

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего образования  
«Тамбовский государственный технический университет»

**А. И. ПОПОВ**

# **АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ НЕСТАНДАРТНЫХ ЗАДАЧ**

Утверждено Учёным советом университета  
в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся  
по направлениям подготовки 15.03.02 и 28.03.02



---

Тамбов

◆ Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ» ◆  
2019

УДК 001.894  
ББК 30у  
П58

Рецензенты:

Кандидат физико-математических наук, доцент, доцент кафедры прикладной математики, дифференциальных уравнений и теоретической механики ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский Мордовский государственный университет имени Н. П. Огарёва»  
*А. О. Сыромясов*

Главный конструктор АО «Завком»  
*И. В. Беспёрстов*

П58 **Попов, А. И.**  
Алгоритмы решения нестандартных задач : учебное пособие / А. И. Попов. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2019. – 80 с. – 100 экз.  
ISBN 978-5-8265-2118-2

Рассмотрены положения психологии творчества и механизм творческой деятельности, описаны методы повышения её эффективности. Приведено описание технических систем на основе системного подхода и рассмотрены законы их развития. Даны концептуальные положения алгоритма решения изобретательских задач. Предложены тесты для самоконтроля и примеры творческих задач из различных областей знаний.

Предназначено для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 15.03.02 и 28.03.02, а также обучающихся в области «Инженерное дело, технологии и технические науки», может быть полезно магистрантам и аспирантам.

УДК 001.894  
ББК 30у

ISBN 978-5-8265-2118-2 © Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет» (ФГБОУ ВО «ТГТУ»), 2019

## ВВЕДЕНИЕ

---

---

Необходимость обеспечения экономической безопасности страны в условиях глобализации экономики предопределяет решающую роль инновационной деятельности во всех сферах, и прежде всего по приоритетным направлениям. Интенсивное развитие химических технологий и нанотехнологий предполагает конструирование технических систем, машин и агрегатов, наиболее полно отвечающих потребностям экономики и отражающих последние достижения науки и техники.

Темпы инновационного обновления на предприятиях машиностроительного кластера определяются следующими инновациями:

- использование новых конструкционных материалов, в том числе и композитов на основе наноструктурированных материалов;
- оптимизация используемых технологий и разработка (или трансфер созданных ранее) технологий изготовления традиционной продукции;
- совершенствование конструкции технологического оборудования в целях улучшения функциональных показателей качества посредством изменения, замены или добавления структурного элемента;
- структурные изменения в технической системе в целях улучшения её функционирования, повышения степени идеальности;
- разработка принципиально новой конструкции на основе использования нового физического принципа действия для удовлетворения имеющихся потребностей;

– создание технического объекта, ориентированного на будущее, только появляющиеся потребности.

Интенсивность создания nanoиндустрии как полноценной отрасли народного хозяйства предполагает реализацию инновационных проектов, направленных на:

– переход от стадии лабораторных исследований к промышленным масштабам производства нанотехнологической продукции;

– оптимизацию конструкций оборудования, созданных на первых этапах исследования, и определение технологических параметров процессов при их осуществлении в условиях реального производства;

– разработку новых технологий получения, функционализации и использования наноструктурированных материалов и композитов на их основе;

– открытие новых физических принципов действия оборудования, основанных на эффекте использования наноразмерных объектов.

Первые две группы проектов предполагают реализацию улучшающих инноваций, а последние две группы проектов ориентированы на базисные инновации, в основе которых лежат новые фундаментальные научные достижения в области нанотехнологий, позволяющие создавать технические системы (машины, технологии, оборудование) шестого технологического уклада.

Необходимым условием инновационного конструирования технологического оборудования для nanoиндустрии является анализ функций существующих и используемых в химической промышленности технических систем и выявление направлений их совершенствования. Одновременно выделяются элементы окружающей среды, оптимизация использования которых может повысить эффективность функционирования технической системы.

Критериями успешности конструирования будут высокие технико-экономические показатели технических систем и приемлемые для инвестора уровни доходности финансовых вложений в реализацию проектов по созданию материальной базы nanoиндустрии.

Для обеспечения лидирующих позиций в новых отраслях экономики необходимо прогнозировать показатели технических систем, которые будут востребованы потребителями в ближайшем будущем, и в процессе конструирования стремиться к их достижению.

Реализация инновационной доктрины актуализирует использование технологий творческого развития персонала, ориентированных на создание внутренней мотивации личности к нововведениям и формирование креативных компетенций. Креативность и высокий уровень

готовности к инновационной деятельности во многом определяют успешность инновационных процессов, закладывают основу для организации выпуска нового конечного продукта и удовлетворения возрастающих потребностей населения.

Конкурентоспособный специалист, участвующий в инновационной деятельности на предприятиях машиностроительного кластера, должен быть готов проявить креативность и генерировать новые идеи как при решении инженерных задач, так и изобретательских. Условно можно разделить творческую деятельность специалиста в области техники и технологий на:

- преимущественно теоретическую, основанную на проведении фундаментальных научных исследований и направленную на разработку нового физического принципа деятельности, методологии проведения производственного процесса и выработку концепции оптимизации конструкции и технологических параметров;

- практико-ориентированную, включающую прикладные научные исследования по разрешению технических и технологических проблем конкретного промышленного предприятия или трансфер и адаптацию результатов предшествующих исследований на актуализованные в настоящее время задачи.

Основной характеристикой, определяющей готовность специалиста современного инновационного производства к решению нестандартных задач, будет его креативность. Специалист должен также обладать математическим мышлением и способностью к информационно-аналитической деятельности в условиях жёсткой конкуренции. Важной личностной характеристикой будет творческая инициативность, предполагающая, что при решении поставленной руководством задачи работник сможет выйти за очерченные рамки проблемы (без ущерба для выполнения основных трудовых функций) и существенно расширить её, открывая новые возможности для научного и инженерного поиска. Инициативность позволит работнику также и творчески самостоятельно развиваться без дополнительного внешнего стимулирования.

Решение нестандартных творческих задач предполагает слаженную работу коллектива, поэтому актуально наличие у специалиста способностей к организаторской и наставнической деятельности, сопровождению развития и проявления интеллектуального и креативного потенциала подчинённых. Особую значимость для управления инновационным проектом играют лидерские качества инженера, его готовность взять на себя ответственность за коллектив и весь инновационный проект.

Можно выделить несколько компонентов готовности специалиста к решению нестандартных задач:

- наличие знаний о природе творчества, механизмах протекания творческого процесса и способах «управления» творческой деятельностью, повышающих вероятность её успешного завершения;

- сформированные умения решения нестандартных учебных задач, отражающих как специфику отдельных учебных дисциплин, так и предметный контекст профессиональной деятельности;

- опыт творческой деятельности при прохождении практики или выполнении проекта, направленного на решение конкретной задачи промышленного предприятия;

- психологическая устойчивость к внешним стрессовым факторам: ограничения возможности использования ресурсов, и прежде всего времени; личностная и социальная значимость получаемого результата творчества;

- высокий уровень интеллекта и креативности, способность преодолевать психологическую инерцию мышления;

- нравственные характеристики (духовность, правовая культура) и лидерские качества личности.

Интенсивное становление в настоящее время цифровой экономики требует соответствующей подготовки специалистов, обладающих не только начальной цифровой грамотностью, но и способных проявить креативность при решении инженерных задач в цифровом пространстве, внедряя передовые цифровые технологии в производственный процесс. От конкурентоспособного специалиста требуются цифровая грамотность и владение инструментами цифровой экономики; готовность к самообразованию и саморазвитию, получению новой профессии и квалификации в цифровом образовательном пространстве.

Для эффективной профессиональной деятельности в условиях глобализации экономики специалисту необходимо обладать экономической и правовой компетентностью как на национальном уровне, так и уровне стран – потенциальных партнёров. Важным качеством конкурентоспособного специалиста будет его подлинная толерантность к культурным ценностям и психологическим особенностям представителей многонационального и многоконфессионального современного общества, включённых в инновационную деятельность.

При подготовке пособия были использованы методические разработки автора по развитию творческих способностей в олимпиадном движении, а также опыт организации обучения решению нестандартных задач Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого.

## 1. ПСИХОЛОГИЯ ТВОРЧЕСТВА

---

Что же такое креативность? Как определить готовность человека к творчеству? И все ли люди обладают способностью к сознанию чего-либо нового, имеющего общественно признанную ценность? И можно ли управлять процессом творчества и создавать такие технологии разрешения стоящих перед человеком проблемных ситуаций, использование которых обеспечивало бы получение оптимального результата? Проблема исследования процесса творческой деятельности и психологических характеристик личности, реализующих его, всегда была в центре внимания учёных. Остаётся актуальной и в настоящее время.

Рассмотрим отражение данной проблемы в классической литературе.

«Вряд ли где можно было найти человека, который так жил бы в своей должности. Мало сказать: он служил ревностно, – нет, он служил с любовью. Там, в этом переписыванье, ему виделся какой-то свой разнообразный и приятный мир. Наслаждение выражалось на лице его; некоторые буквы у него были фавориты, до которых если он добирался, то был сам не свой: и подсмеивался, и подмигивал, и помогал губами, так что в лице его, казалось, можно было прочесть всякую букву, которую выводило перо его. Если бы соразмерно его рвению давали ему награды, он, к изумлению своему, может быть, даже попал бы в статские советники; но выслужил он, как выражались остряки, его товарищи, пряжку в петлицу да нажил геморрой в поясицу. Впрочем, нельзя сказать, чтобы не было к нему никакого внимания. Один директор, будучи добрый человек и желая вознаградить его за долгую службу, приказал дать ему что-нибудь поважнее, чем обыкновенное переписыванье; именно из готового уже дела велено было ему сделать какое-то отношение в другое присутственное место; дело состояло только в том, чтобы переменить заглавный титул да переменить кое-где глаголы из первого лица в третье. Это задало ему такую работу, что он вспотел совершенно, тер лоб и наконец сказал: «Нет, лучше дайте я перепишу что-нибудь». С тех пор оставили его навсегда переписывать.» (Н. В. Гоголь, «Шинель»)

В этом отрывке произведения классика российской литературы показано, что не всякий работник может проявлять творческое начало в своей деятельности. Исполнительный и аккуратный работник может качественно осуществлять простейшие трудовые функции, но при этом быть абсолютно не готовым к выполнению нестандартных пору-

чений, элементарному творчеству. Но и человек, обладающий задатками к творческой деятельности, не всегда может выйти за рамки традиционно организованной деятельности в своей профессии. Наша задача понять, как и какими способами можно уйти от репродуктивной скучной работы к творчеству в своей профессии, как решать нестандартные инженерные задачи.

В исследованиях учёными проблем творчества подчёркивается, что в основе способности к творческой деятельности лежит высокий уровень креативности личности специалиста. При этом креативность оказывает влияние на все качества личности, на эго-идентичность и групповую идентичность, обеспечивая предпосылки для профессионального, личностного и духовно-нравственного совершенствования человека. Реализуя креативные способности, работник получает удовлетворение как от результата деятельности, так и от самого процесса создания чего-либо нового в области техники и технологий.

Креативность как важнейшее качество личности всегда вызывала активный интерес у исследователей, которые рассматривали её с различных методологических позиций. Ключевыми признаками креативности выступают способность к творчеству и созданию нового продукта, готовность к принятию новых идей и нового нестандартного созидательного мышления, нацеленность на генерирование большого числа оригинальных и полезных идей. Под креативностью в психологии понимают способность отказаться от стереотипных способов мышления (Дж. Гилфорд), способность обнаруживать новые способы решения проблем или новые способы выражения (Н. Роджерс). Креативность и интеллект рассматриваются как общие способности: интеллект – как общая способность решать задачи на основе имеющихся знаний, креативность – как общая способность к творчеству (В. Н. Дружинин).

В контексте обеспечения условий для инновационной деятельности представляет интерес компонентная теория творчества, предложенная американским исследователем Р. Стернбергом. Выделяются три составные части интеллектуальной готовности технического специалиста, обеспечивающие успешность создания нового продукта или технологии:

- способность видеть проблемы в новом свете и избегать привычного способа мышления, способность генерировать идеи и синтезировать новое знание;
- способность анализировать нестандартные подходы и идеи, проводить их оценку и принимать решение о целесообразности дальнейшего поиска;

– способность убеждать других в ценностях идеи, организовывать коллектив для её реализации, обеспечивать привлечение инвесторов и продвижение конечного продукта на основе идеи к потребителю.

Специалист в области техники и технологии может обладать только одной или несколькими из указанных способностей. Способность к анализу (при слабой готовности к генерированию нового) приводит к сильно развитому критическому, но не творческому мышлению. Творческое воображение, фантазия и умение видеть нестандартные пути разрешения проблемы, не подкреплённые аналитическими способностями, могут привести к появлению новых идей, реализация которых в настоящее время невозможна. Способность к продвижению нового при отсутствии двух других качеств творческого человека может привести к ситуации купли-продажи определённых идей на основе не их реальной стоимости, а умения убедить кого-либо купить или продать что угодно.

По мнению американских учёных, для творчества необходимо наличие шести специфических, но взаимосвязанных источников:

- интеллектуальных способностей,
- знания,
- стилей мышления,
- личностных характеристик,
- мотивации,
- окружения (среды).



*Как окружение на рабочем месте может повлиять на творческий процесс? Приведите примеры.*

Креативность в профессиональной деятельности, прежде всего, проявляется в быстроте, гибкости, точности, оригинальности мышления над проблемной ситуацией, в богатом воображении, умении детализировать образ проблемы.

Главными показателями творческой готовности являются:

- продуктивность (объём и оригинальность творческой продукции);
- генерация новых идей (нешаблонных образов и способов действия);
- независимость мышления;
- доминирование результативности;
- открытость опыту;
- нацеленность на творческое саморазвитие.

В понятии креативности можно выделить его составляющие: мотивационный, когнитивно-деятельностный и творческий компоненты.

Проявление креативности детерминируется инициативностью человека. Внешним стимулированием мы обеспечим выполнение по алгоритму определённых действий, приводящих к достижению цели, сформулированной для работника извне (например, его начальником). Но в инновационной деятельности этого недостаточно. Специалист в области инженерного дела должен выходить за очерченные рамки технического задания и самостоятельно ставить проблемы и находить пути их разрешения. Креативный специалист при решении узких инженерных задач должен исследовать всю предметную область на основе внутренней мотивации.

Значительный вклад в исследование психологии креативности и поиск способов её оценки внесён Д. Б. Богоявленской. В её исследованиях креативность понимается шире, чем развитый интеллект и способность использовать имеющуюся информацию разными способами и в быстром темпе для решения нестандартной задачи. В исследовании Д. Б. Богоявленской было введено понятие креативной активности личности. Творчество понимается как ситуативно-нестимулированная активность, проявляющаяся в стремлении выйти за пределы поставленной извне проблемы. Человек при этом осуществляет самостоятельные действия, направленные на расширение границ поиска, выявление эвристических приёмов и постановку более масштабной цели всего исследования.

Техническое творчество при этом рассматривается как результат синергетического эффекта системы, состоящей из следующих компонентов: интеллектуальные способности личности, профессиональные знания и умения, математический стиль мышления, личностные и нравственные характеристики, правовое сознание, внутренняя мотивация, окружающая макро- и микросреды. Между этими компонентами есть взаимосвязь и взаимозависимость:

1. Например, разработать новую конструкцию машины невозможно без знания существующих образцов технических систем и владения фундаментальными знаниями в области математики и механики. Таким образом, можно говорить о пороговом эффекте, когда недостаточное значение какого-либо фактора (в данном случае знаний) останавливает весь творческий процесс.

2. Некоторые компоненты могут заменять или компенсировать недостаточное значение других. Например, недостаточная внутренняя мотивация может быть компенсирована воздействием среды (творчески настроенный коллектив «заражает» своей увлечённостью внутренне слабомотивированного работника).

3. Ряд компонентов усиливают действие друг друга, причём подобного рода взаимодействие может привести к нелинейному увеличению эффекта.

Наиболее точно отражает готовность человека к организации творческой деятельности классификация качественных уровней интеллектуальной активности, разработанная Д. Б. Богоявленской:

- стимульно-продуктивный уровень, предполагающий, что человек действует только под воздействием какого-то внешнего стимула (нет стимула – нет деятельности, например, начальник в помещении – работа выполняется, начальник покинул помещение и на первый план выходит личное общение членов трудового коллектива);

- эвристический уровень предполагает выполнение какой-либо интеллектуально-творческой работы при отсутствии стимулирования внешними факторами;

- креативный уровень проявляется, если человек самостоятельно ставит проблемы в профессиональной области и занимается углублённым анализом всего поля деятельности на основе решения всего лишь одной поставленной извне задачи.

Необходимость управлять инновациями на предприятии машиностроительного кластера обуславливает значимость коммуникативной креативности. Для продвижения новых идей и развития их в техническое решение необходимо обеспечить между членами инженерного коллектива конструктивное общение и межличностное взаимодействие. Наибольший практический интерес представляет готовность специалиста к творческому разрешению проблемных ситуаций, связанных с преодолением психологической инерции и продвижением продукции инновационной деятельности к потребителю. Креативный специалист должен быть готов к генерированию моделей своего поведения при решении проблем межличностного взаимодействия, к нестандартности в отношении к коммуникативным ситуациям и в их разрешении.

Для решения творческих задач и осуществления инновационной деятельности человек должен обладать интеллектуальными способностями, но только их может быть недостаточно, так как креативность специалиста не тождественна интеллекту. Можно рассматривать креативность как особую стадию интеллектуального развития. Наиболее адекватно описывает одностороннюю связь креативности и интеллекта модель, предложенная В. Н. Дружининым. Высокий уровень интеллекта является необходимым условием творческой деятельности, но недостаточным. Чем выше интеллект, тем более высокий уровень

творческих достижений может быть достигнут (но это не гарантировано). Было определено пороговое значение интеллекта, которое обеспечивает возможность наличия креативности. Если IQ ниже 115...120, то креативность маловероятна как личностная характеристика, а при IQ выше 120 творческие способности и интеллект становятся независимыми факторами, т.е. креативность в деятельности может появляться, а может и нет.

Наличие технического интеллекта является одной из значимых характеристик специалиста инновационной сферы. Важнейшие составляющие технического интеллекта – пространственное воображение, математический стиль мышления, умение переносить в теоретическую плоскость задачи прикладного инженерного характера, оперативность деятельности и умение эффективно применять знания в различных условиях при ограничении возможности использовать ресурсы и недостатке времени для принятия решений. В контексте организации инновационной деятельности и создания передовых технических систем в условиях конкуренции необходимо учитывать выявленную исследователями зависимость проявления креативности от степени психологического напряжения человека.

Интенсивное развитие производственного сектора и частая смена технологий, необходимость совершенствовать своё мастерство и получать дополнительные компетенции определяют непрерывное образование и развитие всех качеств человека (в том числе и креативности) в течение всей жизни. Важным является мотивационный импульс, обеспечивающий первоначальное преодоление психологической инерции и стимульно-продуктивного механизма деятельности. Важными этапами в развитии творческих качеств будут освоение эталонов креативного поведения, технологий, средств, способов творческой деятельности. Затем происходит преобразование опыта инженерной деятельности в соответствии с индивидуальными особенностями, возможностями, потребностями специалиста.

Проблема развития креативности неразрывно связана с поиском эффективных методик её измерения в целях формирования оптимального коллектива исполнителей для инновационной деятельности. Креативность включает в себя целый комплекс качеств (причём некоторые из них могут быть отнесены и к показателям интеллекта). Это обуславливает наличие различных методик, позволяющих определить лишь частично ряд компонентов креативности у человека.

Наиболее простым и разработанным является подход к измерению креативности с помощью стандартизированных методик (тестов),

по результатам которых определяют творческий (или в некоторой степени интеллектуальный) потенциал личности. Но тесты дают лишь одностороннее представление о возможностях человека. Например, тесты на измерение беглости (различающиеся идеи), оригинальности (необычные или редкие ответы), гибкости мышления в задачах преимущественно определяют характеристики интеллекта и характеризуют дивергентное мышление человека.



*Найдите в цифровом пространстве тесты на определение оригинальности и гибкости мышления. Оцените свои способности. Насколько результат соответствует Вашей внутренней оценке?*

Большой интерес представляет изучение результатов и самого процесса творческой деятельности при разрешении проблемных ситуаций. И если творческая деятельность выходит за пределы заданных требований, то можно говорить о наличии внутренней познавательной мотивации и интеллектуальной активности.



*Попытайтесь решить творческие задачи, приведённые в конце пособия. Запишите ход решения (даже если решили не полностью задачу), потраченное время. Проанализируйте свою готовность использовать знания в области математики и механики в профессиональной деятельности. Определите корректирующие мероприятия.*

Творческая деятельность инженерного работника представляет собой сложное, системное образование, в центре которого находится креативность личности и психологическая готовность к разрешению технических проблемных ситуаций. Результат творчества может быть как лично значимый, определяющий уровень профессионального мастерства или творческое самочувствие и психологическую готовность к выходу на эвристический и креативный уровни интеллектуальной активности, так и социально значимый, дающий импульс инновационному развитию науки и техники.

В истории психологии творчества выделено и описано множество различных классификаций фаз творческого процесса. Первая фаза (сознательная работа) – подготовка – особое деятельностное состояние, являющееся предпосылкой для интуитивного «озарения» новой идей; вторая фаза (бессознательная работа над проблемой) – инкубация направляющей идеи; третья (переход бессознательного в сознание) – вдохновение, в результате бессознательной работы в сферу сознания

проникает идея решения (например, открытия, изобретения, создания нового в литературе, искусстве и т.д.), но сначала в виде гипотезы, принципа, замысла; четвёртая фаза (сознательная работа) – развитие идеи, её окончательное оформление в виде конструкторского или технологического решения, проверка на адекватность и выполнение имеющихся ограничений.

Согласно исследованиям Я. А. Пономарёва, центральное звено механизма творческой деятельности включает работу следующих фаз:

- логического анализа проблемы, завершающегося крахом логических программ;
- нахождения интуитивного решения;
- вербализации интуитивного решения;
- формализации нового знания.

Творческая деятельность не поддаётся прямому управлению, когда определённое управляющее воздействие приводит к гарантированному результату. Успех творческой деятельности носит вероятностный характер, но повысить вероятность получения творческого результата возможно при использовании определённых методов и технологий. Рассмотрим методы повышения эффективности творческой деятельности, способствующие более быстрому нахождению решений нестандартных профессиональных задач.

## **2. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ**

---

---

Важность инновационных преобразований и необходимость разработки новых технических и технологических решений предполагает активное применение различных методов повышения эффективности творческой деятельности. Можно выделить две группы методов повышения эффективности творческой деятельности инженеров: увеличение хаотичности поиска и систематизация перебора вариантов.

К первой группе относятся специальные психологические методы, позволяющие преодолеть психологическую инерцию человека и помогающие найти нестандартное разрешение проблемной ситуации: мозговой штурм, синектика, метод фокальных объектов.

Ко второй группе относятся методы, позволяющие систематизировать перебор вариантов и увеличить число вариантов, исключить свойственные ненаправленному поиску систематические повторы, постоянный возврат к одним и тем же идеям. К таким методам относятся в первую очередь морфологический анализ, а также многочисленные списки контрольных вопросов. Одним из эффективных методов повышения эффективности творческой деятельности является теория решения изобретательских задач.

### **2.1. МЕТОДЫ ПРЕОДОЛЕНИЯ ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ИНЕРЦИИ**

#### **2.1.1. МОЗГОВОЙ ШТУРМ**

Метод мозгового штурма (предложен А. Осборном в конце тридцатых годов прошлого века) является методом интенсификации проб и ошибок и представляет собой способ быстрого генерирования разнообразных идей, которые могут послужить основой для поиска решения проблемы.

Процесс генерирования идей при использовании мозгового штурма отделён от процесса их оценки. Разделение этих процессов связано с тем, что генерирование новых решений легче даётся людям, обладающим особым состоянием психики: креативностью, дивергентным мышлением, фантазией, художественным воображением. Именно такие люди обычно соответствуют понятию творческой личности. Для анализа решений нужны люди с противоположными чертами

характера: с чётким математическим мышлением, критически оценивающие информацию, сторонники деятельности по проверенному алгоритму. Аналитический характер мышления, в отличие от творческого, свойственен большинству людей.

Психология многих людей такова, что они очень болезненно относятся к критике и чужому негативному мнению о себе. Если высказанная идея спорная и противоречит мнению большинства, то критика коллег сделает её дальнейшее развитие невозможным. Поэтому было предложено обеспечить генераторам идей благоприятный микроклимат, ограничив критику и поощряя высказывание любых гипотез и идей, даже шуточных или явно нелепых.

Мозговой штурм обычно используется на начальных стадиях поиска решения, когда степень новизны задачи ещё настолько велика, что разработчик не может достаточно чётко представить себе ни структуры проектируемой системы, ни средств, обещающих решение задачи.

Основные правила проведения мозгового штурма.

1. В сессии последовательно принимают участие две группы людей (по 6 – 12 человек) разных специальностей, возрастов, положения:

- генераторы идей, задача которых выдвинуть как можно больше различных идей;
- эксперты (аналитики), деятельность которых направлена на анализ предложенных идей и определение из них тех, которые целесообразно развивать далее.

Различие участников штурма по направленности профессиональной подготовки повышает вероятность преодоления проблем вследствие отсутствия негативного опыта их разрешения. В группу нецелесообразно включать руководителей.

2. Перед группой генераторов идей ставится задача, которую нужно решить, и предлагается высказывать предложения без доказательств с регламентом на высказывание. Необходимо выдвижение как можно большего числа идей, их развитие, при этом не обязательно доказывать правильность предложенных идей. Все высказанные суждения фиксируются.

3. Необходимо создание атмосферы доверия и непринужденности, благоприятного микроклимата для творческой деятельности. Запрещается всякая критика чужих предложений, даже молчаливая скептическая улыбка. Критические замечания особенно чувствительны для людей с высоким уровнем креативности, они вызывают отрицательные эмоции и, как следствие, торможение творческих процессов.

4. Группа аналитиков рассматривает и тщательно оценивает выдвинутые предложения (даже самые несерьёзные, нереальные и парадоксальные), отбирая из них те, которые заслуживают более детального изучения.

5. Ведущий мозгового штурма формулирует проблему в общей форме, обеспечивает поддержание высокого темпа выдвижения и развития идей. Мозговой штурм оказывается эффективным тогда, когда ведущий группы имеет большой опыт решения задач, владеет техникой общения и проведения коллективной работы, обладает личным обаянием, остроумием и многими другими качествами.

В течение мозгового штурма может быть выдвинуто значительное количество разнообразных идей, но лишь несколько из них могут после проведённого анализа представлять практический интерес для разрешения проблемы.

Хорошие результаты при применении мозгового штурма получаются для решения задач управления и маркетинга, технических задач невысокой сложности. Использование метода мозгового штурма для решения проблем научных исследований позволяет определить направления дальнейшего научного поиска. Трудные инженерные задачи в большинстве случаев мозговому штурму не поддаются, но применение метода позволяет инженерно-техническим работникам освободиться от стереотипов мышления и в дальнейшем на более высоком творческом уровне исследовать эту же проблему. Чем сложнее задача, тем меньше вероятность её решения из-за отсутствия критического анализа высказываемых идей и, соответственно, их развития. Тем не менее мозговой штурм помогает организовать коллективную работу, уменьшает психологическую инерцию членов группы.



*Используйте метод мозгового штурма для определения направлений совершенствования образовательного процесса в вузе.*

Есть разновидности мозгового штурма. Так, при обратном мозговом штурме ведётся поиск не новых решений, а недостатков уже существующей системы. Знание этих недостатков сужает направление поиска путей совершенствования этой системы.



*Определите недостатки в организации производственной или учебной практики в контексте профессионального совершенствования.*



*Выявите недостатки известной Вам технической системы, например протяжного станка, дозатора сыпучих материалов, скруббера и т.п.*

При двойном мозговом штурме после первого обсуждения устраивается перерыв на сутки или несколько дней, чтобы участники творческого процесса ещё раз обдумали задачу и уже высказанные идеи, после чего штурм повторяется.

Универсальность метода мозгового штурма позволяет с его помощью рассматривать почти любую проблему в сфере человеческой деятельности. Помимо технических проблем это могут быть задачи из области организации производства, сферы обслуживания, бизнеса, экономики, социологии, военных операций и т.д.

### 2.1.2. СИНЕКТИКА

Метод синектики разработан У. Дж. Гордоном в пятидесятые годы прошлого века. Синектика является научной попыткой усовершенствовать мозговой штурм. В мозговом штурме сила в запрете на критику, но в этом же и его слабость: для совершенствования идеи конструктивная критика нужна. Критическое обсуждение при выдвижении идей позволит пресечь бесперспективные направления и сосредоточиться на творческом развитии интересных идей. Чтобы избежать сильного стресса у участников от жёсткой критики и уменьшить конфликтность при обсуждении, было предложено создавать постоянные коллективы, периодически привлекаемые к обсуждению проблемных ситуаций. Работа групп на постоянной основе позволяет накопить значительный опыт решения задач.

*Синектика* – теория или система постановки и решения проблем, основанная на творческом мышлении, которое включает свободное использование метафор или аналогий при неформальном общении внутри тщательно подобранной небольшой группы людей, обладающих разными индивидуальными качествами и работающими в различных областях.

Поиск новых идей осуществляется с помощью различного типа аналогий:

1. Прямая аналогия. Надо ответить на вопрос – как решаются подобные задачи в других областях техники, в быту, в природе?
2. Личная аналогия (эмпатия). Исследователь отождествляет себя с техническим объектом и представляет себе, что бы он сделал сам, если бы он оказался на месте этого объекта.

3. Фантастическая аналогия. Необходимо представить себе вещи такими, какими мы хотели бы их видеть. При поиске новых идей прибегают к помощи сказочных и фантастических персонажей, животных и растений.

4. Символическая аналогия. Необходимо найти сочетание двух слов, обычно прилагательного и существительного, которое в краткой парадоксальной форме, или в виде яркой метафоры, охарактеризовало бы суть задачи или объекта.

При синектике последовательность решения включает следующие этапы. Вначале анализируется проблемная ситуация в той форме, как она задана потребителем. Организуется дискуссия, в ходе которой члены группы рассматривают очевидные решения. На следующем этапе происходит поиск аналогий, позволяющих выразить заданную проблему в терминах, хорошо знакомых членам группы по опыту их работы. Затем определяют главные трудности и противоречия, препятствующие решению проблемы. Для интенсификации поиска используются наводящие вопросы – председательствующий предлагает дать решение, пользуясь одним из типов аналогии. Члены группы в свободной манере проигрывают каждый наводящий вопрос. Когда появляется перспективная идея, её развивают словесно до того момента, когда члены группы смогут спроектировать опытный образец устройства.

Метод используется для решения крупных проблем. В последнее время используется при решении не только технических, но и некоторых социальных и экономических проблем.

### 2.1.3. МЕТОД «ДЕЛЬФИ»

Метод можно рассматривать как последовательность итеративных циклов мозгового штурма, при котором делается попытка избежать вмешательства психологических факторов, способных снизить эффективность штурма. Сбор новых идей проводится в письменном виде. При этом опрашиваемые эксперты могут быть разобщены территориально. Основная идея метода состоит в том, что критика высказанных предложений благотворно влияет на эксперта, если она не является персональной. Поэтому, если проводить оценку в несколько туров, сообщая после каждого всем участникам его полные итоги и сохраняя их анонимность, то эксперты склонны не только критиковать, но и прислушиваться к критике, относящейся к ним лично. Благодаря письменной форме контакта снижается влияние таких пси-

психологических факторов, как внушение или приспособление к мнению большинства.

Обычно для решения задачи оказывается достаточно следующих четырёх этапов:

1. Рассылка анкет, сбор оценок, их обобщённое представление с указанием разброса мнений.

2. Сообщение итогов анкетирования участникам опроса с просьбой дать объяснения причин индивидуального отклонения от средней оценки первой итерации.

3. Сообщение участникам всех объяснений и запрос контраргументов на них.

4. Сообщение возражений и запрос новых оценок альтернатив, если эксперт пожелает их изменить. Подведение окончательного итога.

Метод «Дельфи» применим для рассмотрения крупных проблем общего плана (например, научные и технологические прорывы, рост населения и демографические проблемы отдельных регионов, исследование космического пространства, угроза терроризма и решение затяжных локальных конфликтов, создание новых систем оружия и проблема сокращения всех видов вооружений).

#### 2.1.4. МЕТОД ФОКАЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

Основная идея метода заключается в том, что для подавления психологической инерции, связанной с объектом исследования, необходимо перенести признаки случайно выбранных объектов на совершенствуемый объект.

Алгоритм деятельности исследователя, использующего метод фокальных объектов, включает следующие стадии:

1. Для объекта (технической системы), который предполагается изменять, формулируется цель совершенствования.

2. С помощью любого источника информации (в том числе и с использованием генератора случайных чисел) выбираются случайные объекты.

3. Выделяются признаки (свойства) выбранных случайных объектов и переносятся на объект исследования.

4. Формулируются идеи, полученные от сочетания объекта исследования с признаками случайных объектов, и проводится их анализ, на основании которого выбирается наиболее подходящее решение.

*Пример.* Необходимо повысить потребительские свойства кастрюли для приготовления пищи. Выбираем случайные слова: дерево, лампа, спичка (табл. 1).

**Таблица 1**

Фокальный объект – кастрюля		Цель совершенствования – расширение ассортимента	
Случайные объекты	Признаки случайных объектов	Фокальный объект + признаки	Полученные идеи
Дерево	Высокое С корнями	Кастрюля с высокими стенками Кастрюля с корнями	Кастрюля с высокими стенками на подставке
Лампа	Электрическая Светящаяся	Электрическая кастрюля Светящаяся кастрюля	Кастрюля с электрическим подогревом и с подсветкой
Спичка	Дымящаяся В коробке	Дымящаяся кастрюля Кастрюля с двойными стенками	Кастрюля с индикатором запаха и полностью изолирующей крышкой

В результате анализа полученных идей можно предложить кастрюлю с высокими стенками на подставке, имеющую функции электрического подогрева и подсветки, снабжённую индикатором запаха и крышкой, обеспечивающей полную герметичность.



*Попробуйте с помощью метода фокальных объектов предложить новые конструкторские решения распространённых технических систем, например карманного фонарика или электрической дрели.*

Метод фокальных объектов можно эффективно применять при поиске возможностей выпуска и реализации новых товаров и для решения задач рекламы.

### 2.1.5. МЕТОД ОБОБЩЁННОЙ ЦЕЛИ

Метод может быть полезен, когда поиск решения поставленной задачи зашёл в тупик: ни один из найденных вариантов решения не является удовлетворительным. В этом случае полезно поставить вопрос: зачем требуется решать эту задачу? Какой более общей цели должно служить её решение? Не исключено, что эту более общую цель удастся достичь совсем другим способом.

### 2.1.6. ПОЭТАПНОЕ УЛУЧШЕНИЕ ОБЪЕКТА

Хорошие результаты при конструировании новых объектов могут быть получены посредством перенесения в данную область творческой деятельности метода решения математических задач, предложенного Д. Пойа. На первом этапе главное найти решение задачи любой ценой, пусть даже метод будет малоэффективным или достаточно трудоёмким, что позволяет выйти на новый уровень понимания проблемной ситуации. На втором этапе проводится оптимизация методов и способов решения.

Применительно к созданию новых технических систем это означает, что вначале необходимо создать техническую систему, которая позволяет реализовывать главную полезную функцию, пусть даже затраты на это будут относительно велики. После этого систему начинают совершенствовать и оптимизировать. Так удаётся быстрее достигнуть конечного результата, чем при попытке сразу найти хорошее решение, не имея прототипа.



*Ознакомьтесь с этапами создания технологического оборудования для получения наноструктурированных углеродных материалов. Опишите поэтапное улучшение объекта – реактора пиролиза углеводородов.*

## 2.2. МЕТОДЫ СИСТЕМАТИЗАЦИИ ПЕРЕБОРА

### 2.2.1. ТЕОРИЯ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ АЛЬТШУЛЛЕРА

Советский исследователь Г. С. Альтшуллер, изучив около 40 тысяч изобретений, в основном в области механических приспособлений, выделил 40 приёмов, применение которых позволяет решать большинство задач в указанной области. Рассмотрим некоторые приёмы, которые удалось выделить Г. С. Альтшуллеру.

– *Принцип вынесения*, предполагающий отделение от объекта мешающей части (например, выпарной аппарат с выносной греющей камерой).

– *Принцип местного качества*. Необходимо перейти от однородной структуры объекта к неоднородной (например, изменение поверхностного слоя металла внесением легирующих элементов или поверхностной закалкой, что обеспечивает большую прочность части детали, подвергающейся повышенным нагрузкам и износу); разные части объекта должны выполнять различные функции (например, биметалл, у которого один из слоёв обеспечивает прочность конструкции, а другой коррозионостойкость); каждая часть объекта должна находиться в условиях, наиболее благоприятных для её работы (например, если рассматривать в качестве технической системы грузовой поезд, то для колёс электровоза требуется большой коэффициент трения, а для колёс вагонов – минимальный).

– *Принцип предварительного действия*. Необходимо заранее выполнить требуемое действие, хотя бы частично. Например, операция автофретирования толстостенных сосудов предполагает их первоначальное нагружение для формирования в образце, находящемся в покое, остаточных деформаций и, как следствие, внутренних напряжений в металле. После операции автофретирования наружные слои в нормальном состоянии будут растянуты, а внутренние сжаты. Создание рабочего давления в аппарате частично компенсируется остаточными деформациями.

– *Принцип «наоборот»*. Вместо действия, напрашивающегося по условию задачи, осуществить обратное действие: сделать движущуюся часть объекта или среды неподвижной и наоборот. Пример: в своё время на пищевых предприятиях было предложено вместо раскалывания скорлупы орехов механическим давлением снаружи выдерживать их в камере со сжатым воздухом. При резком сбросе давления в камере проникающий внутрь ореха через поры сжатый воздух разрывает скорлупу, не повреждая мякоть.

– *Принцип непрерывности полезного действия*, нацеливает на создание технических систем с непрерывным режимом работы и с минимальными холостыми ходами.



*Приведите примеры использования рассмотренных приёмов для технических систем, относящихся к области химической промышленности, машиностроению и наноиндустрии.*

Малое общее число приёмов позволило Г. С. Альтшуллеру предложить методику планомерного поиска решения изобретательских задач: просматривая список приёмов, решать, как каждый приём мог бы помочь разрешению чётко сформулированного технического противоречия. Эта методика вошла в состав более широкой процедуры технического творчества, названной автором «Алгоритм решения изобретательских задач». Позднее автор расширил свою методику до «Теории решения изобретательских задач».

### 2.2.2. МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Метод морфологического анализа разработан швейцарским астрофизиком Ф. Цвики. Основная идея метода – с помощью комбинаторики получить все теоретически возможные варианты реализации объекта с требуемой главной функцией. Для этого анализируют строение (морфологию) объекта, выявляют основные элементы (А, Б, В, Г, ...), от которых зависят функции объекта, и для каждого из них определяют варианты исполнения (например, А1, А2, А3, А4, ...). Далее составляют список (массив) всех формально возможных способов выполнения. Анализ удобно вести с помощью многомерной таблицы, получившей название морфологического ящика, в которой выбранные характеристики или части объекта играют роль основных осей. (табл. 2)

**Таблица 2**

A1	A2	A3	...
B1	B2	B3	...
V1	V2	V3	...
...	...	...	...

Общее количество вариантов будет:  $N = A_n B_m V_k \Gamma_l \dots$ . После чего выбирают наиболее перспективные сочетания возможных исполнений всех частей объекта.

*Пример.* В целях повышения конкурентоспособности продукции осуществляется поиск новых, перспективных с маркетинговой точки зрения, вариантов её исполнения – ножа для резки бумаги.

Можно выделить несколько ключевых элементов данного объекта, которые определяют выполнение им своей главной функции. Это материал лезвия (А), форма лезвия (Б), материал ручки (В), безопасность хранения (Г).

Можно выделить по каждому пункту несколько вариантов исполнения. Например, материалом лезвия может служить камень (А1), кость (А2), металл (А3), полимер (А4), электромагнитная волна (лазерный луч) (А5). Аналогично можно указать варианты исполнения и по другим элементам. Форма лезвия – прямоугольная (Б1), криволинейная (Б2), треугольная (Б3). В качестве материала ручки можно использовать дерево (В1), металл (В2), пластмассу (В3). Безопасность хранения будет различной при исполнении ножа с открытым лезвием (Г1), лезвием, убирающимся в рукоятку (Г2), и лезвием, имеющим чехол (ножны) (Г3). Соответственно, для нашего анализа получилось  $5 \cdot 3 \cdot 3 \cdot 3 = 135$  вариантов. Например, один из вариантов исполнения ножа – А2Б3В1Г3 – нож с лезвием треугольной формы из кости, имеющий деревянную рукоятку и чехол для хранения. Последовательно проводится анализ других вариантов технического объекта и выбирается лучший (или лучшие), которые могут заинтересовать значительное количество потребителей.

### 2.2.3. МЕТОД ЭВРИСТИЧЕСКИХ ПРИЁМОВ

Каждый исследователь, решая творческие задачи, постепенно вырабатывает и свой подход к поиску решения, и разнообразные эвристические приёмы, позволяющие с большей вероятностью и за меньший промежуток времени получить положительный результат в деятельности.

Процесс инсайта при решении нестандартной задачи анализируется исследователем на стадии рефлексии. После этого вырабатывается общий подход, который в дальнейшем работник может перенести на другие рассматриваемые проблемные ситуации и научные задачи. Эвристические приёмы достаточно часто основаны на интуиции и бессознательных процессах, поэтому не имеют строгого доказательства.

Появление и активное использование эвристических приёмов обусловлено тем, что при открытии новых явлений и определении соответствующих им физических принципов действия не всегда в тот же период времени разрабатываются теоретические положения, объясняющие их. Поэтому применение имеющихся средств и методов логики и математики, опирающихся на теоретическую базу, не всегда возможно. Тем более что технические творческие задачи очень многогранны, поэтому не может быть единого универсального подхода к их решению.

На основе обобщения опыта значительного числа конструкторов и исследователей были разработаны эвристические приёмы в виде

методических правил и рекомендаций, которые не с гарантией ведут к цели, но значительно повышают вероятность успеха и эффективность работы.

Новые области знания, создание принципиально новых технических систем и технологий позволяет расширять базу эвристических приёмов. Цифровизация экономики затрагивает и данную сферу, что позволяет не только создать удобную информационную базу по имеющимся приёмам, но и на основе систем искусственного интеллекта предлагать исследователю наиболее перспективные приёмы для решения конкретной творческой задачи.

#### 2.2.4. МЕТОД КОНТРОЛЬНЫХ ВОПРОСОВ

Метод контрольных вопросов позволяет генерировать новые идеи и решения, стимулировать их выдвижение исследователем с помощью наводящих вопросов. Метод может применяться в индивидуальной и групповой творческой работе.

Суть метода контрольных вопросов состоит в том, что изобретатель анализирует технический объект и генерирует новые идеи по его совершенствованию, направляемый перечнем вопросов (или решая последовательно ряд мелких задач).

Существуют много различных списков контрольных вопросов, том числе А. Осборна, Д. Пойа и др. Один из наиболее полных и удачных – список вопросов английского изобретателя Т. Эйлоарта (приведён его сокращённый вариант):

- 1) перечислить все качества и определения предполагаемого изобретения;
- 2) сформулировать задачи совершенствования объекта ясно; определить второстепенные и аналогичные задачи; выделить главные задачи;
- 3) перечислить основные принципы физического действия имеющихся решений, выявить их недостатки, выдвинуть новые предположения;
- 4) набросать фантастические, биологические, экономические, химические, молекулярные и другие аналогии;
- 5) построить математическую, гидравлическую, электронную, механическую и другие модели;
- 6) попробовать различные виды материалов: газ, жидкость, твёрдое тело, гель, пену, пасту и пр.;
- 7) попробовать различные виды энергии: тепловую, магнитную, электрическую, энергию света, силу удара и т.д.;

8) узнать мнение совершенно неосведомлённых в данной области людей;

9) устроить небольшой мозговой штурм по исследуемой проблеме (объекту);

10) не расставаться с проблемой, уделяя ей и рабочее время, и время физического отдыха;

11) находиться среди обстановки, стимулирующей конкретного индивида;

12) определить идеальное решение и разрабатывать реализуемые решения;

13) видоизменить решение проблемы с точки зрения времени (скорее или медленнее), размеров, вязкости и прочих параметров;

14) в воображении залезть внутрь механизма.

Данные вопросы позволяют исследователю полнее погрузиться в проблемное поле задачи, более качественно проанализировать имеющуюся техническую систему и определить ресурсы, использование которых возможно для совершенствования объекта. Это позволяет сократить время поиска решения творческой задачи.

Творческий процесс достаточно слабо поддается управлению, поэтому все описанные методы позволяют повысить вероятность успеха при решении творческой задачи, но не гарантируют его. Одним из способов повышения результативности деятельности конструктора будет качественный анализ и моделирование технических систем.

### 3. АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

#### 3.1. ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ

Для успешного решения творческих нестандартных задач целесообразно описывать технические системы на языке, позволяющем избежать проявления инерции мышления и обеспечивающем качественный анализ их компонентов и характеристик.

Рассмотрим несколько технических систем (табл. 3).

Таблица 3

Техническая система	Основное предназначение (главная функция)
Токарно-винторезный станок	Изменение формы заготовки в виде тела вращения в соответствии с размерами и шероховатостью поверхности, указанными на чертеже
Электрический двигатель	Изменение вида энергии (преобразование электрической энергии в механическую энергию)
Теплообменник	Изменение температуры одной из сред, проходящей через него
Выпарной аппарат	Концентрирование водного раствора (изменение концентрации целевого компонента в водном растворе)



*Приведите примеры знакомых Вам технических систем и определите их предназначение (главную функцию).*

Сравнивая эти технические системы, можно установить, что каждая из них предназначена для преобразования некоторого объекта (металлическая заготовка, энергия, жидкая среда, раствор) и изменения его свойств (или изменения количества свойств).

В процессе решения нестандартных задач объектом будем называть некий элемент материального мира, который необходимо преобразовать в соответствии с требованиями внешнего потребителя. Таким образом, объектом является любое исходное для технической системы сырьё, которое нуждается в улучшении, преобразовании, обработке.

Продуктом же будет уже изменённый объект (обточенная металлическая заготовка, преобразованная в новый вид энергия, нагретая жидкость или более концентрированный раствор). Продукт – это объект с изменённым свойством.



*Для выбранных ранее технических систем определите объект и продукт.*

Поскольку в процессе функционирования технических систем идут параллельно несколько процессов, то в качестве объекта можно рассматривать любой подвергающийся изменению элемент. Например, при обработке заготовки на токарном станке происходит нагрев и износ режущего инструмента, что может привести к изменению его свойств. Поэтому при изучении тепловых процессов и механического износа режущего инструмента в качестве объекта выступает резец, а результатом функционирования технической системы будет изменение его прочности и геометрических размеров.

В ряде случаев изменение свойств объекта может происходить без активного вмешательства в процесс человека под действием причин естественного характера, например изменения в структуре металла или сплава, происходящие при естественном остывании его на воздухе после термической обработки. Но не все желаемые изменения в объекте (например, изменение формы металлической заготовки) могут происходить только под воздействием естественных факторов, а иногда и скорость естественных процессов не всегда нас устраивает. Поэтому для изменения свойств объекта необходимо устройство или техническая система.

Технической системой будем называть совокупность взаимосвязанных элементов, обеспечивающих появление продукта. Функция технической системы заключается в придании объекту желаемого свойства. При этом техническая система, как и любая система, обладает свойствами, не сводящимися к свойствам отдельных её элементов.

Для проведения анализа и моделирования технических систем необходимо ввести однозначное соответствие между продуктом, функцией и технической системой. Поэтому функция технической системы заключается в придании объекту единственного для анализа данной ситуации требуемого свойства. При необходимости рассмотреть другое свойство моделируется другая техническая система. При анализе продукта с множеством свойств будем рассматривать каждое из них отдельно, и каждому из них будем сопоставлять только одну техническую систему. Но если результатом функционирования техни-

ческой системы будет только один продукт (или изменение только одного свойства продукта), то один и тот же продукт может быть получен в результате работы различных систем. Например, заготовку с центральным отверстием можно получить и на токарном, и на сверлильном станках.

Важным в анализе технических систем будет понятие «свойство», которое делает объект продуктом. Причём свойство может как появляться у продукта, так и наоборот – теряться у него. Например, если для технической системы – адсорбера в качестве объекта рассматривается «воздух, содержащий примеси», то продуктом будет воздух, у которого это свойство отсутствует – «чистый воздух, или воздух, не содержащий примеси».

Важно сформулировать свойство так, чтобы не ограничивать творческий поиск. Например, пусть объектом является прямой металлический стержень, а продуктом будет стержень с искривлённой под углом осью. Если назовём продукт «согнутым стержнем», то это побуждает исследователя рассматривать только всевозможные способы указанный стержень согнуть. А такой метод получения продукта, как разрезание стержня с последующей приваркой его под нужным углом, может и не рассматриваться. Другими примерами неудачного указания продукта являются: просверлённая деталь, вбитый гвоздь, сжатый воздух. В этих случаях целесообразно определять продукт как деталь с отверстием (с пустотой), стена с гвоздём, воздух с такой-то плотностью. Тем самым цель проектирования технической системы не сужается и творческий поиск исследователя не ограничивается.

В целях преодоления психологической инерции, побуждающей исследователя к деятельности в определённом направлении, целесообразно свойство продукта выражать существительным, например, привычное для нашего мышления наименование продукта «расплавленный металл» заменить на нейтральное в отношении способа получения название «металл с таким-то количеством теплоты», или название «упаренный раствор соли» заменить на «раствор соли с такой-то концентрацией». Таким образом, свойство является как бы вторым объектом, при добавлении которого к первому объекту и получается продукт.



*Проанализируйте продукты, получаемые с помощью распространённых на предприятиях машиностроительного кластера технических систем. Опишите приобретаемые ими свойства. По возможности сформулируйте эти свойства существительными.*

Как было указано, необходимость наделения объекта некоторым свойством детерминирована потребностью других участников деятельности в данном продукте. Это указывает на существование технической системы, где каким-то образом данный продукт задействован. Например, продукт «жидкость с таким-то количеством теплоты» детерминирован последующим массообменным процессом. Поэтому если продукт одной технической системы становится объектом для другой, то имеет смысл говорить о технологической цепочке. Свойство, возникающее в объекте как результат обработки, всегда указывает и на некоторую следующую техническую систему, имеющую отношение к продукту.



*Составьте технологические цепочки для машиностроительных предприятий и предприятий химической промышленности. Пересекаются ли эти цепочки?*

Свойство объекта является той характеристикой, которая позволяет вырвать данный продукт (данную техническую систему) из технологической цепочки и рассмотреть его отдельно.

Данный приём постоянно используется в моделировании. Например, при рассмотрении механического движения тела его рассматривают отдельно, а взаимодействие с другими телами и внешней средой заменяют соответствующими силовыми факторами.

### 3.2. АНТИСИСТЕМА, АНТИСВОЙСТВО

Для моделирования введём ещё несколько понятий. В качестве антисистемы к действующей технической системе будем рассматривать систему с противоположной функцией. Таким образом, исходным для антисистемы и подлежащим преобразованию будет продукт, а конечным результатом функционирования – объект (продукт, лишенный какого-либо свойства).

Аналог данного понятия есть в математике. Пусть задан некоторый оператор  $S(O) = P$ , тогда обратным к нему называется оператор  $S^{-1}$ :  $S^{-1}(P) = O$ .

Приведём примеры системы и антисистемы. Пусть объектом является атмосферный воздух. Для работы ряда технических устройств необходимым его свойством будет пониженное содержание в нём влаги. Тогда технической системой выступает осушитель воздуха, а антисистемой – увлажнитель.

В качестве другого объекта рассмотрим деталь устройства, имеющую значительный физический износ. Требуемым свойством для её работоспособности будет наличие дополнительного слоя материала

на поверхности детали. Тогда системой будет устройство для наплавки, а антисистемой – любой металлообрабатывающий станок, который позволит лишиться продукт (деталь с направленным материалом) этого приобретённого свойства.

 *Приведите примеры системы и антисистемы, укажите приобретаемые/теряемые с их помощью свойства.*

При разработке теории решения творческих задач будем считать, что антисистема всегда существует. Заметим, что создание антисистемы не всегда в настоящий момент достижимо, например не найдена антисистема для двигателя внутреннего сгорания.

Проверкой правильности построения антисистемы может быть следующий мысленный эксперимент: изменения объекта от совместного действия системы и антисистемы равны нулю.

Достаточно часто система и антисистема являются одним и тем же техническим объектом. Например, теплообменник может выступать как нагреватель нашего объекта, так и как холодильник (в зависимости от характеристик инструмента – второго теплоносителя). А электрический двигатель может стать генератором тока, если к выходному валу приложить вращающий момент.

Справедливо ещё одно утверждение о связи системы и антисистемы. Пусть дан объект и задан требуемый продукт. Тогда объект можно представить как продукт действия некоторой антисистемы. Важным моментом для решения творческих инженерных задач будет то, что антисистема появляется в рассуждениях ещё до того, как задана система.

Если продукт имеет какое-то свойство по сравнению с объектом, то можно говорить, что у объекта отсутствует требуемое свойство или он обладает некоторым свойством, в каком-то смысле противоположным желаемому, «антисвойством».

Например, в процессе работы технической системы «шлифовальный станок» у объекта «заготовка» появляется свойство «гладкость поверхности». Антисвойством будет «шероховатость поверхности», появление которого обеспечивается антисистемой.

 *Приведите примеры свойств/антисвойств продуктов, выпускаемых предприятиями химического машиностроения.*

### **3.3. ПОДСИСТЕМА И НАДСИСТЕМА**

Анализируя техническую систему, необходимо учитывать, что для конкретного технического устройства существуют внешние устройства, для которых оно является или частью, или вспомогатель-

ной системой. При этом рассматриваемая техническая система использует результаты функционирования других систем (имеет свою историю), а продукт будет востребован другими системами (будущее системы). Систему, использующую продукт данной технической системы, называют надсистемой. Подсистема – это такая система, продукт которой используется данной технической системой. Ситуация, когда продукт одной технической системы становится объектом другой, называется технологической цепочкой.

Применение системного подхода и исследование технической системы в её взаимосвязи с надсистемой и подсистемами способствует более глубокому пониманию задачи и тщательному учёту имеющихся в распоряжении ресурсов.

Конечным пользователем продукта технологической цепочки является человек, и, соответственно, он является элементом надсистемы. Поэтому в системах высшего уровня необходимо учитывать его психологические и физиологические параметры. Например, продуктом технической системы «радиоприёмник» являются звуковые волны определённой частоты и интенсивности, воспринимаемые ухом среднестатистического человека.

Человек также может выступать в качестве органа управления на любом уровне технической системы. В этом случае техническая система должна обеспечивать возможность контроля параметров и проведения корректирующих действий с учётом возможностей восприятия и реакции человека.

### **3.4. КОЛИЧЕСТВО СВОЙСТВА, УСТОЙЧИВОСТЬ СВОЙСТВА**

Для оценки работы технической системы важно знать не только качественную характеристику свойства, но и количественные показатели.

Например, продукт «сухой воздух» или «воздух с малым количеством влаги» не позволяет говорить о проектировании конкретной технической системы. Для этого необходимо указать количественную характеристику свойства продукта – сколько влаги должно остаться в единице объёма воздуха, что позволит выбрать конструкцию осушителя и определиться с режимами его работы, или начать научный и изобретательский поиск для получения требуемого результата.

В качестве другого примера рассмотрим процесс создания гладкого объекта цилиндрической формы (вала). Проектирование технической системы (токарного станка) предполагает знание и свойства – диаметра объекта, и его характеристики – требуемой точности изго-

товления данного размера. Поэтому в качестве свойства будем рассматривать для тела цилиндрической формы его диаметр, в качестве характеристики диаметра будет выступать точность изготовления (квалитет точности).

Указание на количество свойства позволяет оптимизировать проектирование технических систем и создавать новые. Например, изготовление вала требуемой точности и качества поверхности детерминирует выбор токарного и шлифовального оборудования. Создание цилиндрического вала определённого диаметра с точностью по 10 квалитету предполагает проектирование технической системы в форме токарного станка, а получение 6 квалитета возможно только при создании технической системы – шлифовального станка.



*Приведите примеры, когда различные количества свойств родственных продуктов определяют создание разнообразных технических систем.*

Устойчивость продукта будем рассматривать как свойство свойства. Обобщённым определением устойчивости системы (процесса) по некоторым параметрам является её способность выполнять свою функцию при малых их изменениях. Можно определить устойчивость продукта как его способность сохранять своё свойство при указанных возмущениях в течение рассматриваемого промежутка времени. Устойчивой (несмотря на гравитацию) должна быть краска на стене, сваренный контакт (например, при вибрации) и т.д.

Устойчивость свойства может обеспечиваться самой конструкцией технического объекта. Например, если свойство – способность предмета находиться на некотором уровне относительно пола, то опора в форме стержня, поддерживающего предмет, будет неустойчивым свойством, а опора в форме подвеса – устойчивым.

Формируемые с помощью значительного количества технических систем свойства устойчивы (в течение определённого промежутка времени). После обработки на токарном станке деталь приобретает форму и качество поверхности (шероховатость), которые относительно устойчивы. Изменением шероховатости вследствие естественных процессов (например, коррозии) можно пренебречь. В то же время формообразование продукта, например, в виде создания земляных форм для отливок позволяет получить достаточно неустойчивое свойство, которое может теряться в процессе использования продукта (разрушаться при заливке металла в формы).

Соединение элементов конструкции в единое целое посредством сварки позволяет получить тоже достаточно устойчивое свойство продукта. Но использование пайки при соединении деталей резко снижает устойчивость свойства (прочность конструкции).

### 3.5. КЛАССЫ ПРОДУКТОВ, ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ОБЪЕКТОВ

Пусть нам задан некоторый продукт с некоторым количеством свойства. Рассмотрим теперь набор продуктов, образованный из данного путём изменения количества свойства в каких-либо указанных пределах. Можно сказать, что получившийся набор продуктов параметризован своим свойством. Такой набор называется классом продуктов. Очевидно, что класс продуктов может состоять как из конечного, так и бесконечного числа элементов.

Например, класс продуктов с шероховатостью поверхности в некотором диапазоне состоит из бесконечного числа элементов. Или класс продуктов – углеродных нанотрубок с длиной в заданном диапазоне – тоже состоит из бесконечного числа элементов. В то же время разделение углеродных нанотрубок на классы по количеству слоёв приводит к выделению важного для дальнейшего использования класса – однослойные нанотрубки, который состоит только из одного элемента.



*Приведите примеры распространённых классов продуктов, получаемых с помощью технических систем в машиностроении.*

Пусть рассматривается некоторое техническое устройство, применяемое для получения некоего продукта. Рассмотрим класс продуктов, параметризованный определённым свойством. Будем мысленно изменять количество этого свойства в широких пределах и отмечать качественные изменения в используемых технологиях и функционировании отдельных конструктивных элементов технической системы.

Любая инженерная (и не только инженерная) проблема, ситуация, описывается некоторым набором физических параметров. Попробуем представить, изменится ли ситуация качественным образом, если эти параметры меняются в широких пределах, от нуля (или минус бесконечности) до плюс бесконечности.

В результате получим инженерную задачу, связанную с оптимизацией: обеспечить выпуск продукции, входящей в приемлемый для потребителя класс по параметру некоторых свойств, при минимальных затратах. В качестве примера можно рассматривать задачу проектирования реактора пиролиза углеродных нанотрубок.

### 3.6. ВРЕДНАЯ ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Человек, создавая техническую систему, заранее предполагает, что она будет совершать некоторое полезное, с его точки зрения, действие, будет полезной технической системой. Но результат может быть и другим – система может совершать и вредное для нас действие. Поэтому вредной технической системой называется такая, продукт которой вреден или нежелателен для потребителя.

Необходимо отметить, что полезность и вредность технических систем есть категории субъективные, могут зависеть от потребностей конкретного человека или ситуации, когда какое-то свойство будет актуальным. Эффект трения или сопротивления среды будут определены как вредные технические системы при задаче разгона автомобиля. Они же должны быть признаны полезными при торможении. Вредная система и полезная – как единство и борьба противоположностей. Например, повышение температуры заготовки при обработке на металлорежущем станке является вредным, так как изменяет внутреннюю структуру металла, повышает вероятность появления деформаций и искажения формы, но с другой стороны – полезным, так как снижает сопротивление резанию и расход электроэнергии. Вредная система всегда может быть рассмотрена как эффект действия полезной, а всё то, что мешает осуществиться полезному действию, можно рассматривать как результаты работы вредных технических систем.



*Приведите примеры вредных технических систем, работающих параллельно с полезной и изменяющих свойства продукта. Всегда ли можно полностью устранить вредную техническую систему?*

Очевидно, что если в момент работы полезной технической системы работает её антисистема, она будет вредной. Встречный ветер, гравитация при движении автомобиля в гору являются и антисистемами, и вредными техническими системами.

### 3.7. ЧАСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Рассмотрим классификацию составных элементов технической системы, обеспечивающих появление продукта. Если превращение объекта в продукт не происходит чудесным образом само, то это является результатом взаимодействия заготовки (объекта) с другим объектом. Поэтому техническую систему составляют два взаимодействующих объекта и та подсистема, что обеспечивает их взаимодействие.

При конструировании устройства определяется взаимодействующая пара объектов, принцип их совместной работы и технологический процесс, позволяющий его реализовать. После этого конструктор проектирует подсистему, которая обеспечит все условия для того, чтобы выбранная пара смогла осуществить свой принцип работы при выполнении технологического процесса, результатом которого и будет требуемый продукт.

Если изменения объекта, воздействующего на заготовку, пренебрежимо малы по сравнению с изменением последней, то можно говорить не о взаимодействии двух объектов, а об однонаправленном действии инструмента на заготовку. Предположение об однонаправленности в большинстве случаев соответствует действительности. Инструментом называется часть технической системы, непосредственно действующая на объект, например режущая кромка резца для заготовки в металлообрабатывающем станке, теплоноситель в теплообменнике, электромагнитное поле в вихревом аппарате.



*Приведите примеры инструментов для различных технических систем.*

Пусть техническая система совершает работу. Это означает, что имеет место потребление энергии. Это обуславливает наличие ещё двух необходимых элементов технической системы – источника энергии и двигателя. Источник энергии – то, откуда система черпает энергию для производства работы. Двигатель – то, где происходит конечное преобразование энергии в вид, используемый инструментом. Пусть, например, продуктом является автомобиль, двигающийся с определённым ускорением. При движении автомобиля с включённой передачей двигателем целесообразно признать собственно штатный двигатель, в нём происходит преобразование внутренней энергии топлива в механическую энергию вращения вала. При движении же под гору с выключенной передачей двигателем автомобиля явится совокупность его массы, гравитации и угла наклона спуска.

Получаемые характеристики энергии после двигателя не всегда смогут обеспечить преобразование объекта в продукт. Например, вращение вала двигателя может обеспечить лишь вращательное движение инструмента, а для долбежного или строгального станка необходимо возвратно-поступательное движение. Поэтому необходимо не только передать энергию к инструменту, но и изменить её характеристики. Трансмиссия – то, что передаёт энергию от двигателя к инструменту.

Для получения необходимого эффекта и получения нового свойства у объекта необходимо обеспечить взаимодействие всех частей технической системы. Система управления – то, что обеспечивает совместную работу частей технической системы для появления продукта. К системе управления следует относить набор любых принципиальных параметров (свойств), например длину трубопровода, наличие внутренних перегородок в теплообменнике, остроту ножа дробилки, жёсткость материала в станине станка. Многие из этих параметров изменяемы, а это значит, что можно управлять функционированием системы посредством их изменения. Например, трансмиссия металло-режущего станка выполняет параллельно и многие функции управления (меняя в процессе работы технической системы частоту вращения заготовки или инструмента, предохраняя систему от поломки – проскальзывание ремённой передачи при стопорении резца в детали и т.п.). Целесообразно к системе управления отнести всё то, что обеспечивает работу технической системы. Возможны случаи, когда в явном виде какие-то элементы будут отсутствовать (например, система управления).

В процессе моделирования технологического процесса и проектирования на его основе технической системы выделяются объект и продукт, получающийся из объекта посредством воздействия инструмента. Для функционирования технической системы необходимо наличие источника энергии, двигателя, трансмиссии и системы управления. При этом каждая часть технической системы должна быть функционально пригодной, т.е. обладать необходимым количеством свойства для выполнения своей функции. Например, токарный резец должен быть острым, прочным и необходимой для работы формы.

Любой элемент технической системы, состоящей из «источника энергии, двигателя, трансмиссии, рабочего органа, объекта и системы управления», сам по себе может быть рассмотрен как техническая система. Иными словами, в нём можно выделить и источник энергии, и объект, и т.д. При необходимости, продолжая такой процесс «детализации», можно прийти до того уровня, до которого позволяют углубиться известные на данный момент знания закономерностей природы.



*Для следующих технических систем определите объект, продукт, приобретаемое свойство и основные компоненты (инструмент, источник энергии, двигатель, трансмиссия и система управления): фрезерный станок, редуктор, теплообменник, ректификационная колонна, шаровая мельница, шинковый дозатор.*

### **3.8. ОПЕРАТИВНАЯ ЗОНА, ОПЕРАТИВНОЕ ВРЕМЯ**

Область, где происходит контакт инструмента и объекта, называется оперативной зоной, а время их взаимодействия – оперативным временем.

Определяя, что является оперативной зоной и что оперативным временем в производстве продукта, исследователь представляет проблемную ситуацию более полно и сможет организовать творческий процесс эффективнее, прежде всего потому, что сможет точно определить какими материальными или временными ресурсами располагает. Например, точение заготовки есть результат взаимодействия резца и обрабатываемого материала. Оперативной зоной является линия контакта режущего инструмента и заготовки, а оперативным временем является время этого контакта.

## 4. ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

---

Развитие технических систем подчиняется определённым законам, носящим статистический характер, т.е. установленная в них взаимосвязь событий справедлива для большинства рассматриваемых объектов. В то же время эти законы объективны и не зависят от воли и сознания людей. Важнейшей чертой всякого объективного закона является его всеобщность. Объективный закон относится не к отдельному объекту, а к совокупности объектов, составляющих определённый класс, вид, множество, определяя характер их функционирования и развития. Также объективный закон носит необходимый характер, закономерная связь всегда является необходимой связью, которая при наличии определённых условий неизбежно прослеживается.

Законов развития технических систем несколько, каждый из которых отражает какую-либо особенность этого процесса. Можно выделить следующие основные законы развития технических систем:

- полноты частей технической системы;
- сквозного прохода энергии;
- согласования – рассогласования технической системы;
- развития технической системы по S-образной кривой;
- повышения степени идеальности технической системы;
- вытеснения человека из технической системы;
- неравномерности развития частей технической системы;
- свёртывания – развёртывания технической системы;
- перехода технической системы на микроуровень и использования полей;
- повышения динамичности и управляемости технической системой;
- перехода технической системы в надсистему.

Рассмотрим наиболее важные в контексте организации творческого поиска законы, а также ряд законов, отражающих специфические особенности процесса развития.

### 4.1. ЗАКОН ПОЛНОТЫ ЧАСТЕЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Формулировка данного закона: «Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является наличие и минимальная работоспособность основных частей системы: двигателя, трансмиссии, рабочего органа и средства управления».

Знание закона позволяет определить, является ли данная совокупность элементов технической системой и жизнеспособна ли она. Часто техническая система появляется, как только к рабочему органу добавляется вместо человека трансмиссия и двигатель. Источник энергии может совпадать с двигателем (например, в машине с двигателем внутреннего сгорания), а может находиться вне технической системы (например, электрическая сеть предприятия является внешним источником энергии при работе металлообрабатывающих станков). Для того чтобы техническая система была управляемой, необходимо чтобы хотя бы одна часть технической системы была управляемой.

#### **4.2. ЗАКОН РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПО S-ОБРАЗНОЙ КРИВОЙ**

В технических системах с одинаковой функцией переход от поколения к поколению вызван устранением выявленного основного недостатка. Этот переход происходит при наличии необходимого уровня развития науки и техники, соответствующих основных фондов и производственной инфраструктуры, востребованности потребителями и экономической эффективности такой деятельности.

Сначала при неизменном физическом принципе действия и техническом решении улучшаются параметры технической системы до оптимальных. После этого улучшается техническое решение (структура) и вновь оптимизируются параметры технической системы. По исчерпанию возможностей улучшения структуры и параметров происходит переход к использованию нового физического принципа действия, после чего процесс оптимизации повторяется.

В каждом случае перехода от поколения к поколению происходят изменения конструкции, причём из всех возможных изменений реализуется в первую очередь то, что не требует дополнительных научных исследований, изменения структуры и уровня подготовки кадров, корректирующих мероприятий в организации производства и реализации усовершенствованной продукции.

Высокая интенсивность обновления фундаментальных знаний и растущие потребительские ожидания, высокий уровень конкуренции на рынке обуславливают переход к новому физическому принципу действия ранее полного использования потенциала, уже применяемого. Такой переход должен обеспечить производителям дополнительный доход, превышающий затраты на проведение фундаментальных и прикладных исследований и техническое перевооружение.

В процессе совершенствования объекта в рамках одного физического принципа действия критерии развития обычно меняются неравномерно. В первое время после перехода от одного цикла к другому рост совершенствуемого критерия экспоненциально ускоряется, а потом затухает, что свидетельствует об исчерпании потенциала физического принципа действия. Поэтому зависимость значения критерия развития от времени имеет S-образную форму и называется S-функцией.

Подобная форма кривой описывает развитие не только технических, но и биологических, общественных и других систем. Так развиваются не только сами системы, но и их отдельные подсистемы.

Большое практическое значение в контексте формирования инвестиционной стратегий и определения приоритетных направлений инновационной деятельности имеет изучение закономерности изменения критериев развития на протяжении использования одного физического принципа действия. Это позволяет установить степень использования потенциала реализованного в технической системе физического принципа действия.

При соответствии показателей технической системы первому участку S-функции целесообразно увеличить финансирование прикладных исследований по использованию в производстве новых знаний для принципиального улучшения продукции. Если же показатели соответствуют второму участку (особенно около второго перегиба кривой), то возможно лишь незначительное улучшение показателей, и особое внимание при разработке стратегии необходимо уделить поиску (в том числе посредством финансирования и проведения фундаментальных исследований) нового физического принципа действия или диверсификации производства.

Рассмотрим связь критериев развития с научной активностью и экономическими результатами. Достаточно часто S-образную кривую изображают в виде графика (рис. 4.1, а), по одной из осей координат которого отложены значения основных параметров системы, а по другой – время. Для технической системы основными параметрами могут быть мощность, скорость, грузоподъёмность и т.д. Можно выделить четыре этапа в рамках одного цикла (использования одного физического принципа действия).

На *первом* этапе техническая система только что создана в опытном образце, впервые реализован заложенный в неё новый принцип действия. В этот период техническая система имеет больше недостатков, чем преимуществ, и развивается только за счёт энтузиазма её создателей. В течение *второго* этапа техническая система бурно совер-

шенствуется, выпускается серийно, её качество улучшается, растёт спрос. *Третий* этап характеризуется тем, что система уже исчерпала свой потенциал, и её развитие резко замедляется. Рост показателей качества осуществляется только за счёт отдельных усовершенствований, не затрагивающих сущность технической системы. В этот период сама система и её промышленное производство продолжают двигаться больше по инерции, чем развиваться. На *четвёртом* этапе отмечается постоянство параметров технической системы или в некоторых случаях даже спад её показателей. Здесь возможны два случая. В первом – техническая система вышла на свой предельный уровень развития и дальше развиваться не может, поскольку полностью исчерпаны ресурсы физического принципа её действия. Во втором случае спад показателей означает продолжение процесса совершенствования данной технической системы, но это совершенствование происходит уже за счёт ухудшения её второстепенных параметров.

Зарождение и развитие альтернативных технических систем может происходить одновременно. Но интенсивно развиваться будет та, для которой в данный момент времени есть соответствующие условия (материалы, технологии и т.п.). Другие направления развития (иногда даже более производительные) оказываются временно «консервированными» и ждут изменения научно-технической и социально-экономической ситуации.

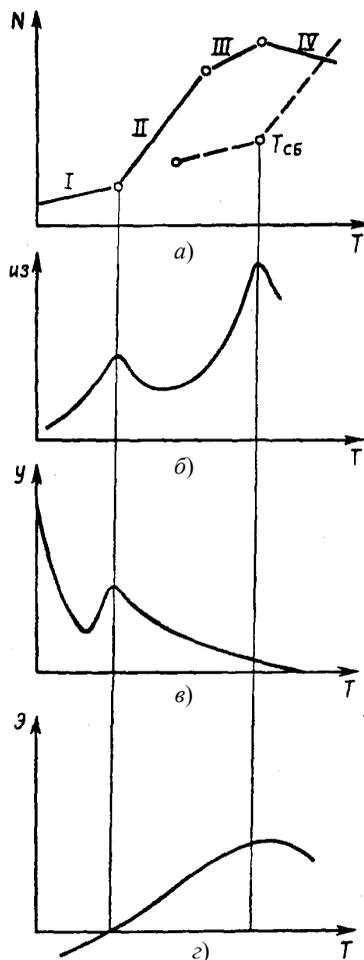
С S-образной кривой (рис. 1, *а*) взаимосвязаны другие показатели, такие как количество изобретений (рис. 1, *б*), уровень этих изобретений (рис. 1, *в*) и экономический эффект технической системы на каждом этапе (рис. 1, *г*).

Кривая количества изобретений 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.

Второй пик изобретательской активности в жизни технической системы появляется, когда система, исчерпав свой потенциал развития, вступает в зону застоя; все участники производственного процесса активно пытаются продлить жизнь угасающей системы и совершенствуют её отдельные элементы, не меняя ничего в принципе действия.

В течение цикла развития технической системы сопровождающие её изобретения имеют разные уровни. Наиболее высокий уровень имеет место в начале жизни системы, когда создаются изобретения, наце-

ленные на принципиальные изменения в структуре объекта. Затем уровень снижается, так как фундаментальная инновация дополняется большим количеством идей более низкого уровня. Новый всплеск уровня изобретений появляется в период бурного развития технической системы, перехода к серийному производству и дальнейшего совершенствования всех входящих в неё подсистем.



**Рис. 1. Характеристики жизненного цикла технической системы:**

*a* – S-образная кривая развития; *б* – количество изобретений;

*в* – уровень изобретений; *г* – экономический эффект

Оценивая экономический эффект технической системы, можно отметить, что на начальном этапе он обычно имеет самое низкое значение, в большинстве случаев даже отрицательное, так как затраты на разработку и создание опытного образца превышают отдачу от него. Затем эффект растёт и достигает своего максимума в период наиболее полного использования потенциала физического принципа действия технической системы.

Для осуществления прогнозирования развития технических систем посредством S-функции удобнее использовать её математическую зависимость. Существует несколько методов аналитического описания S-функции.

Логистическая функция или кривая Перля–Рица

$$y = \frac{K}{1 + be^{-ct}}.$$

Запаздывающая логистическая функция

$$y = \frac{K}{1 + \left(\frac{b}{\tau}\right)^c}.$$

Формула Гампертца

$$y = Ke^{-be^{-ct}}.$$

В перечисленных выражениях  $K$ ,  $b$ ,  $c$  – константы,  $\tau$  – время. Недостатком этих формул является их «жесткость», обусловленная наличием трёх констант, что снижает точность аппроксимации.

Капитонов Е. Н. и Попов А. И. в результате компьютерного анализа достаточно значительного количества статистических данных уточнили уравнение, описывающее изменение критерия развития технической системы:

$$y = Ke^{-e^{-b(\tau+c)}} + D,$$

где  $K$  – коэффициент, характеризующий интервал изменения  $y$  между двумя перегибами S-функции;  $b$  – коэффициент, характеризующий продолжительность временного интервала (т.е. изменения аргумента  $\tau$ ) между двумя перегибами S-функции;  $c$  – коэффициент, соответствующий времени появления первого перегиба S-функции;  $D$  – коэффициент, характеризующий исходное значение функции  $y$ .



*Для того чтобы продукция машиностроения соответствовала ожиданиям потребителей и не успевала морально устаревать за время планируемого срока эксплуатации, в задание*

*на проектирование должны быть внесены такие показатели этой машины или аппарата по производительности, энергоёмкости, материалоемкости и т.д., которые учитывают тенденции развития данных технических систем. Используя статистику развития какой-либо технической системы (например, печи для обжига серного колчедана, колонны синтеза аммиака, печи содового производства и др.), определить коэффициенты S-функции и прогноз по главной функции на сегодняшний день.*

Следует заметить, что прогнозирование по S-функции, называемое иначе статистическим прогнозированием, является наиболее старым и распространённым, но далеко не единственным методом прогнозирования.

### **4.3. ЗАКОН ПОВЫШЕНИЯ ДИНАМИЧНОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

В процессе развития технической системы происходит повышение её динамичности. Жёсткие элементы системы для повышения их эффективности должны переходить к более гибкой, быстроменяющейся структуре. Неподвижные и малоподвижные части технической системы по мере развития становятся всё более гибкими, подвижными, эластичными. Причём гибкость здесь рассматривается как адаптируемость системы к изменяющимся требованиям к её работе. Например, обычный резец преобразуется в резец со вставными пластинами, которые можно менять.

Так же в качестве примеров, иллюстрирующих действия данного закона, можно рассматривать самолёт с изменяемой в зависимости от режима полёта геометрией крыла, отвёртку со сменными наконечниками, шарнирное соединение секций в двухсекционном автобусе, преобразование жёсткого обода колеса в эластичный и т.п.

Закон динамизации технической системы ориентирует исследователя на конкретные изменения в системе, которые могут быть реализованы в двух направлениях:

1) динамизация элемента (или вещества) системы, которая обычно начинается с разделения элемента на две шарнирно соединённые части. Затем динамизация идёт по линии (один шарнир – много шарниров – гибкое вещество – жидкость – газ), а заканчивается заменой вещественной связи полевой;

2) динамизация используемого поля, например посредством перехода от постоянного действия к импульсному.

Любая техническая система проходит стадию динамизации, поэтому нужно только определить, на каком этапе в данный момент она находится и направления дальнейшего развития. Необходимо помнить, что в динамизации в первую очередь нуждается та часть технической системы, которая испытывает в данный момент наиболее сильное влияние факторов, сдерживающих её развитие.

#### 4.4. ЗАКОН ПОВЫШЕНИЯ СТЕПЕНИ ИДЕАЛЬНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Развитие любой системы (в том числе и технической) идёт в направлении повышения идеальности. Под идеальной системой понимается такая система, затраты на получение полезного эффекта в которой равны нулю. Наиболее знакомый критерий идеальности – экономическая эффективность функционирования системы. Но при решении нестандартных задач рассматриваются и другие факторы – используемая энергия и материалы, удобство использования и занимаемое пространство, экологические последствия и эстетика восприятия. Идеальная техническая система – это система, масса, габариты и энергоёмкость которой стремятся к нулю, а её способность выполнять работу при этом не уменьшается.

Идеальная техническая система – это та, которой вроде бы и нет, но полезная функция выполняется (например, волшебная палочка). Вредная техническая система всегда будет идеальной. А идеальной для студента может быть та система, которая не требует никаких усилий, но при этом знания и умения у обучающегося появляются. Конечно, полностью идеальных систем не существует, но стремиться к повышению идеальности при разработке конструкций и технологий необходимо.

Развитие технической системы – это процесс увеличения степени её идеальности, которая определяется как отношение суммы выполняемых полезных функций к сумме факторов расплаты. Повышение идеальности является следствием всеобщего закона развития экономики.



*Приведите пример развития технических объектов в направлении идеальности. Почему некоторые технические объекты не повышают свою идеальность при наличии необходимых знаний и результатов научных исследований?*

#### 4.5. ЗАКОН ОТНОСИТЕЛЬНОГО ПОСТОЯНСТВА

Этот закон можно сформулировать следующим образом: «Не существует изделий, не имеющих отклонений относительно некоторого материального образца. Ошибкой считается лишь превышение допустимого отклонения».

Для конструктора технологического оборудования этот закон имеет важное значение, поскольку он представляет собой основу определения границ допускаемых изменений ключевых характеристик технических систем с позиций эффективности их функционирования.

В машиностроении оценка допускаемых отклонений от номинальных параметров определяется:

- возможностью применения металлообрабатывающих станков и приспособлений для обеспечения той или иной точности и качества поверхностного слоя при выполнении операции;

- готовностью технической системы, изготовленной с определёнными отклонениями от номинальных характеристик, выполнять заданные функции по преобразованию объектов как качественно, так и количественно (обеспечивая приемлемую для потребителя производительность и энергопотребление).

На отклонения получаемых свойств технических систем в процессе изготовления на машиностроительных предприятиях влияют не только характеристики оборудования, но и случайные процессы и факторы. Они очень разнообразны – начиная со свойств конкретной заготовки (наличия микродефектов поверхности) и заканчивая условиями работы и человеческим фактором. Результат действия случайных процессов можно описать с помощью аппарата теории вероятностей.

Поведение социально-экономических систем носит вероятностный характер. Поскольку технические системы изготавливаются и эксплуатируются при участии человека, то особенности его деятельности и профессионально-личностных качеств оказывают влияние на количество свойства продукта. Можно оценить вероятность получения требуемого свойства для работников определённой квалификации, использующих конкретный вид оборудования и приспособлений.

При проектировании технической системы необходимо определить те предельные отклонения, которые гарантируют получение продукта с уровнем свойств, не ниже приемлемого для потребителя. Например, допуски и посадки, определяемые в соответствии с законом относительного постоянства для продукции предприятий машиностроительного кластера, лежат в основе стандартизации типовых деталей и инструментов.

#### 4.6. ЗАКОН ВОЗРАСТАНИЯ РАЗНООБРАЗИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Обеспечение разнообразия технических систем, а также разнообразия внутри отдельного класса технических объектов, имеющих одинаковую функцию, детерминировано законами маркетинга и направлено на более полное удовлетворение возрастающих потребностей населения. Количество  $N_\tau$  разнообразных объектов в некоторый момент времени  $\tau$  определяется формулой

$$N_\tau = N_0 e^{k\tau},$$

где  $N_0$  – количество разновидностей технических объектов в момент, принятый за начало отсчёта;  $k$  – эмпирический коэффициент.

Данная зависимость получена на основе анализа большого статистического материала.

Возрастание происходит за счёт появления новых потребностей человека, качественной и количественной специализации функций, а также за счёт дифференциации технических объектов, выполняющих качественно и количественно одинаковую функцию, но имеющих различия по конструкции.

Возрастание разнообразия технических объектов не может происходить безгранично, так как проявляются негативные последствия этого: сложность создания систем обслуживания и ремонта, организация взаимозаменяемости продуктов различных производителей, недостаточное позиционирование конкретного товара для продвижения его к потребителю. Поэтому, наряду с законом возрастания разнообразия технических объектов, в природе и технике действует закон ограниченного разнообразия.

#### 4.7. ЗАКОН ОГРАНИЧЕННОГО МНОГООБРАЗИЯ

Применительно к технике закон может быть сформулирован следующим образом: «Многообразие, являющееся необходимым условием существования единства сложных технических средств и способов их действия, должно иметь границы».

Увеличение различий между характеристиками изделий объективно обусловлено требованиями потребителей и их возрастающими потребностями в непрерывно развивающемся мире. Но, с другой стороны, чем шире используется данное техническое средство, тем в большей мере приобретает значение закон ограниченного разнообразия. Например, потребность унификации предопределила, чтобы в телефонах и смартфонах различных производителей можно было использовать однотипные карты памяти.

Закон проявляет себя в унификации и стандартизации.

#### 4.8. ЗАКОН СТАДИЙНОГО РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ

Этот закон отражает изменения, происходящие в процессе исторического развития как отдельных классов технических систем и объектов, так и техники в целом.

Технические системы, предназначенные для преобразования объекта в продукт и изменения свойств исходных материалов, имеют четыре стадии развития, связанные с реализацией четырёх фундаментальных функций:

- на *первой* стадии техническая система реализует только технологическую функцию, изменяя свойства объекта, остальное делает человек;

- на *второй* стадии развития техническая система реализует технологическую и энергетическую функции;

- на *третьей* стадии техническая система выполняет и функцию управления, обеспечивая оптимальное использование её потенциала по преобразованию объекта и адаптацию к изменяющимся потребностям человека;

- на *четвёртой* стадии добавляется функция планирования.

Переход к каждой очередной стадии происходит при исчерпании человеком своих возможностей и потенциала окружающей среды по дальнейшему увеличению производительности и других качественных показателей, а также при наличии необходимого научно-технического уровня и социально-экономической целесообразности к такому изменению.

Из закона стадийного развития техники вытекают две важные закономерности.

1. Каждая стадия развития техники, как правило, имеет два периода развития: сначала основная функция реализуется с помощью универсального технического средства, затем происходит дифференциация и специализация технических средств.

2. Увеличение числа основных функций, реализованных с помощью технических средств, приводит к тому, что естественные возможности человека накладывают меньше ограничений на развитие техники и открывается больше возможностей для совершенствования технических систем.

#### 4.9. ЗАКОН УБЫВАЮЩЕЙ ПОЛЕЗНОСТИ

Данный закон, к сожалению, характеризует развитие всех объектов, как природных, так и технических. В природе стареющий организм менее работоспособен, с течением времени снижается продуктивность скота и плодородность почвы.

В технике закон проявляется как в области её совершенствования, так и в области эксплуатации технических систем. При эксплуатации технической системы происходит износ отдельных деталей и узлов, получаемые с её помощью свойства всё дальше отклоняются от номинальных (запланированных для данного агрегата или машины). По мере старения технической системы, находящейся в эксплуатации, частота её отказов возрастает, а расходы на восстановление растут, пока не достигнут размеров получаемого от восстановления эффекта.

Закон может быть сформулирован следующим образом: «Затраты на совершенствование технической системы в пределах одного физического принципа действия по мере исчерпания его резервов приносят всё меньший эффект».

Существует срок службы технической системы, после которого восстановление и дальнейшая эксплуатация технической системы становятся нецелесообразными. При определении данного срока необходимо учитывать и физический износ объекта, и моральный.



*Приведите пример технических систем, для которых моральный износ значительно снижает полезность, чем физический. Моральный износ первого или второго рода определяет инновационное обновление производства?*

#### 4.10. ЗАКОНЫ СТРОЕНИЯ ТЕХНИКИ

Рассмотренные выше законы характеризовали общие тенденции в развитии техники. Не менее важное значение имеют законы, определяющие строение техники, её композицию. Средствами композиции являются пропорциональность, масштабность, ритм, модуль, масса, симметрия и асимметрия и др. Существует ряд законов строения техники, позволяющих оптимизировать использование средств композиции.

*Закон соответствия между функцией и структурой.* Каждый элемент технической системы выполняет хотя бы одну функцию по обеспечению функционирования всего объекта. Поэтому исключение элемента приводит к ухудшению какого-либо показателя технической системы или прекращению его функционирования вообще. Совокупность всех таких соответствий в техническом объекте представляет собой функциональную структуру, изображаемую в виде ориентированного графа.

Из данного закона следует:

– любая функция может иметь множество структур (конструкций), реализующих эту функцию, и наоборот, одна и та же структура может выполнять более одной функции;

– у технической системы функциональные элементы, осуществляющие определённые преобразования потоков вещества, энергии или сигналов, располагаются в пространстве по отношению друг к другу таким образом, что компоновочные затраты имеют минимальное значение.



*Составьте функциональную схему технической системы, функционирующей в области химической промышленности или химического машиностроения.*

*Закон гармоничного соотношения параметров технической системы.* Любая техническая система имеет определённое техническое решение, которое характеризуется набором основных параметров (например, производительность, энергопотребление, габариты, норма обслуживания и управления, грузоподъёмность, безопасность и т.д.). Главный параметр чаще всего относится к главному функциональному элементу.

Следовательно, техническое решение можно описать набором параметров  $(x, y_1, y_2, \dots, y_n)$ , где  $x$  – главный параметр;  $y_i$  – параметры, зависящие от  $x$ . Для заданного значения  $x$  существуют такие значения  $y_i^k$ , для которых любое другое значение  $y_i$  приводит к ухудшению технической системы. Указанное значение  $y_i^k$  называется гармоничным соотношением параметров.

Существуют допустимые соотношения параметров, которые отличаются от оптимальных, но позволяют сохранять работоспособность технической системы.

Закон может быть сформулирован следующим образом: «Любая техническая система, нормально реализующая свою функцию, имеет значения параметров  $(x, y_1, \dots, y_n)$ , достаточно близкие или совпадающие с гармоничным соотношением параметров  $(x, y_1^k, \dots, y_n^k)$ ».

Следует только иметь в виду, что соотношения справедливы только для фиксированных значений главного параметра  $x$ .

*Закон корреляции параметров однородного ряда технических систем.* К однородному ряду технических систем относят такие системы, которые имеют одинаковую функцию, одинаковые условия работы в смысле взаимодействия с обрабатываемым объектом и окружающей средой, одинаковое техническое решение и отличаются только значениями главного параметра.

Анализ целого ряда классов технических систем позволил установить линейную зависимость для соотношения параметров технических систем однородного ряда  $y = ax + b$ .

*Закон гомологических рядов.* Технические системы с близкими функциями, используемыми физическими принципами действия и характеристиками условий работы имеют частично совпадающие наборы варьируемых конструктивных признаков  $P_1, \dots, P_k$ , принимающих одинаковые значения.

Число совпадающих наборов признаков будет тем больше, чем больше совпадающих компонентов описания функций, принципов действия и условий работы.

*Законы симметрии технических объектов.* Симметрия – одно из наиболее ярких свойств композиции, в ней наглядно проявляется принцип организации формы. Симметричным называется такой предмет, который состоит из геометрически и физически равных частей, должным образом расположенных относительно друг друга. Под геометрическим равенством элементов подразумевается совместимое равенство или конгруэнтность, либо отражённое равенство или зеркальность. Под физическим равенством понимается равенство физических свойств.

Особенно важным является закон осевой симметрии, который может иметь следующие формулировки:

– любая техническая система, которая испытывает существенное однонаправленное действие среды в виде потока вещества или энергии, имеет симметрию с осью симметрии, параллельной действию среды (например, сопло реактивного двигателя);

– любая техническая система, которая испытывает существенное вертикальное действие силы тяжести и плоскопараллельное горизонтальное действие среды (равновероятное или равномерно распределённое со всех сторон), имеет симметрию с вертикальной осью симметрии (например, вертикальный аппарат, работающий под давлением);



*Почему бункер сыпучих материалов может не иметь полной вертикальной симметрии?*

– любая техническая система, которая испытывает существенное равновероятное или равномерно распределённое со всех сторон (снаружи или изнутри) плоскопараллельное действие среды, имеет симметрию с осью симметрии, перпендикулярной действию среды (например, центрифуга, испытывающая действие центробежной силы инерции).

## 5. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

---

*Изобретение* – промежуточный результат технического освоения научных достижений, оно находится между научной (базовой) идеей и материальным объектом техники (т.е. разработкой). С точки зрения законодательства изобретением признаётся новое и обладающее существенными отличиями техническое решение задачи в любой предметной области, дающее положительный эффект. Изобретениями могут являться: устройство, способ, вещество, штамм микроорганизма.

Устройства – объекты, характеризующиеся конструктивным выполнением (машины, приборы, их узлы, детали и другие изделия, здания, сооружения и т.д.). Под способом понимают процесс выполнения действий над материальным объектом с помощью материальных средств, характеризующийся наличием действий, их последовательностью, условиями их выполнения. Вещества – химические соединения и композиции (составы, содержащие ряд ингредиентов), а также продукты ядерных превращений. Штаммы – культуры микроорганизмов, клеток растений и животных.

Особое значение в теории решения изобретательских задач имеет постоянно пополняемый информационный фонд: указатели применения физических, химических и геометрических эффектов, типовые приёмы устранения технических и физических противоречий и банк примеров их использования.

Критериями патентоспособности технического решения являются: новизна, изобретательский уровень, промышленная применимость.

В зависимости от сложности преодоления противоречий и изобретательской задачи изобретения делятся на пять уровней.

*Первый уровень* – мелкие изобретения (технические решения), не связанные с устранением технического противоречия. Задача и средства её решения лежат в пределах одной профессии, поэтому она под силу просто специалисту. Число вариантов, которые нужно рассмотреть, не более десяти.

*Второй уровень* – мелкие изобретения, полученные в результате устранения противоречия способами, известными в данной отрасли, но применительно к другим техническим системам. При этом меняется частично только один элемент технической системы. Рассматривается несколько десятков вариантов.

*Третий уровень* – средние изобретения. Техническое противоречие преодолевается способами, известными в пределах одной науки

(механическая задача решается «механически» и пр.). Полностью меняется один элемент. Количество вариантов – сотни.

*Четвёртый уровень* – крупные изобретения. При этом синтезируется новая техническая система. Технические противоречия относятся к прототипу – старой технической системе. Технические противоречия устраняются средствами, выходящими за пределы науки, к которой относится задача (например, механическая задача решается «химически»). Число вариантов – тысячи и даже десятки тысяч.

*Пятый уровень* – крупнейшие изобретения, которые предполагают синтез принципиально новой технической системы. Противоречий нет, поскольку ещё нет самой технической системы. Противоречия могут появиться в процессе её синтеза. Число вариантов неограничено. Зачастую для создания изобретения пятого уровня необходимо сделать новое открытие. Для возможности применения изобретения пятого уровня необходимо решить ряд задач низших уровней. В результате создаётся новая отрасль.



*Приведите примеры изобретений, относящихся к каждому уровню. Какие изобретения сделаны в последние годы в области технологий наноразмерных объектов?*

В процессе развития технической системы в результате неравномерного изменения параметров (характеристик) системы появляются противоречия. Теория решения изобретательских задач рассматривает административные, технические и физические противоречия.

## 5.1. АДМИНИСТРАТИВНОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ

Решение любой технической задачи начинается с анализа проблемы. Результатом этого анализа является постановка и формулировка задачи, которую нужно решать. От правильности формулирования задачи зависит быстрота и уровень её решения, поэтому описание проблемы и желаемый результат должны быть максимально понятны не только для специалиста в данной сфере, но и для любого привлекаемого участника творческого процесса.

Административное противоречие – несоответствие желаемого и действительного («нужно что-то сделать, а как сделать – неизвестно»).

В техническом задании обычно описывается необходимость создания или модернизации некоторой технической системы для удовлетворения определённой потребности, приводится соответствующая социальная и экономическая аргументация этой необходимости. Подробно описываются функции, которые должна выполнять эта тех-

ническая система, наличие ограничений и требования, предъявляемые к технической системе и отдельным её составляющим.

Каждый вид существующей продукции можно охарактеризовать набором определённых свойств, а часть этих свойств определяют потребительные свойства продукции на данный момент. Разнообразие групп потребителей предполагает, что каждый из них предъявляет свои требования к свойствам технической системы. Анализ требуемых свойств позволяет определить некоторый набор характеристик, которые должны быть присущи будущей продукции, предназначенной для удовлетворения возникших потребностей.

Поэтому прежде, чем создавать тот или иной продукт необходимо, с одной стороны, сформулировать требования, которым он должен удовлетворять, с другой стороны, оценить технические возможности создания продукта с требуемыми свойствами.



*Каким требованиям должна отвечать продукция химического машиностроения (например, теплообменные аппараты, фильтры, ректификационные колонны)? По итогам прохождения учебной и производственных практик оцените технические возможности предприятия по созданию этих технических систем и переходу к выпуску продукции для nanoиндустрии.*

Если есть потребность в создании продукции с определёнными потребительными свойствами, но неизвестно как её удовлетворить, то возникает проблемная ситуация.

Описание проблемной ситуации – это формулирование потребностей, функций, которые должна выполнять техническая система. Проблема заключается в том, что на этом этапе для исследователя не очевидны пути разрешения проблемной ситуации и обеспечения реализации этой функции. Проблемная ситуация возникает, если нет соответствия между требованиями, предъявляемыми потребителями, и имеющимися техническими возможностями.

Первоначальная формулировка проблемы часто носит социально-технический характер и в общем случае выражается в терминах: цель, потребность, функция, нежелательные эффекты.

Анализ проблемной ситуации и выявляет административное противоречие, которое только обозначает проблему и в ряде случаев даёт некоторое обоснование её возникновения, но чаще всего не даёт ответа о пути разрешения.

В технике: административное противоречие – это возникновение противоречий между технической системой и человеком или природой, которое автоматически возникают вместе с проблемной ситуацией.

Административное противоречие констатирует сам факт возникновения изобретательской ситуации и необходимость решения творческой нестандартной задачи. Основные признаки административного противоречия в технике – неясность ситуации, конфликт между человеком и техникой, появление новой потребности при отсутствии средств её реализации, или неспособность техники удовлетворить старые потребности, но в большем объёме.

Основными признаками административного противоречия являются:

- несоответствие в производственной ситуации желаемого и действительного;
- возникновение противоречий между технической системой и человеком или природой;
- обострение старых и появление многих новых технических и социальных задач на уровне надсистемы.

Причиной административного противоречия является отсутствие новой или исчерпание возможностей старой технической системы для удовлетворения повышенной или вновь возникшей потребности. Последствия административного противоречия – торможение развития технической системы, повышение вредного влияния на надсистему, природу, человека.

Процесс решения включает анализ ситуации, локализацию нежелательного явления, перевод в подсистему и выявление технического противоречия.

Преодоление административного противоречия, т.е. выбор конкретной задачи в конкретных условиях, связано с проведением ситуационного анализа и поиска первопричины.

## **5.2. ТЕХНИЧЕСКОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ**

Преодолев административное противоречие и выйдя на задачу, вы неизбежно столкнётесь с новым, так называемым техническим противоречием. Противоречие в технике появляется лишь тогда, когда мы повышаем требования к той или иной технической системе или какому-либо её узлу.

Техническое противоречие возникает между параметрами системы, её узлами или группами деталей. Исследователь понимает, что достижение увеличения полезной функции может привести к нежелательному росту вредных функций технической системы.

Вредные функции и нежелательный эффект, с ними связанный, обусловлены тем, что за более качественную реализацию полезной

функции необходимо чем-то жертвовать. Нежелательные функции могут появляться при функционировании технической системы. Например, использование аппарата с вихревым слоем предполагает наличие достаточно сильных электромагнитных полей около рабочей зоны, что представляет опасность для работников.



*Какие негативные эффекты могут проявиться при использовании наноструктурированных материалов при создании компонентов и при проведении массообменных процессов?*

Изобретатель стремится к повышению идеальности технической системы, которая предполагает, что полезная функция должна выполняться, но затрат на её реализацию не должно быть.

Техническое противоречие – это ситуация, когда попытки улучшить одну характеристику системы приводят к недопустимому ухудшению другой её характеристики («знаю как, но от этого ещё хуже»).

Варианты возникновения технических противоречий.

1. На начальных этапах развития технической системы, когда требования относительно невысоки, а система обладает большими ресурсами, такие противоречия разрешаются путём компромисса, – отыскиваются варианты конструкции или технологии проведения процесса, обеспечивающие реализацию необходимой полезной функции при допустимых ухудшениях других функций. Но развитие по такому пути долго проходить не может, так как происходит накопление и обострение противоречий. Эти противоречия разрешаются в результате качественных скачков – открытия новых физических принципов действия и создания принципиально новых технических решений.

2. Если техническая система уже существует, то достаточно часто ставится задача увеличения его главной полезной функции. Для этого, как правило, требуется усилить какое-либо свойство одного из элементов этого технического объекта. Однако при усилении одних свойств элемента нарушается взаимодействие (согласованность) с другими элементами технической системы, возникает противоречие, т.е. часто источником технического противоречия является совершенствование, развитие технических объектов.

Процесс формулирования технических противоречий – это построение модели задачи, в которой раскрываются положительные и нежелательные эффекты в рассматриваемой технической системе при её развитии. Формулирование технического противоречия позволяет провести анализ причин появления нежелательных эффектов и тем самым активизирует творческое мышление на поиск возможных направлений решения проблемы.

*Пример.* Необходимо повысить производительность токарной обработки заготовки. Первый путь: повысить скорость резания, но при этом увеличивается температура реза. Период стойкости инструмента уменьшается и, следовательно, увеличиваются затраты. Второй путь: повысить скорость подачи, но при этом поверхность детали становится более шероховатой.

Обычная задача переходит в разряд изобретательских, когда необходимым условием её решения является устранение технического противоречия. Создание нового изобретения всегда сводится к разрешению (полному или частичному) технического противоречия. Это одно из основных положений теории решения изобретательских задач.

При решении задачи в теории решения изобретательских задач вначале определяется техническое противоречие, а затем строится модель идеальной технической системы и формулируется оператор идеального конечного результата.

Основными признаками технического противоречия являются:

- ухудшение каких-либо частей системы при улучшении других;
- возникновение нескольких новых технических задач на уровне системы.

Причины – исчерпание возможностей технической системы для дальнейшего развития, неверный выбор места изменения системы. Последствия – усложнение системы и надсистемы, резкое повышение материальных и экономических затрат.

Условия разрешения – проведение причинно-следственного анализа, выявление первопричины возникновения нежелательного явления и микрозадачи в подсистеме.

### **5.3. ФИЗИЧЕСКОЕ ПРОТИВОРЕЧИЕ**

Стремясь убрать конфликтующие, противоречивые отношения между внешними сторонами технической системы, получаем противоречие на уровне внутреннего функционирования системы. Такое противоречие, в отличие от технического, называется физическим противоречием.

Физическим противоречием называется ситуация, когда к объекту по условиям задачи предъявляются противоположные, несовместимые требования («должно быть так, но так не должно быть») по физическому состоянию.

Физическое противоречие возникает не между параметрами технической системы, а внутри какого-либо одного элемента или даже

в части его. Например, элемент должен быть тяжёлым и лёгким, или горячим и холодным, или магнитным и немагнитным и т.п.



*Приведите пример физических противоречий, которые могут встречаться в технических системах отрасли.*

Основными признаки физического противоречия являются возникновение противоречивых требований к физическому состоянию одного элемента подсистемы, выявление новой физической задачи на уровне подсистемы или необходимость внесения изменений в один элемент технической системы.

Причина физического противоречия заключается в несоответствии состояния вещества элемента или вида энергии требуемому. Последствия – усложнение системы, введение новых элементов и новых видов энергий.

Условия разрешения – уточнение физических требований по времени и пространству посредством использования ранее незадействованных веществ и энергий, имеющихся в системе, подсистеме и надсистеме, а также использования знаний законов природы.

#### **5.4. КЛЮЧЕВЫЕ ЭТАПЫ АЛГОРИТМА**

Альтшуллер Г. С. пришёл к выводу, что изобретатели пользуются в основном ограниченным набором изобретательских приёмов. На основе анализа свыше 40 тысяч изобретений (не ниже второго уровня) создателям теории решения изобретательских задач удалось выделить действительно сильные приёмы, которые использовались не менее чем в 80 – 100 изобретениях для устранения одного и того же технического противоречия. Так, было выявлено 40 типовых приёмов. Рассмотрим механизм решения творческих нестандартных задач с использованием данных приёмов.

1. *Анализ задачи.* На данном этапе необходимо обеспечить переход от расплывчатой изобретательской ситуации к чётко построенной и предельно простой модели задачи. Для этого требуется записать условие задачи (избегая использования специальных терминов) по схеме:

- описать техническую систему и её элементы с указанием назначения каждого;
- выявить цель изменения – усиление или появление требуемого свойства или устранение вредного действия при отсутствии или минимальном использовании дополнительных ресурсов;
- определить пару «объект–инструмент», обеспечивающую необходимое действие и требующую совершенствования, при этом

инструментом может быть и часть окружающей среды, и комплектующие детали, из которых собирают изделие (если инструмент по условиям задачи может иметь несколько состояний, надо указать все; если в задаче есть пары однородных взаимодействующих элементов, достаточно взять одну пару);

- разработать графическую схему технического противоречия;
- выбрать схему конфликтов, которая обеспечивает осуществление технической системой её главной полезной функции;
- усилить конфликт посредством исследования предельных состояний (действий) элементов технической системы;
- определить характеристику (параметр) технической системы, подлежащую улучшению, и характеристику, которая при этом ухудшается;
- выбрать рекомендуемые типовые приёмы устранения технического противоречия в соответствии с таблицей приёмов устранения технических противоречий (матрицей Альтшуллера).

2. *Анализ модели задачи.* На данном этапе осуществляется выявление и учёт имеющихся ресурсов, которые можно использовать при решении задачи: ресурсов веществ, полей пространства и времени. Последовательность действий:

- исследователь определяет оперативную зону в виде пространства, в пределах которого возникает конфликт;
- определяется оперативное время, а также ресурсы времени (конфликтное время и время до конфликта); конфликт может быть устранён (предотвращён) в течение времени до конфликта;
- определяются вещественно-полевые ресурсы рассматриваемой технической системы, внешней среды и изделия.

3. *Определение идеального конечного результата и физических противоречий.* Необходимо сформулировать образ идеального решения и определить физические противоречия, мешающие достижению идеального конечного результата. Достижение идеального конечного результата редко возможно практически, но он указывает на направление к наиболее сильному ответу. Последовательность действий:

- составить формулировку идеального конечного результата «X-элемент...»;
- усилить формулировку идеального конечного результата дополнительным требованием: в систему нельзя вводить новые вещества и поля, необходимо использовать имеющиеся вещественно-полевые ресурсы. При решении задачи следует предусматривать использование вещественно-полевых ресурсов в такой последователь-

ности: ресурсы инструмента, затем внешней среды и на последнем этапе изделия;

- записать формулировку физического противоречия на макроуровне, например: оперативная зона в течение оперативного времени должна (указать физическое макросостояние, например «быть горячей»), чтобы выполнять (указать одно из конфликтующих действий) и не должна (указать противоположное макросостояние, например «должна быть холодной»), чтобы выполнять (указать другое конфликтующее требование);

- записать формулировку физического противоречия на микроуровне, например: в оперативной зоне должны быть частицы вещества (указать их физическое состояние), чтобы обеспечить ... и не должны быть (или должны быть с противоположным состоянием), чтобы обеспечить ...;

- записать усиленный вариант идеального конечного результата: оперативная зона в течение оперативного времени должна сама обеспечивать (указать противоположные физические состояния).

#### *4. Мобилизация и применение вещественно-полевых ресурсов.*

На четвёртом этапе решения изобретательских задач проводятся плановые операции по увеличению ресурсов. Последовательность действий исследователя следующая:

- применить метод «Маленьких человечков». Данный метод заключается в том, том, что конфликтующие требования схематически представляют в виде условного рисунка, на котором действует большое число «маленьких человечков». Изображать в виде «маленьких человечков» следует изменяемые части модели задачи (инструмент, X-элемент). Часто это можно выполнить, совместив на одном рисунке два изображения: плохое действие и хорошее действие. Реализуя метод, необходимо построить схему конфликта, а затем изменить её так, чтобы «маленькие человечки» действовали, не вызывая конфликта;

- если задача сводится к определению способа получения желаемой технической системы, то может быть использован метод «шаг назад от идеального конечного результата». Изображают готовую техническую систему, а затем вносят в рисунок минимальные изменения. Возникает новая задача (микрозадача), как устранить дефект, связанный с этими изменениями. Разрешение такой микрозадачи обычно не вызывает затруднений и часто подсказывает способ решения общей задачи;

- определить, решается ли задача применением смеси ресурсов веществ;

– определить, решается ли задача применением веществ, производных от ресурсных; производные ресурсные вещества можно получить изменением агрегатного состояния имеющихся веществ или разбиением их на компоненты;

– определить, решается ли задача применением вместо вещества электрического (или магнитного) поля или использованием электромагнитных полей;

– определить, решается ли задача применением пары «поле–добавка вещества, отзывающегося на поле» (например, магнитное поле–ферромагнитное вещество; ультрафиолет–люминофор; тепловое поле–металл с памятью формы).

Данный этап творческой деятельности достаточно часто приводит к решению задачи.

*5. Применение информационного фонда.* Использование опыта решения творческих задач другими исследователями может значительно ускорить процесс разрешения противоречий и повысить вероятность нахождения решения в новых нестандартных задачах. Процессы цифровизации позволяют аккумулировать данный опыт и использовать его на пятом этапе решения творческих задач, поскольку задача к этому моменту существенно проясняется. Использование информационного фонда теории решения изобретательских задач включает в себя следующие этапы:

– определить, решается ли задача использованием типовых приёмов устранения технических противоречий;

– рассмотреть возможность решения задачи по аналогии с нестандартными задачами, ранее решенными по данной методике;

– определить, решается ли задача применением типовых приёмов устранения физических противоречий;

– применить различные физические эффекты.

Если задача решена, перейти от физического ответа к законченному техническому: сформулировать способ и построить принципиальную схему технической системы, осуществляющей этот способ. Если ответ не получен, то изменить или заменить задачу (разбить на ряд связанных задач или изменить формулировку разрешаемого технического противоречия).

*6. Анализ способа устранения физического противоречия.* На шестом этапе проводится проверка качества полученного ответа. Это необходимо потому, что полученное решение может и устраняет выявленные противоречия, но делает это достаточно слабо. На этапе, когда был проведён полный анализ технической системы и исследова-

тель полностью погружён в проблемное поле, необходимо попытаться оптимизировать решение и найти более сильное.

Для этого необходимо осуществить контроль ответа, рассмотрев вводимые вещества и поля и определив, можно ли не вводить новые вещества и поля, использовать имеющиеся или производные вещественно-полевые ресурсы.

Целесообразно провести оценку полученного решения и выяснить, обеспечивает ли оно выполнение требований идеального конечного результата, и какое физическое противоречие устранено (и устранено ли полученным решением).

В заключение необходимо проверить найденное решение нестандартной задачи на патентную чистоту.

*7. Применение полученного решения изобретательской задачи.*  
На заключительном этапе творческой работы необходимо определить, как должна быть изменена надсистема, в которую входит изменённая техническая система.

Целесообразно подготовить рекомендации по использованию полученного решения для решения других задач:

- сформулировать в обобщённом виде полученный принцип решения;
- рассмотреть возможность прямого применения полученного принципа при решении других задач.

## 6. ТЕСТЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

---

---

1. *«Морфологический ящик» – это ...*
  - матрица в виде многомерной таблицы, включающей всевозможные функции рассматриваемого объекта;
  - матрица в виде многомерной таблицы, перечисляющей возможные варианты исполнения элементов рассматриваемого объекта;
  - таблица, отражающая взаимодействие частей рассматриваемого объекта;
  - схематическое изображение структуры рассматриваемого объекта;
  - таблица, в которой перечислены основные части рассматриваемого объекта.

2. *Какие из перечисленных методов повышения эффективности творческого процесса основаны на повышении хаотичности поиска решения?*

- Морфологический анализ.
- Метод Фокальных объектов.
- Мозговой штурм.
- Контрольные вопросы.
- Синектика.

3. *Какие из этих определений соответствуют понятию «Техническая система»?*

- Совокупность взаимосвязанных элементов, обладающая свойствами, не сводящимися к свойствам отдельных элементов.
- Множество объектов, расположенных определённым образом в пространстве.
- Совокупность взаимосвязанных элементов, которая обеспечивает выполнение полезной функции.
- Совокупность элементов, обеспечивающих появление продукта с требуемыми свойствами.
- Набор элементов, каждый из которых обладает некими свойствами.

4. *Какие из определений соответствуют в теории решения изобретательских задач понятию «Подсистема»?*

- Техническая система, использующая продукт данной технической системы.
- Техническая система, продуктом которой пользуется данная техническая система.

- Техническая система, являющаяся элементом данной технической системы.
- Техническая система более высокого порядка, в состав которой входит данная система.
- Техническая система, обеспечивающая функционирование данной технической системы.

5. *Выберите правильные определения «Продукт технической системы».*

- Элемент технической системы, требуемое свойство которого появляется в результате воздействия инструмента на объект.
- Это элемент технической системы, свойства которого требуется изменить.
- Обрабатываемый элемент технической системы.
- Результат выполнения технической системой главной полезной функции.

6. *Какие из этих определений соответствуют в теории решения изобретательских задач понятию «Орган управления»?*

- Элемент технической системы, который обеспечивает совместную работу частей технической системы для появления продукта.
- Элемент технической системы, регулирующий поток энергии к частям технической системы.
- Элемент технической системы, изменяющий свойства объекта.
- Элемент технической системы, обеспечивающий получение необходимых свойств продукта.
- Элемент технической системы, согласующий работу всех частей технической системы во времени и пространстве.

7. *Выберите рекомендуемые теорией решения изобретательских задач пути повышения идеальности технической системы:*

- увеличение количества элементов технической системы;
- повышение многофункциональности технической системы;
- сворачивание частей технической системы;
- переход технической системы в надсистему;
- сокращение количества функций технической системы.

8. *Какие из этих определений соответствуют Закону избыточности частей технической системы?*

- Для выполнения главной полезной функции техническая система содержит порядка 80% вспомогательных элементов.
- Вспомогательные элементы выполняют приблизительно 20% работы технической системы.

- Некоторые части технической системы потребляют слишком много энергии.
- Некоторые элементы технической системы занимают слишком много пространства.
- Некоторые элементы технической системы ухудшают главную полезную функцию технической системы.

9. *Когда возникает техническое противоречие?*

- В ситуации, когда попытки улучшить одну характеристику системы приводят к недопустимому ухудшению другой её характеристики.
- При необходимости изменения параметров технического объекта.
- В ситуации, когда известно, как нужно изменить техническую систему для получения нужного свойства, но при этом появляются нежелательные эффекты.
- Если требуется усовершенствование технического объекта, но неизвестно, как его реализовать.
- Если при улучшении качества продукции технологического процесса падает его производительность.

10. *Выберите ресурсы, используемые в теории решения изобретательских задач для решения изобретательских задач.*

- Финансовые.
- Вещественные.
- Полевые.
- Трудовые.
- Информационные.

11. *Какие из перечисленных ниже результатов интеллектуальной деятельности относятся к объектам Авторского права?*

- Компьютерная база данных.
- Товарные знаки.
- Топология микросхемы.
- Фонограмма выступления.
- Способ изготовления.

12. *Какое техническое решение как объект интеллектуальной собственности охраняется в качестве Полезной модели в соответствии с ГК РФ?*

- Конструкция устройства, соответствующая предъявляемым требованиям и стандартам.

– Техническое устройство, отличающееся существенной новизной и промышленной полезностью, но не отвечающее требованиям к изобретательскому уровню.

– Техническое решение, относящееся к устройству, если оно является новым и промышленно применимым.

– Любое используемое в промышленности техническое устройство.

– Техническое устройство, являющееся базой для модельного ряда аналогичных устройств.

13. *Какое техническое решение как объект интеллектуальной собственности охраняется в качестве Промышленного образца в соответствии с ГК РФ?*

– Любое конструкторское оформление внешнего вида изделия.

– Конструкция изделия, внешний вид которого соответствует его функциональному назначению.

– Художественно-конструкторское решение изделия промышленного производства, если по своим существенным признакам оно является новым.

– Изделие, выпускаемое в серийном производстве.

– Не известное ранее оформление внешнего вида промышленного изделия.

14. *В каком из законов развития технических систем утверждается, что «для повышения эффективности технической системы жёсткие элементы системы должны переходить к более гибкой, быстроменяющейся структуре»?*

Напишите название закона.

15. *Какой срок действия Авторского имущественного права в соответствии с 4-й частью ГК РФ после смерти автора?*

Укажите числом срок действия в годах.

16. *Сокращение числа элементов технической системы без ухудшения её функционирования или сокращение числа элементов технической системы за счёт возложения функций, выполняемых другими элементами технической системы, на один элемент технической системы – означает в теории решения изобретательских задач ... .*

Напишите название термина.

17. *При построении какой модели используют вещества и поля?*

Напишите название модели.

## 7. ПРИМЕРЫ НЕСТАНДАРТНЫХ ЗАДАЧ

---

### 7.1. МАТЕМАТИКА

1. Разделить параллелограмм на три равновеликие части прямыми, выходящими из одной вершины.
2. Функция  $y(x)$  на  $[a; b]$  удовлетворяет уравнению

$$yy' = 1 + x^2 + y^4.$$

Доказать, что  $b - a < \pi/4$ .

3. Найти сумму коэффициентов многочлена

$$f(x) = (x^{10} - x - 1)^{2016} + (x^9 - x + 1)^{2016}$$

при чётных степенях.

4. Существует ли матрица  $X$ , такая, что  $X + SX + XS = A$ , где  $S^2 = 0$ ?

5. Доказать или опровергнуть утверждение «в сечении некоторой плоскостью поверхности куба может получиться правильный пятиугольник»?

6. Изобразить на плоскости  $kOp$  множество точек  $(k; p)$ , таких, что прямая  $y = kx$  не пересекает параболу  $p^2x^2 + y + 1 = 0$ .

7. Известно, что три различных корня уравнения  $x^5 + px + q = 0$  действительны. Что можно сказать о знаке коэффициента  $p$ ?

8. Доказать, что при любом расположении семи точек в прямоугольнике  $3 \times 4$  найдётся круг радиусом  $6/5$ , накрывающий хотя бы две из данных точек.

9. Доказать, что уравнение  $x^6 - 6x - C = 0$  имеет не более двух действительных корней.

10. Доказать, что на окружности, центр которой имеет иррациональные координаты, не существует трёх различных точек с рациональными координатами.

11. Какова точная верхняя оценка для суммы  $s$  косинусов двугранных углов произвольного тетраэдра?

12. Существует ли в трёхмерном пространстве треугольник с площадью  $\sqrt{3}$ , вершины которого имеют целочисленные координаты?

13. Докажите, что положительный корень уравнения  $x(x + 1) \times \dots \times (x + n) = 1$  меньше, чем  $1/n!$ .

14. На плоскости  $\Pi$  даны точки  $A$  и  $B$ . Два шара  $SA$  и  $SB$  касаются  $\Pi$  в точках  $A$  и  $B$  и касаются между собой в точке  $M$ . Для всех таких пар шаров ( $SA, SB$ ) найти множество точек  $M$  в пространстве.

15. Длина вектора, равного сумме 10 данных ненулевых векторов, больше длины суммы любых 9 из них. Доказать, что существует ось, на которую проекция каждого из данных 10 векторов положительна.

## 7.2. МЕХАНИКА

1. В винто-рычажном механизме с шаровым шарниром  $B$   $OA = AB = l$ ,  $\angle AOB = \alpha$ . Шаг винта  $l$  равен  $h$ . К винту в плоскости его нормального сечения приложена пара сил с моментом  $M_1$ , а к стержню  $OA$  в плоскости рисунка – пара с моментом  $M_2$ . Определить соотношение между этими моментами в положении равновесия механизма при угле  $\alpha$ . Весом стержней  $OA$  и  $AB$  пренебречь (рис. 2).

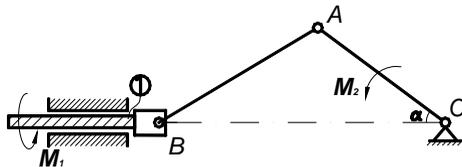


Рис. 2

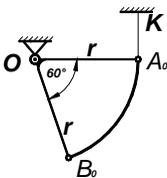


Рис. 3

2. Маятник, представляющий собой тяжёлую дугу окружности радиусом  $r$  и массой  $m$ , опирающуюся на центральный угол  $\alpha = 60^\circ$ , в начальный момент был расположен так, как показано на рисунке, в вертикальной плоскости. После пережигания нити  $KA_0$  маятник начал вращение вокруг оси  $O$  в вертикальной плоскости. Определить реакцию

в шарнире  $O$  в момент, когда маятник проходит угол  $\varphi = 30^\circ$  (рис. 3).

3. На вертикально выступающую из горизонтальной неподвижной плоскости часть шпильки длиной  $l$  навёрнута однородная гайка толщиной  $d$  и весом  $P$ . К гайке на расстоянии  $u$  от её оси с помощью цилиндрического шарнира присоединён однородный стержень  $AB$  длиной  $b$  и весом  $Q$ , конец которого опирается на гладкую горизонтальную плоскость. Расстояние между плоскостями равно  $b$ . Резьба правая с постоянным шагом. Приняв, что при самоотвинчивании гайки в результате взаимодействия со шпилькой ускорение её центра тяжести  $C$  постоянно, найти скорость и ускорение точки  $B$  в момент

схода гайки со шпильки, если давление на опору в этот момент равно половине веса системы, и гайка к этому моменту совершила пять оборотов. Вычисления провести при  $r = d = \ell = b/2$  и  $P = Q$  (рис. 4).

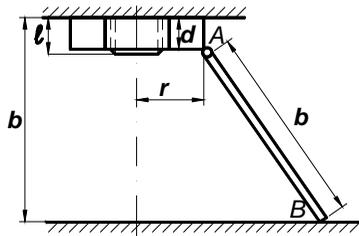


Рис. 4

4. В пазу обода круглого колеса плотно в один слой уложена абсолютно гибкая нерастяжимая лента массой 1 кг, её края в точке  $A$  приварены: один край к колесу, другой – к основанию. Колесо массой 10 кг, равномерно распределённой по его ободу, может катиться вдоль оси  $Ax$  по шероховатому и деформируемому жёлобу ограниченной длины. Причём высота ограничителей больше радиуса колеса. В начальный момент точка  $A$  делит длину жёлоба пополам.

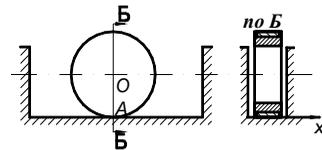


Рис. 5

Пренебрегая отклонением центра масс объекта от центра масс колеса, найти наименьшее и наибольшее значения начальной скорости  $\vec{V}_0^H$ , при которых колесо, катясь без проскальзывания, остановится на расстоянии, равном его радиусу, если известны коэффициент трения качения  $\delta$  и коэффициент восстановления  $k$  возможного неупругого удара. Произвести вычисления при  $\delta = 0,2$  см,  $k = 0,5$  (рис. 5).

5. Два одинаковых однородных цилиндра массой  $M$  и радиусом  $R$  соединены пружиной  $AB$  жёсткостью  $c$ . В начальный момент цилиндры неподвижны, а пружины растянуты на  $2\lambda$ . Затем второй цилиндр отпускают без начальной скорости, а первый удерживают неподвижным. Когда деформация пружины уменьшится вдвое, отпускают и первый цилиндр. Найти скорость  $V_A$  и ускорение  $a_A$  оси первого цилиндра в тот момент, когда деформация пружины исчезнет полностью.

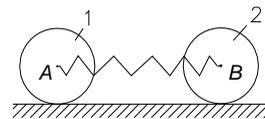


Рис. 6

Цилиндры катятся без скольжения. Трение не учитывать (рис. 6).

6. По винтовому каналу, расположенному на поверхности однородного цилиндра, спускается материальная точка  $E$  массой  $m$  под действием силы тяжести. Точка  $E$  начинает движение без начальной скорости из точки  $A$ , находящейся на верхней торцевой плоскости цилиндра, выходит из точки  $B$  на нижней торцевой плоскости цилиндра под углом  $\alpha$  к горизонту. Цилиндр массой  $M$  и радиусом  $R$  может вращаться вокруг вертикальной оси  $z$ , начальная скорость его вращения  $\omega_0$ , высота цилиндра  $H$ .

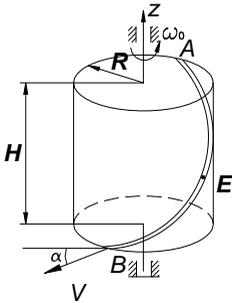


Рис. 7

Определить угловую скорость цилиндра в момент выхода точки  $E$  из канала. Трением пренебречь (рис. 7).

### 7.3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ОБОРУДОВАНИЯ ОТРАСЛИ

1. Рассчитать толщину эллиптической крышки аппарата, нагруженной внутренним давлением  $p$  (рис. 8).

Уравнение образующей эллиптической крышки  $AC$

$$y^2 + x^2 / 4 = 1.$$

Радиус кривизны меридиана в произвольной точке  $B(x_0, y_0)$  определяется по формуле

$$R_1 = \frac{(1 + (y'(x_0))^2)^{3/2}}{y''(x_0)}.$$

Для рассматриваемого случая:

$$y = \sqrt{1 - \frac{x^2}{4}}; \quad y' = \frac{-x}{4\sqrt{1 - \frac{x^2}{4}}}; \quad y'' = \frac{1}{4\left(1 - \frac{x^2}{4}\right)^{3/2}}.$$

После подстановки получим

$$R_1 = \frac{(16 - 3x_0^2)^{3/2}}{16}.$$

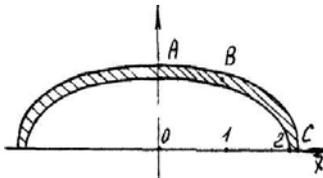


Рис. 8

Для определения главного радиуса  $R_2$  составим уравнение нормали к кривой в точке  $B(x_0, y_0)$ :

$$\bar{y} - y_0 = \frac{1}{-y'(x_0)}(\bar{x} - x_0); \quad y'(x_0) = \frac{-x_0}{4\sqrt{1 - \frac{x_0^2}{4}}};$$

$$\bar{y} = y_0 + \frac{4\sqrt{1 - \frac{x_0^2}{4}}}{x_0}(\bar{x} - x_0).$$

Координаты точки  $O_1(x_1, y_1)$  центра радиуса  $R_2$  находим из условия  $x_1 = 0$ :

$$y_1 = y_0 - 4\sqrt{1 - \frac{x_0^2}{4}}; \quad R = \sqrt{(x_0 - x_1)^2 + (y_0 - y_1)^2}; \quad R_2 = (16 - 3x_0^2)^{1/2}.$$

Составим уравнение равновесия зоны аппарата, отсечённой в точке  $B$  (рис. 9):

$$\sum F_{ky} = 0; \quad p\pi x_0^2 - S2\pi x_0 \sin \alpha = 0;$$

$$S = \frac{px_0}{2\sin \alpha},$$

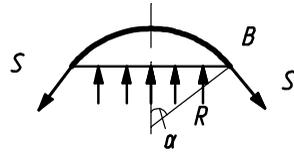


Рис. 9

где  $\alpha$  – угол наклона касательной к образующей в точке  $B$ .

$$\operatorname{tg} \alpha = y'(x_0) = -\frac{x_0}{4\sqrt{1 - x_0^2/4}}; \quad \sin \alpha = \frac{x_0}{(16 - 3x_0^2)^{1/2}};$$

$$S = \frac{p}{2}(16 - 3x_0^2)^{1/2}.$$

Уравнение Лапласа записывается в виде  $\frac{S}{R_1} + \frac{T}{R_2} = p$ . Отсюда величина кольцевой силы равна

$$T = pR_2 - S\frac{R_2}{R_1};$$

$$T = p(16 - 3x_0^2)^{1/2} - \frac{p}{2}(16 - 3x_0^2)^{1/2} \frac{(16 - 3x_0^2)^{1/2} \cdot 16}{(16 - 3x_0^2)^{3/2}} = p \frac{8 - 3x_0^2}{(16 - 3x_0^2)^{1/2}}.$$

Для определения толщины стенки воспользуемся третьей теорией прочности  $\sigma_1 - \sigma_3 \leq [\sigma]$ . Здесь  $\sigma_3 = 0$ ,  $\sigma_1$  – наибольшее значение напряжения: меридионального или кольцевого. Меридиональное напряжение будет максимальным в точке  $A(x_0 = 0)$  Здесь меридиональная сила будет иметь наибольшее значение  $S_{\max} = 2p$ .

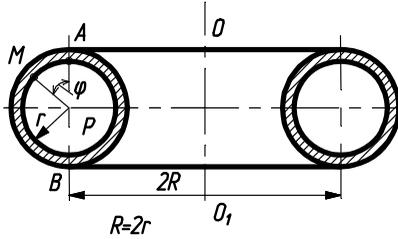


Рис. 10

Наибольшее кольцевое напряжение будет в точках  $A$  и  $C$ :  
 $T_A = 2p$ ;  $T_C = -2p$ .

Получим, что  $\sigma_1 = 2p/\delta$ , где  $\delta$  – толщина стенки аппарата.

$$\frac{2p}{\delta} = [\sigma]; \quad \delta = \frac{2p}{[\sigma]}.$$

2. Исследовать зависимости меридиональной и кольцевой сил для сосуда, нагруженного внутренним давлением (рис. 10).

Меридиональный радиус в любой точке сосуда равен  $r$ .

Кольцевой радиус в точке  $M$ , определяемый углом  $\varphi$  ( $0 \leq \varphi \leq 360^\circ$ ), равен:

– для  $0 \leq \varphi \leq 180^\circ$

$$R'_2 = \frac{R}{\sin \varphi} + r;$$

– для  $180^\circ \leq \varphi \leq 360^\circ$

$$R''_2 = \frac{R}{\sin(\varphi - 180)} - r.$$

Рассечём сосуд конической поверхностью, образованной путём вращения прямой  $MA$  (где  $A$  – наивысшая точка сосуда,  $M$  – произвольная точка) вокруг оси  $OO_1$ . Составим уравнение равновесия отсечённой зоны в проекции на вертикальную ось (рис. 11):

$$-S_2 2\pi(R + r \sin \varphi) + p\pi((R + r \sin \varphi)^2 - R^2) = 0.$$

Отсюда значение меридиональной силы

$$S = \frac{p}{2} \frac{2Rr \sin \varphi + r^2 \sin^2 \varphi}{(R + r \sin \varphi) \sin \varphi} = \frac{pr}{2} + \frac{pRr}{2(R + r \sin \varphi)}.$$

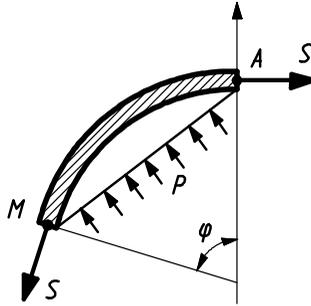


Рис. 11

Для определения кольцевой силы запишем уравнения Лапласа для элемента в точке  $M$ :

– для случая  $0 < \varphi < 180^\circ$

$$\frac{S}{r} + \frac{T'}{R_2'} = p;$$

– для  $180^\circ < \varphi < 360^\circ$

$$\frac{S}{r} + \frac{T''}{R_2''} = -p.$$

Соответственно, сила  $T$  для каждого участка равна:

$$T' = pR_2' - S \frac{R_2'}{r};$$

$$T'' = -pR_2'' - S \frac{R_2''}{r}.$$

Для случая  $R = 2r$ :

$$S = \frac{pr}{2} \frac{4 + \sin \varphi}{2 + \sin \varphi}; \quad T' = \frac{pr}{2}; \quad T'' = \frac{pr}{2} \left( \frac{8}{\sin \varphi} + 3 \right).$$

Исследовав полученные зависимости, можно сделать вывод об ограниченности применения мембранной теории для некоторых случаев (например, по полученным формулам кольцевые напряжения в точках  $A$  и  $B$  очень велики и получается, что сосуд данной формы существовать не может, а это не подтверждается практикой).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

---

Реализация инновационной политики и обеспечение конкурентоспособности предприятий российской экономики определяют потребность в кадрах, готовых не только выполнять стандартные трудовые функции, но и творчески мыслить, генерировать новые идеи и доводить их до выпуска усовершенствованной продукции.



*Талант и знания – яркий свет, без них из тьмы исхода нет.*

*А. Рудаки*

Конкурентоспособные специалисты должны уметь организовать творческий коллектив и осуществлять творческую деятельность в условиях повышенной ответственности за конечный результат и ограниченной возможности использовать ресурсы.

Творческий процесс, протекающий при решении нестандартных задач, слабо поддается управлению извне. Главной движущей силой в нём выступает инициативность человека, его готовность к выходу за рамки поставленной задачи и самостоятельному исследованию проблемного поля, нацеленность на саморазвитие.

Рассмотренные в пособии методы повышения эффективности творческой деятельности возможно применять как в ходе обучения при решении учебных задач, так и в процессе профессиональной самореализации. Анализ и моделирование технических систем позволяют более корректнее ставить изобретательскую задачу и способствуют определению направлений научного и инженерного поиска. Рассмотренные концептуальные положения теории решения изобретательских задач станут первым этапом вовлечения Вас в творческую деятельность инженера на предприятиях машиностроительного кластера и формирующейся отрасли – nanoиндустрии.

Разрешению проблемных ситуаций, стоящих перед предприятиями и предполагающих разработку нового конструкторского или технологического решения, предшествует аккумуляция опыта решения творческих нестандартных задач различной сложности, и в первую очередь из фундаментальных научно-технических областей знания, которые и определяют инженерную деятельность. Рекомендуем Вам сделать первый шаг к творческой деятельности и попробовать решить нестандартные задачи, приведённые в конце пособия.



*Перед человеком к разуму три пути: путь размышления – это самый благородный; путь подражания – это самый лёгкий; путь личного опыта – самый тяжёлый.*

*Конфуций*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

---

1. **Паспорт** национального проекта «Наука». Утверждён президентом Совета при Президенте Российской Федерации по стратегическому развитию и национальным проектам (протокол от 24 декабря 2018 г. № 16). – URL : <http://static.government.ru/media/files/vCAoi8zEXRVsuy2Yk7D8hvQbpbUSwO8y.pdf>
2. **Емельянов, С. Г.** Основы инновационной деятельности / С. Г. Емельянов, В. А. Кабанов. – Курск : Изд-во КГТУ, 2009. – 159 с.
3. **Наноматериалы:** способы получения, методы диагностики, области применения [Электронный ресурс, мультимедиа] : учебное пособие / Е. А. Буракова, Т. П. Дьячкова, А. В. Рухов, Е. Н. Туголуков, А. И. Попов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. – 80 с.
4. **Ткачёв, А. Г.** Промышленные технологии и инновации. Оборудование для nanoиндустрии и технология его изготовления : учебное пособие / А. Г. Ткачёв, И. Н. Шубин, А. И. Попов. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 132 с.
5. **Богоявленская, Д. Б.** Психология творческих способностей : учебное пособие / Д. Б. Богоявленская. – М. : Издательский центр «Академия», 2002. – 320 с.
6. **Зиновкина, М. М.** Креативное инженерное образование. Теория и инновационные креативные педагогические технологии : монография / М. М. Зиновкина. – М. : МГИУ, 2003. – 372 с.
7. **Пономарёв, Я. А.** Психология творчества : избр. психол. тр. / Я. А. Пономарёв. – М. : Ин-т практ. психологии ; Воронеж : НПО «МОДЭК», 1999. – 475 с.
8. **Попов, А. И.** Теоретическая механика. Сборник задач для творческого саморазвития личности студента : учебное пособие / А. И. Попов. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 188 с.
9. **Попов, А. И.** Решение творческих профессиональных задач : учебное пособие / А. И. Попов. – Тамбов : Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2004. – 80 с.

## ОГЛАВЛЕНИЕ

---

---

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1. ПСИХОЛОГИЯ ТВОРЧЕСТВА .....	7
2. МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТВОРЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ .....	15
2.1. Методы преодоления психологической инерции .....	15
2.1.1. Мозговой штурм .....	15
2.1.2. Синектика .....	18
2.1.3. Метод «Дельфи» .....	19
2.1.4. Метод фокальных объектов .....	20
2.1.5. Метод обобщённой цели .....	22
2.1.6. Поэтапное улучшение объекта .....	22
2.2. Методы систематизации перебора .....	22
2.2.1. Теория решения изобретательских задач Альтшуллера .....	22
2.2.2. Морфологический анализ .....	24
2.2.3. Метод эвристических приёмов .....	25
2.2.4. Метод контрольных вопросов .....	26
3. АНАЛИЗ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ...	28
3.1. Основные понятия .....	28
3.2. Антисистема, антисвойство .....	31
3.3. Подсистема и надсистема .....	32
3.4. Количество свойства, устойчивость свойства .....	33
3.5. Классы продуктов, параметризация объектов .....	35
3.6. Вредная техническая система .....	36
3.7. Части технической системы .....	36
3.8. Оперативная зона, оперативное время .....	39
4. ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ .....	40
4.1. Закон полноты частей технической системы .....	40
4.2. Закон развития технической системы по S-образной кривой .....	41
4.3. Закон повышения динамичности и управляемости техниче- ской системы .....	46

4.4. Закон повышения степени идеальности технических систем	47
4.5. Закон относительного постоянства	48
4.6. Закон возрастания разнообразия технических объектов	49
4.7. Закон ограниченного многообразия	49
4.8. Закон стадийного развития техники	50
4.9. Закон убывающей полезности	50
4.10. Законы строения техники	51
5. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ	54
5.1. Административное противоречие	55
5.2. Техническое противоречие	57
5.3. Физическое противоречие	59
5.4. Ключевые этапы алгоритма	60
6. ТЕСТЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ	65
7. ПРИМЕРЫ НЕСТАНДАРТНЫХ ЗАДАЧ	69
7.1. Математика	69
7.2. Механика	70
7.3. Проектирование оборудования отрасли	72
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	76
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	77

Учебное издание

ПОПОВ Андрей Иванович

# АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ НЕСТАНДАРТНЫХ ЗАДАЧ

Учебное пособие

Редактор Л. В. Комбарова

Инженер по компьютерному макетированию Т. Ю. Зотова

Подписано в печать 25.10.2019.

Дата выхода в свет 25.12.2019.

Формат 60 × 84 / 16. 4,65 усл. печ. л.

Тираж 100 экз. (1-й з-д 30). Заказ № 105

ISBN 978-5-8265-2118-2



Издательский центр ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
392000, г. Тамбов, ул. Советская, д. 106, к. 14.  
Телефон (4752) 63-81-08.

E-mail: izdatelstvo@admin.tstu.ru

Отпечатано в типографии ФГБОУ ВО «ТГТУ»  
392008, г. Тамбов, ул. Мичуринская, д. 112А  
Телефон (4752) 63-07-46

E-mail: tipo\_tstu68@mail.ru