения, перемешивание, дробление, использование засветки с излучением требуемой длины волн, электрических разрядов и т. д.

Преобразование вещества, энергии и информации - это три большие группы задач, где на помощь приходит химические эффекты. Для практических целей удобно пользоваться указателями, также построенными по принципу «требуемое действие – рекомендация по его реализации».

Пример. При ремонте квартиры или любого другого помещения полы, окна, мебель защищают старыми газетами или тряпками, чтобы свести к минимуму уборку после ремонта. Если с полом это еще более или менее удобно сделать, то качественная защита окон, дверей, мебели - довольно трудоемкая задача, требующая не только определенного времени, но и наличия больших листов бумаги (или, по крайней мере, скрепления в большие листы маленьких). Бумага может порваться, промокнуть и т. д., поэтому желательно такой способ защиты заменить лучшим. Но каким?

Защитить поверхность окон, дверей, мебели можно при помощи химических эффектов, которые связаны с изменением свойств этой поверхности, например, с применением специальных покрытий из лака. Так, защитный лак «протектин» (Чехия) на основе поливинилхлорида и поливинилацетата, который наносят кистью или краскопультом на пол, мебель и т.д., предохраняет их поверхность не только от грязи, но и от царапин. Когда ремонт кончится, достаточно надорвать слой лака, и вся пленка, а вместе с ней и грязь, легко снимутся. Килограмма лака хватает на 8 квадратных метров поверхности, время уборки мусора сокращается на порядок.

Задача решена, но возможны варианты ее развития. Попытаемся увидеть возможности использования полученной идеи в областях, отличных от решаемой задачи. Это могут быть:

защита не застывших бетонных поверхностей от атмосферных осадков, консервация на зиму автомобилей, упаковка различных изделий, изготовление рельефных форм и многое другое.

Изобретателю не стоит забывать о математике в целом, а, особенно, о геометрии. Именно геометрические эффекты довольно часто используют в изобретательской практике при решении различных задач. Они позволяют получать сильные решения простым изменением формы объекта - изделия. Среди типовых приемов устранения ТП, в которых основой является применение геометрических эффектов, можно выделить приёмы 4, 7 14, 17.

Среди типовых приёмов устранения технических противоречий (ТП), есть, например, принцип копирования (приём 26). Согласно этому принципу рекомендуется вместо недоступного, сложного, дорогостоящего, неудобного или хрупкого объекта использовать его упрощенные или дешевые копии. В этих целях можно использовать подобные фигуры - уменьшенные копии объекта (именно так зачастую и поступают при гидро- и аэродинамических испытаниях). В то же время существуют ситуации, когда в силу определенных физических ограничений принцип подобия использовать нельзя. В этом случае на помощь могут прийти конформные отображения, меняющие не только размеры, но и форму модели.

Так, определить циркулярное сопротивление, возникающее при развороте корабля, поворачивая его уменьшенную модель невозможно - нарушаются критерии подобия. Однако в этом случае можно использовать «кривую» модель, сопротивление которой легко можно пересчитать на сопротивление самого корабля.

На необходимость применения того или иного геометрического эффекта может указать сам арсенал ТРИЗ. Так, противоречивые требования к объекту иногда могут быть удовлетворены в том случае, если отдельные его части имеют разную форму. Зачастую использование эффектов этого типа можно рассматривать как примеры использования ВПР, которым является форма самого объекта или его частей.

Фрагменты указателей приведены в приложении 5. Более полные тексты **эффектов** с примерами их применения представлен в [2].



## АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ АРИЗ-85В

В широком смысле слово «алгоритм» означает достаточно четкую программу действий в любой области человеческой деятельности. Различного рода алгоритмы люди широко применяют на протяжении всей своей жизни. Осознать же необходимость алгоритмизации мыслительных операций, построить общие принципы таких алгоритмов, человечеству удалось сравнительно недавно. С осознания того, что в изобретательской деятельности отсутствуют подобные алгоритмы, по сути, и началось развитие Теории решения изобретательских задач. Поэтому один из главных успехов ТРИЗ на этом пути как методологии решения задач – создание **Алгоритма решения изобретательских задач (АРИЗа)**.

АРИЗ-85В (далее просто АРИЗ) – это комплексная программа алгоритмического типа в широком понимании понятия слова «алгоритм», базирующаяся на законах развития технических систем и предназначенная для получения решения изобретательских задач.

В основу АРИЗ заложен ряд принципов:

1. АРИЗ - это программа последовательных операций по обработке изобретательской задачи путем выявления противоречия, из-за которого она возникла, и его устранению с помощью применения особых операторов и специализированных информационных фондов. Законы развития технических систем заложены в самой структуре программы или выступают в виде конкретных операторов. Программа позволяет шаг за шагом, от оператора к оператору переходить от случайной постановки задачи к постановке, обоснованной через реконструкции изобретательской ситуации, затем к предельно упрощенной модели задачи, модели идеального решения, анализу противоречий и поиску способов их разрешения.

Постепенное преобразование задачи, последовательный переход от формулировки административного противоречия к техническому, а в пределе к физическому противоречию, сопровождается все более глубоким проникновением в ее физическую сущность и позволяет последовательно подключать к решению различные операторы, обеспечивая все более высокий уровень решения по мере продвижения по АРИЗ. При этом возможно последовательное подключение как отдельных инструментов, так и одних и тех же операторов в тех случаях, когда формулировка этапа анализа позволяет это сделать.

2. АРИЗ снабжен постоянно пополняемым обширным, но в то же время компактным информационным фондом (набором инструментов преобразования системы): приемов преодоления технических и физических противоречий, указателей физических, химических и геометрических эффектов и явлений.

3. Программу реализует человек (даже тогда, когда ему в этом помогает ЭВМ). Поэтому необходимы средства управления психологическими факторами: нужно гасить психологическую инерцию и стимулировать воображение.

Для подавления психологической инерции АРИЗ содержит специальные операторы. Одним из них выступает рекомендация по устранению из формулировки задачи специальных терминов - основного психологического тормоза, связанного с узкой специализацией инженера. Другим является метод моделирования маленькими человечками (ММЧ) - нарисованные по определенным правилам условные картинки, на которых

требуемое действие выполняются группой маленьких рисованных человечков, олицетворяющих те или иные реальные физические объекты, физические процессы в них происходящие и действия, необходимые для устранения нежелательных явлений. Мощным «антиинерционным» воздействием обладает неоднократно применяемая на протяжении анализа формулировка идеального конечного результата (ИКР), нацеливающего на минимальные изменения в системе и на использования при этом, прежде всего, ресурсов самой системы. Даже если, в конце концов, попытка получить результат «без ничего» и не удастся, то нацеленность на идеальный результат позволяет сократить путь к решению и получить более внедряемый результат.

Значительное психологическое значение имеет уже само использование АРИЗ - работа по программе придает решателю уверенность, позволяет более смело выходить за пределы узкой специализации и тем самым стимулирует мысль на движение в наиболее перспективном направлении.

В сущности, АРИЗ организует мышление инженера так, как будто в распоряжении одного человека имеется опыт всех (или очень многих) изобретателей. Беспорядочному, неуправляемому движению мысли при решении задач 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 этапа АРИЗ вырабатывает «аризный» (диалектический) стиль мышления.

Автор АРИЗа Г.С.Альтшуллер начал работу над первым вариантом алгоритма в 1946 году, а первые публикации на эту тему появились в середине 50-х годов. За это время АРИЗ, как система, а вместе с ним и вся ТРИЗ прошли несколько этапов развития. Автор АРИЗ так описывает историю эволюции алгоритмов.

**На первом этапе** проблема ставилась так: «Надо изучить опыт изобретательского творчества и выявить характерные черты хороших решений, отличающие их от плохих. Выводы могут быть использованы при решении изобретательских задач».

Уже при такой постановке удалось обнаружить, что решение изобретательских задач оказывается сильным, если оно преодолевает техническое противоречие (ТП), содержащееся в поставленной задаче. Оказалось также, что даже самые сильные изобретатели не понимают, что правильная тактика решения изобретательских задач должна состоять в том, чтобы шаг за шагом выявлять ТП, исследовать его причины и устранять их, тем самым, устраняя и само ТП. Стало понятным, что изучение опыта отдельных, даже самых талантливых изобретателей не способно что-то дать для создания теории.

**На втором этапе** была сформулирована задача по созданию программы планомерного решения изобретательских задач, годной для использования всеми изобретателями. Программа, не заменяя знаний и способностей самого изобретателя, должна была вооружить его методом пошагового анализа задачи, позволяющего без ошибок сформулировать техническое противоречие. Глубокий научный анализ большого патентного материала (десятков тысяч специально отобранных решений в передовых отраслях техники) позволил сформулировать основные законы развития технических систем и выявить и обобщить в виде инструментального материала типовые технические противоречия и приемы их устранения. Именно на этом этапе появились первые модификации АРИЗов и первые учебные семинары, на которых проходила обкатка и выявление направлений дальнейшего их совершенствования.

И снова обнаружилось нечто новое. Оказалось, что для получения наиболее эффективных решений сложных задач необходимо выходить за пределы знаний и навыков, определяющих данную специальность. Отсюда неизбежно вытекал вывод, что ни личные знания изобретателя, ни его природные способности не могут служить надежной основой для эффективной организации творческой деятельности. При решении задач высокого уровня сложности изобретатель должен располагать знаниями во много раз превышающие

возможности человека их приобрести. Это позволило сформировать вывод, что для эффективной творческой деятельности нужно не только придерживаться определенных правил анализа задачи, но и использовать специально созданное **информационное обеспечение**.

Решение этой задачи и стало делом **третьего этапа** развития АРИЗ и всей теории. Было осознано, что решить ее можно только коллективными силами разработчиков. В процессе этой работы был создан **язык моделирования технических систем (вепольный анализ)**, разработана система комплексных приемов решения задач (**система стандартов**), опирающихся на систему законов развития технических систем, созданы **указатели физических, химических и геометрических эффектов и явлений**. Очень быстро выяснилось, что разработанная теория позволяет не только делать отдельные шаги в развитии техники, но и перейти к обоснованному законами развития прогнозированию ее эволюции и осуществлению развития, не дожидаясь обострения противоречий, обусловленных изменением претензий внешней среды.

АРИЗ - это система мыслительных операций. Как всякая система она имеет свою структуру. Какова она?

Уже первые исследования развития конкретных технических систем показали, что:

- отдельные их элементы всегда находятся в тесной взаимосвязи;
- развитие происходит неравномерно: одни элементы обгоняют в своем развитии другие, отстающие;
- планомерное развитие системы оказывается возможным до тех пор, пока не возникнут и не обострятся противоречия между совершенным элементом системы и отстающим;
- это противоречие является тормозом общего развития системы; устранение противоречия и есть изобретение;
- коренное изменение одной части системы вызывает необходимость ряда функционально обусловленных изменений в других частях; чем ближе в смысле взаимодействия смежные системы, тем существеннее в них эти изменения.

Отсюда следовало, что каждое творческое решение новой технической задачи - независимо от того, к какой области техники, и, как выяснилось в дальнейшем, независимо от вида интеллектуальной деятельности, - должно включать три основных структурных элемента, три структурные фазы:

- постановка задачи и проведение анализа ее условий, в процессе которого выявляется техническое и затем физическое противоречие, которые мешают решению задачи известными в технике путями. При этом осуществляется последовательное углубление модели самой задачи для вскрытия все более глубокого «физического» существа этих противоречий.
- устранение причин противоречий с целью достижения нового, более высокого технического эффекта. Для этого последовательно включается ряд инструментов от простых аналогий до специально выявленных и обобщенных для решения задач в данной сфере интеллектуальной деятельности приемов.
- приведение других элементов совершенствуемой системы в соответствие с измененным элементом.

Эти три стадии в ТРИЗ принято называть аналитической, оперативной и синтетической стадиями решения.

Если теперь с этих позиций обратиться к рассмотрению методов, которые мы назвали неалгоритмическими, то станет ясно, что они отличаются от АРИЗ отсутствием как аналитической стадии, так и синтетической. Лишь синектика включает в себя некоторые элементы анализа, что позволяет специалистам говорить о некоторой большей ее эффективности в сравнении, например, с мозговым штурмом.

Отметим еще раз, что АРИЗ прошел длительный путь своего развития и становления. Последняя его модификация (АРИЗ-85В) впитала в себя все последние достижения ТРИЗ

как науки. Он позволяет решать весьма сложные технические задачи. Однако, как и всякий сложный инструмент, он требует для своего эффективного использования хороших навыков, достигаемых серьезным и обстоятельным обучением.

Как мы уже говорили раньше, изобретательские задачи различаются по сложности. Простыми оказываются, например, задачи, для получения удовлетворяющего запросам практики решения которых хватало бы знаний и навыков специалистов данной узкой области. Иное положение складывается в случае, когда требуется спроектировать или улучшить свойства сложной многофункциональной системы, - такие задачи требуют привлечения значительного числа специалистов с широким кругозором. Возникает вопрос: если в реальных условиях задачи имеют разный уровень сложности, то всегда ли требуется применение сразу такого мощного инструмента как АРИЗ-85В? Конечно же, нет!

Более рациональным, как мы уже отмечали при рассмотрении стратегии и тактики решения задач, является применение к относительно простым задачам иных, более простых инструментов. Мы уже знаем, что к таким инструментам относятся неалгоритмические методы активизации творческого воображения (раздел 3.2), а также - более ранние, точнее, несколько модифицированные с учетом представлений сегодняшнего дня варианты алгоритмов (ПА и УА – разделы 4.2 и 4.5). Такой подход вполне правомерен, так как каждый из предыдущих алгоритмов обладал своей возрастающей от варианта к варианту мощностью. А поскольку, приступая к решению той или иной задачи, мы заранее не знаем уровень ее сложности, **стратегия** решения заключается в последовательном подключении к работе инструментов всё возрастающей силы.

Частные алгоритмы совместно с АРИЗ-85В образуют единую систему, системным качеством которой является повышение эффективности решения задач, сокращение времени на освоение теории, более ранняя ориентация человека, изучающего данную науку, на решение собственных производственных задач непосредственно в процессе обучения ТРИЗ. Анализ задачи на первых этапах, то есть с применением более простых, нежели АРИЗ-85В, инструментов, расшатывает психологическую инерцию, и в том случае, если даже решение на этой стадии и не было получено, облегчает переход к более сильным инструментам и их использование.

Укрупненный ход анализа ключевой проблемы, реализованный в Алгоритме решения изобретательских задач (АРИЗ-85В), имеет, в общем виде, следующую укрупненную последовательность шагов:

- уточнение конкретной цели, с которой ставится задача;
- проверка возможности выбора обходного пути;
- формулирование технического противоречия (ТП);
- выделение (конкретизация) участников конфликта (конфликтующей пары элементов системы);
- формулирование модели задачи с выделением в ней оперативной зоны, в которой локализуется конфликтное действие, и оперативного времени, в которое конфликт проявляется;
- определение вещественных, полевых, временных и информационных ресурсов самой системы и внешней среды, которые могут быть потенциально задействованы для решения задачи;
- определение идеального конечного результата (ИКР), т.е. того наиболее сильного решения, к которому и требуется стремиться;
- формулирование физического противоречия (ФП) и способов его преодоления.

В заключение приведем структуру АРИЗ-85В.

Алгоритм включает девять частей:

**Аналитическая стадия**

1. анализ задачи;
2. анализ модели задачи;
3. определение идеального конечного результата (ИКР) и физического противоречия (ФП);

**Оперативная стадия**

4. мобилизация и применение вещественно - полевых ресурсов (ВПР);
5. применение информационного фонда;

**Синтетическая стадия**

6. изменение и (или) замена задачи;
7. анализ способа устранения ФП;
8. применение полученного ответа;
9. анализ хода решения.

Полный текст алгоритма и пояснения к нему приведены в части II пособия [2].



## Приложение 1. АЛГОРИТМ ПА

**ВАЖНО (!!!)**, что решение задачи может возникнуть на каждом шаге алгоритма. Но не останавливайте ход анализа. Запишите (!) полученную идею и продолжайте (!! ) решение по алгоритму.

**1. Опишите, не используя (по возможности) специальных технических терминов, состав системы, с которой предстоит иметь дело, взаимосвязи между элементами системы, порядок действий, которые выполняет система, действия внешней среды, направленные на выполнение системой своей функции.**

Примечание 1: Использование специальных терминов увеличивает психологическую инерцию, привязывает к образу старой системы!!!

Примечание 2: Используйте на этом шаге вопросы Квинтилиана: что, где, когда, кто, зачем.

**2. Дайте ответ на вопрос, какова конечная цель, с которой ставится задача**

Часто задача *задачедателем*, как утверждают специалисты по техническому консалтингу, ставится неточно и даже неверно!!! Поэтому на этой стадии анализа целесообразно задать такие вопросы *задачедателю*, чтобы максимально конкретизировать конечную цель. Правильный выбор конечной цели - важный шаг, какова конечная цель, таков и весь ход дальнейшего решения. Поэтому, приступая к решению практической задачи, не забудьте еще и еще раз проверить себя: ту ли цель вы выбрали? При этом не исключено, что в ходе дальнейшего анализа по данному алгоритму, конечную цель придется переформулировать. Может также выясниться и ненужность решения задачи вообще.

**3. Определите, в какой постановке будет решаться задача: в первоначальной или «обходной»**

Рекомендуется всегда начинать решение с мини-задачи. Мини-задачу получают из изобретательской ситуации введением ограничения: «Все остается без изменений или упрощается, но при этом появляется требуемое действие (свойство) или исчезает вредное действие (свойство)». Решение, полученное для мини - задачи, как правило, легче внедряется в производство. Именно поэтому в рамках данного алгоритма мы всегда решаем мини-задачу. Этот шаг введен в алгоритм как раз потому, что слушатели часто пытаются сразу перейти на рельсы поиска обходного пути.

**4. Что желательно получить в самом идеальном случае (ИКР)?**

На этом шаге формулируется **идеальный конечный результат (ИКР)**, состоящий в том, что система **сама** (или ее часть) при минимальных изменениях

обеспечивает достижение конечной цели. Именно поэтому в ответе на этот вопрос обязательно должно присутствовать слово «сама» («сам», «само», «сами»).

**Примечание.** Такая формулировка ИКР в дальнейшем должна нацеливать на получение решений, основывающихся, прежде всего, на изменениях в элементах рассматриваемой системы, определенных на первом шаге.

Поэтому формулировок ИКР надо написать столько, сколько элементов системы вы определите на первом шаге.

Существуют два полезных правила, помогающих точнее определить ИКР:

- не следует загадывать заранее, возможно или невозможно достичь идеального результата;
- не надо заранее думать о том, как и какими путями будет достигнут конечный результат.

Отметим здесь же, что решение задачи может появиться на любом этапе анализа задачи. Однако не следует спешить и останавливать анализ. Для оценки качества найденного решения полезно провести анализ до конца, после чего проконтролировать ответ на соответствие законам развития технических систем (ЗРТС).

#### **5. На этом шаге ПА следует определить:**

**«В чем состоит помеха? В чем существо конфликта? Что мешает получению ИКР?»**

Ответ на этот вопрос должен заканчиваться фразой «..., а это недопустимо».

Этот шаг позволяет нам сформулировать и **техническое противоречие (ТП)**, лежащее в основе рассматриваемой задачи.

**6. Надо сформулировать: в чем состоит конкретная научно- или технически обоснованная причина помехи? («почему мешает?»); какое свойство системы или ее элемента мешает.**

*Мир «физичен»:* в основе взаимодействия систем и их частей лежат явления, подчиняющиеся законам природы, поэтому при формулировании этого шага могут возникнуть трудности – не хватает конкретных знаний. В этом случае целесообразно обратиться к справочной литературе, учебникам, побеседовать со специалистами в данной области знаний.

#### **7. Определите, при каких условиях помеха исчезнет**

Сформулируйте для определенного на предыдущем шаге «свойства» его «анти-свойство», «анти-действие» .

#### **Воспользуйтесь следующими рекомендациями:**

- Привлеките для нахождения решения **прямые аналогии** (как эта задача решается в быту, в других отраслях), **биоанalogии** (как задача решается в живой природе - во флоре и фауне), **личную аналогю** (представить себя в роли объекта). **Очень полезно, как показывает опыт, применить метод моделирования маленькими человечками.**



- Рассмотрите, прежде всего, возможность изменения в самой системе или ее элементах (это соответствует Вашей формулировке ИКР). Обратите внимание на имеющиеся в системе ресурсы (см. ВПР).

- Если не удастся реализовать предыдущий пункт, то рассмотрите возможность изменений во внешней среде, других объектах, работающих совместно с данной системой, в надсистеме.

- Рассмотрите, как решаются в технике задачи, обратные данной.

**8. Если решение задачи найти не удастся, то, прежде всего, рекомендуется еще раз проверить формулировки шагов алгоритма, начиная со второго, и при необходимости переформулировать конечную цель, с которой ставится задача, а также ИКР, отнеся его к другому элементу системы.**

**Если, тем не менее, решение не найдено, перейдите к следующему пункту**

**9. Если в качестве помехи получения ИКР на шаге 5 выступает недостаток или отсутствие энергии, то предлагается рассмотреть следующие возможности:**

1. использовать «вредную» энергию, силу;
2. использовать бесплатную энергию, силу;
3. выяснить: не простаивает ли рядом двигатель;
4. уменьшить потери энергии, силы;
5. скомпоновать простейшую машину (рычаг, клин, полиспаг, лук, домкрат и т. п.).
6. рассмотреть возможность создания силы, энергии с помощью наиболее часто используемых веществ (см. перечень таких веществ в разделе 2.4).

**10. Если в качестве помехи выступают:**

- недопустимое увеличение
  - веса объекта,
  - его длины,
  - площади,
  - объема,
  - формы,
  - расхода энергии или мощности,
- снижение надежности,
- малая производительность,
- противоречивое сочетание требований к условиям работы,
- возникновение вредных факторов,

**то рекомендуется рассмотреть возможность использования следующего набора приемов устранения типовых технических противоречий.**

***Вес объекта:***

- изменить условия работы так, чтобы не приходилось поднимать или опускать объект;
- разделить объект на две части – «тяжелую» и «легкую», перемещать только «легкую» часть;
- передать объекту дополнительные функции, чтобы уменьшить вес других объектов, работающих совместно с данным;
- компенсировать вас внешними силами (магнитными, центробежными, аэродинамическими и т. д.);

- сделать движущиеся части неподвижными и, наоборот, подвижные части сделать движущимися;
- в процессе работы уменьшить вес объекта (например, отбрасывая отработанные части).

***Длина объекта:***

- разделить объект на части, соединенные гибкими связями;
- положить объект набок;
- изменить длину объекта при переводе его в рабочее состояние.

***Площадь объекта:***

- перейти от «одноэтажной» компоновке к «многоэтажной»;
- изменить в процессе работы площадь объекта.

***Объем объекта:***

- разделить объект на две части – «объемную» и «необъемную», после чего вынести «объемную» часть за пределы, ограничивающие объем;
- совместить в пространстве несколько объектов по принципу «матрешки»;
- изменить объем объекта при переводе его в рабочее положение.

***Форма объекта:***

- изменить положение объекта в пространстве (наклонить, перевернуть, положить набок, вывести из плоскости);
- разделить объект на части, соединенные гибкими связями;
- создать предварительное изменение формы (противоположное недопустимому);
- выполнить объект из материала, допускающего изменение формы при работе;
- перейти от постоянной формы объекта к переменной.

***Расход мощности, материалов, энергии:***

- перейти от механической схемы к электрической или оптической;
- разделить объект на части, приблизить каждую часть к тому месту, где она работает;
- машина должна не только выполнять основную работу, но и сама себя обслуживать (например, разгружать);
- компенсировать расход энергии получением какого-либо дополнительного эффекта;
- перейти от непрерывной подачи мощности к периодической (например, импульсной).

***Снижение надежности:***

- создать легко используемый запас рабочих органов;
- дорогостоящую долговечность заменить дешевой недолговечностью;
- разделить объект на несколько частей, с тем, чтобы при выходе из строя одной части объект в целом сохранил работоспособность.

***Снижение производительности:***

- увеличить число одновременно действующих объектов;
- перейти от прерывистого процесса к непрерывному, например, от прямолинейного движения к вращательному. Изменить агрегатное состояние объекта;
- разделить объект на части, изготавливать, обрабатывать, грузить и т.д. каждую часть отдельно, а затем производить сборку;

- перейти от последовательного проведения этапов процесса к одновременному (например, самонарезающийся винт).

***Противоречивое сочетание требований к условиям работы объекта:***

- изменить цвет объекта, сделать объект прозрачным;
- разделить объект на части; поставить каждую часть в благоприятные условия;
- совместить несовместимое оптически (например, стереоскопическая рентгено съемка);
- объект должен менять свои свойства при изменении условий работы.

***Вредные факторы, например, внешние силы:***

- изменить агрегатное состояние объекта;
- выделить из свойства объекта вредное свойство и ликвидировать его.
- выделить наиболее полезное свойство и использовать его без самого объекта;
- ликвидировать вредные факторы за счет частей объекта, имеющих другое основное назначение;
- компенсировать вредные факторы за счет самих этих факторов.
- использовать вредные факторы для выполнения полезной работы;
- усилить или преобразовать вредные факторы так, чтобы они перестали быть вредными (например, шумный звук перевести в ультразвук).

**11. Сформулируйте физическое противоречие (ФП) в следующем кратком виде: элемент системы должен быть (указать состояние), чтобы выполнять (указать одно из конфликтных свойств, действий или требований), и должен быть (указать противоположное состояние), чтобы выполнять (указать другое конфликтующее свойство, действие или требование)**

Рассмотрите возможность разрешения ФП, применив одну из следующих формулировок приема:

- разрешение противоречия *во времени*: в интервале времени  $\Delta t_1$  рассматриваемая система обладает свойством «А», а в интервале времени  $\Delta t_2$  - свойством «не А»;
- разрешение противоречий *в пространстве*: одна часть системы (или система в целом) обладает свойством «А», а другая часть (части) - свойством «не А»;
- разрешение противоречия *в воздействиях*: при воздействии **1** система обладает свойством «А», а при воздействии **2** (или, в частном случае, при воздействии 1, равном нулю) - свойством «не А».

**12. Если решение задачи Вас удовлетворяет, то сформулируйте те изменения в частях системы, которые необходимо произвести, чтобы согласовать их взаимодействие, если решение вас не удовлетворяет (частично или полностью), то:**

- *вернитесь к началу алгоритма и проверьте правильность формулировок конечной цели, ИКР, причины помехи (то есть проведите повторный анализ);*
- *если и в этом случае Вы не удовлетворены решением, то перейдите к алгоритму углубленного анализа задачи (У- анализ).*

## Приложение 2. Алгоритм «Углублённый анализ» (УА)

Итак, возможно, что и после проведения предварительного анализа решение интересующей нас задачи всё ещё не найдено. Попробуем усилить некоторые пункты ПА и воспользуемся для этого алгоритмом «Углублённого анализа» (УА).

Операции, выполняемые на стадии использования этого алгоритма, являются логическим продолжением операций алгоритма «Предварительный анализ». Поэтому при их выполнении следует учитывать формулировки шагов предварительного анализа.

### **1. Вновь рассмотрите условия задачи и отнесите ее к одному из следующих классов:**

задачи: - на синтез новой системы;

- на устранение вредного или усиление полезного взаимодействия;
- на повышение эффективности системы;
- на обнаружение и измерение.

### **2. В соответствии с изложенной ниже рекомендацией постройте или выберите соответствующую вепольную формулу.**

**Примечание:** Для построения вепольной формулы и выбора правила преобразования системы следует обратиться к *системе стандартов* на применение приёмов для устранения типовых технических противоречий (см. часть II настоящего пособия):

- для задач на синтез новой системы и устранения вредного взаимодействия - к стандартам класса 1;
- для задач на повышение эффективности системы - класс 2 и 3;
- для задач на обнаружение и измерение - класс 4.

### **3. Если Вы отнесли задачу к классу:**

- «синтез новой системы», то перейдите к п. 4;
- «устранение вредного или усиление полезного взаимодействия», то перейдите к п. 5;
- «повышение эффективности системы», то перейдите к п. 6;
- «обнаружение и измерение», то перейдите к п. 7.

### **4. Класс «Синтез новой системы»**

4.1. Перейдите к рассмотрению стандартов класса 1 (подкласс 1.1) и 5 (см. «Стандарты»).

**Примечание.** При рассмотрении вводимых полей и веществ обратитесь к перечню наиболее часто используемых полей и веществ (см. раздел 2.4).

4.2. Обратитесь к указателю физических эффектов и явлений, сформулируйте тип необходимого взаимодействия и выберите рекомендованные указателем физические эффекты и явления.

4.3. Если Вы сразу же хотите улучшить полученное решение, то перейдите к п. 6.

### **5. Класс систем «устранение вредного или усиление полезного взаимодействия»**

**5.1. Перейдите к рассмотрению стандартов класса 1 (подкласс 1.2) и 5 (см. «Стандарты»).**

**Примечание.** При рассмотрении вводимых полей и веществ обратитесь к перечню наиболее часто используемых полей и веществ (см. раздел 2.4).

**5.2. Рассмотрите, какие свойства системы в целом или отдельных ее элементов, рассмотренных на шаге 1 предварительного анализа, являются источником конфликта; что желательно улучшить.**

**5.3. Перейдите к таблице наиболее часто используемых приемов, в соответствии с её рекомендациями выберите и переформулируйте изменяемое свойство, рассмотренное на предыдущем шаге, выберите и рассмотрите рекомендуемые таблицей приёмы.**

**Примечание.** Часто бывает, что можно сформулировать ответ на вопрос п. 5.2 в разных вариантах. Это нормальное явление, но при этом, естественно, надо рассмотреть несколько большее число приемов. Начинать при этом рекомендуется с повторяющихся приемов.

**5.4. Если решение Вас удовлетворяет, то перейдите к п. 8, если не удовлетворяет, то перейдите к п. 5.1 и пройдите по шагам этой части алгоритма вновь.**

**5.5. Если сразу же хотите перейти к улучшению Вашего решения, перейдите к п. 6.**

## **6. Класс «Повышение эффективности системы»**

**6.1. Рассмотрите рекомендации стандартов классов 2 и 3.**

**6.2. Рассмотрите, какие свойства системы в целом или отдельных ее элементов, рассмотренных на шаге 1 предварительного анализа, являются источником конфликта; что желательно улучшить.**

**6.3. Перейдите к таблице наиболее часто используемых приемов, выберите и рассмотрите рекомендуемые.**

**Примечание.** Часто бывает, что можно сформулировать ответ на вопрос п. 6.2. в разных вариантах. Это нормальное явление, но при этом, естественно, надо рассмотреть несколько большее число приемов. Начинать при этом рекомендуется с повторяющихся приемов.

**6.4. Если решение Вас удовлетворяет, то перейдите к п. 8, а если не удовлетворяет, то вернитесь к п. 6.1 и пройдите по шагам этой части алгоритма вновь.**

## **7. Класс «Обнаружение и измерение»**

**7.1 Рассмотрите рекомендации стандартов класса 4 (см. «Стандарты»).**

**7.2** Перейдите к указателю физических эффектов, рассмотрите его рекомендации.

**8.** Если решение Вас удовлетворяет, то сформулируйте те изменения в частях системы, которые необходимо произвести, чтобы согласовать их взаимодействие.

**9.** Если решение вас не удовлетворяет (частично или полностью), то:

*- вернитесь к началу алгоритма и проверьте правильность формулировок класса задач, верной формулы; проведите повторный проход по шагам алгоритма;*

*- если и в этом случае Вы не удовлетворены решением, то перейдите к алгоритму предварительного анализа и проверьте правильность формулировки состава системы, конечной цели, ИКР, причин помехи (конфликта).*

*- если удовлетворяющего Вас решения не найдено, то перейдите к алгоритму полного анализа по АРИЗ 85-В.*

### **Приложение 3. Приемы (принципы) преодоления технических противоречий**

1. Принцип дробления
2. Принцип вынесения
3. Принцип местного качества
4. Принцип асимметрии
5. Принцип объединения
6. Принцип универсальности
7. Принцип «матрешки»
8. Принцип противовеса
9. Принцип предварительного антидействия
10. Принцип предварительного действия
11. Принцип «заранее подложенной подушки»
12. Принцип эквипотенциальности
13. Принцип «наоборот»
14. Принцип сфероидальности
15. Принцип динамичности
16. Принцип частичного или избыточного действия
17. Принцип перехода в другое измерение
18. Принцип использования механических колебаний
19. Принцип периодического действия
20. Принцип непрерывности полезного действия
21. Принцип прорыва
22. Принцип «обратить вред в пользу»
23. Принцип обратной связи
24. Принцип «посредника»
25. Принцип самообслуживания
26. Принцип копирования
27. Принцип дешевой недолговечности взамен дорогой долговечности
28. Принцип замены механической схемы
29. Принцип использования пневмо- и гидроконструкций

30. Принцип использования гибких оболочек и тонких пленок
31. Принцип применения пористых материалов
32. Принцип изменения окраски
33. Принцип однородности
34. Принцип отброса и регенерации частей
35. Принцип изменения физико-химических параметров объектов
36. Принцип применения фазовых переходов
37. Принцип применения теплового расширения
38. Принцип применения сильных окислителей
39. Принцип применения инертной среды
40. Принцип применения композиционных материалов

**Приложение 4. Таблица наиболее часто используемых приемов преодоления технических противоречий.**

***Что надо изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условию задачи***

***Номера приемов***

<b><i>Что надо изменить (увеличить, уменьшить, улучшить) по условию задачи</i></b>	<b><i>Номера приемов</i></b>
1. Вес подвижного объекта	35, 28,18
2. Вес неподвижного объекта	35,28,10,19,1,2
3. Длину подвижного объекта	1,29,35,15,4
4. Длину неподвижного объекта	35,28,14,1,26,3,10,15
5. Площадь подвижного объекта	2,15,13,26,30,4
6. Площадь неподвижного объекта	18,2,35,10,16,30,40
7. Объем подвижного объекта	1,35,2,10,29,4,15
8. Объем неподвижного объекта	35,2,10,14
9. Скорость	28,35,13,10,19,34,38
10. Силу	35,10,18,37,36,1
11. Напряжение, давление	35,10,36,37,2
12. Форму	10,15,1,14,32,34,35
13. Устойчивость состав объекта	35,2,39,27,40
14. Прочность	3,35,40,10,15
15. Продолжительность действия подвижного объекта,	19,35,3,10,27
16. Продолжительность действия неподвижного объекта	35,1,10,16,40
17. Температуру	35,19,2,22,39
18. Освещенность	19,32,1
19. Энергию, расходуемую подвижным объектом	35,19,18,28,2,15
20. Энергию, расходуемую неподвижным объектом	35,19,18,27
21. Мощность	35,19,2,10
22. Потери энергии	7,2,35,6,18,19,38
23. Потери вещества	10,35,18,28,31
24. Потери информации	10,26,35
25. Потери времени	35,10,28,18,4,5
26. Количество вещества	35,3,29,18,10
27. Надежность	35,11,10,3,28,40
28. Точность измерения	32,28,6,26
29. Точность изготовления	32,28,10,18,2
30. Вредные факторы, действующие	

на объект извне	22,35,2,1,33
31. Вредные факторы, генерируемые самим объектом	18,35,2,1,39
32. Удобство изготовления	1,35,13,27,28
33. Удобство эксплуатации	1,13,2,28,32,34
34. Удобство ремонта	1,10,2,11,35
35. Адаптацию, универсальность	35,1,15,16,29
36. Сложность устройства	13,26,1,28,2,10
37. Сложность контроля и измерения	28,35,16,26,27
38. Степень автоматизации	35,13,28,26,1,2
39. Производительность	10,35,28,1

### **Приложение 5. Фрагменты указателя физических, химических и геометрических эффектов и явлений**

Требуемое действие, свойство	Физическое явление, эффект, фактор, свойство
1. Измерение температуры	Тепловое расширение и вызванное им изменение собственной частоты колебаний. Спектр излучения. Изменение оптических, электромагнитных свойств вещества. Переход через точку Кюри. ....
2. Понижение температуры	Теплопроводность, конвекция, излучение. Фазовые переходы. Эффект Джоуля-Томпсона. Эффект Ранка. ....
10. Разделение смесей	Электро- и магнитосепарация. Изменение кажущейся плотности жидкостей.....
15. Аккумулирование механической и тепловой энергии	Упругие деформации. Маховики. Фазовые переходы. Гидростатическое давление. Термоэлектрические явления.

### **Фрагменты указателя химических эффектов и явлений**

Требуемое действие, свойство	Химический эффект, явление, типы реакций, вещества
1. Измерение температуры	Термохромные реакции. Сдвиг химического равновесия при изменении температуры. Хемилюминесценция.
2. Понижение температуры	Эндотермические реакции. Растворение веществ. Разложение газов.



10. Разделение веществ	Электролиз. Транспортные реакции. Реакции восстановления. Выделение химически связанных газов. Применение полунепроницаемых мембран. ....
15. Аккумуляция механической, тепловой и электрической энергии.	Экзо- и эндотермические реакции. Растворение. Разложение вещества на компоненты. Фазовые переходы, электрохимические реакции. Хемомеханический эффект.

#### Фрагменты указателя геометрических эффектов и явлений

Требуемое действие, свойство	Эффект
4. Концентрация потока энергии, частиц	Параболоид, эллипс, циклоида
6. Снижение потерь энергии, вещества	Гофры. Изменение сечения рабочей поверхности. Лента Мебиуса.
8. Повышение управляемости	Щетки. Гиперболоид. Спираль. Треугольник Рело. Переход от поступательного движения к вращательному. Несосный винтовой механизм
10. Повышение срока службы, надежности	Лента Мебиуса. Изменение площади контакта. Специальный выбор формы.

#### СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Альтшуллер Г.С. Найти идею. – Петрозаводск: Скандинавия, 2003. – 238 с.
2. Гасанов А.И. ,Кокин С.М.Методы инженерного творчества. Учебное пособие. Части I – IV.- М.: МИИТ. – 1999.
3. Рождение изобретения / А.И. Гасанов, Б.М. Гохман, А.П. Ефимочкин, С.М.Кокин, А.Г. Сопельняк. – М.: ИНТЕРПРАКС. – 432 с.
4. Ревенков А.В., Резчикова Е.В. Теория и практика решения технических задач. Учебное пособиею – М.: ФОРУМ, 2008. – 384 с.
5. Шпаковский Н.А. ТРИЗ. Анализ технической информации и генерация новых идей: учебное пособие. - М.: ФОРУМ, 2010. – 264с.

## Оглавление

Лекция №1 .....	4
Лекция №2 .....	9
Лекция №3 .....	15
Лекция № 4 .....	23
Лекция №5 .....	32
Лекция №6 .....	45
Лекция №7 .....	56
Лекция №8 .....	72
Лекция №9 .....	81
Приложения .....	87

Учебно-методическое издание

Конспект лекций к курсу  
«Модели и методы инженерного творчества»

А.И. Гасанов

---

Подписано к печати

Формат 60 × 84/16

Тираж

экз.

Изд. №

Заказ №

---

101475 Москва, А-55, ул. Образцова 9. Типография МИИТ