В.Г. Шипинский

# Методы инженерного творчества



В.Г. Шипинский

# Методы инженерного творчества

*Допущено*
*Министерством образования*
*Республики Беларусь*
*в качестве учебного пособия*
*для студентов учреждений*
*высшего образования*
*по специальностям «Упаковочное*
*производство (по направлениям)»,*
*«Машины и технология обработки*
*материалов давлением»*



Минск
«Вышэйшая школа»
2016

УДК 62:001.894(075.8)
ББК 30я73
Ш63

Р е ц е н з е н т ы: кафедра «Организация упаковочного производства» (заведующий кафедрой доктор технических наук, профессор *В.В. Кузьмич*) Белорусского национального технического университета; директор государственного научного учреждения «Институт механики металлополимерных систем им. В.А. Белого» Национальной академии наук Беларуси, академик Национальной академии наук Беларуси доктор технических наук, профессор *Н.К. Мышкин*

*Все права на данное издание защищены. Воспроизведение всей книги или любой ее части не может быть осуществлено без разрешения издательства.*

**Шипинский, В. Г.**

Ш63 Методы инженерного творчества : учеб. пособие / В. Г. Шипинский. – Минск : Вышэйшая школа, 2016. – 118 с.: ил.
ISBN 978-985-06-2773-5.

Представлены основные понятия о творческом процессе, закономерностях строения и эволюции развития технических систем, а также методы активации творческого мышления и человеческие факторы, учитываемые при создании технических объектов. Приведена методика составления описания технического решения и оформления технического задания на его реализацию, а также рассмотрены стадии и этапы проектирования изделий, виды и комплектность разрабатываемых конструкторских документов, методы планирования и контроля над реализацией проектов, тенденции развития технологий и оборудования промышленного производства.

Для студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим специальностям. Будет также полезна для инженерно-технических работников.

**УДК 62:001.894(075.8)**
**ББК 30я73**

**ISBN 978-985-06-2773-5**

© Шипинский В.Г., 2016
© Оформление. УП «Издательство “Вышэйшая школа”», 2016

# ПРЕДИСЛОВИЕ

Уровень и темпы развития человеческой цивилизации во многом определяются деятельностью творческих людей, в том числе создающих новые по замыслу культурные и материальные ценности. Ключевым направлением технического творчества является изобретательская деятельность. Изобретая, творческие люди создали мир второй, искусственной природы, мир вещей. Для этого они придумали множество способов использования и переработки естественных природных материалов, а также преобразования энергии воды, ветра, Солнца, ископаемого топлива в энергию различных силовых установок. Это, в свою очередь, позволило не только освоить все уголки Земли, но и выйти в космическое пространство.

На современном этапе развития общества улучшение благосостояния и качества жизни зависит от постоянного повышения эффективности производства и производительности труда на основе широкого внедрения достижений науки и техники. Решающая роль в создании принципиально новых технологий и техническом перевооружении всего народного хозяйства отводится машиностроению, а успешность решения этой задачи определяется, прежде всего, творческим потенциалом инженерно-технических сотрудников.

Стремление повысить эффективность инженерного труда привело к созданию значительного арсенала специальных научных методов, позволяющих в той или иной степени активизировать мышление, успешно развивать и реализовать творческие способности человека. В учебных программах многих технических учебных заведений появились также соответствующие специальные дисциплины, такие как «Основы инженерного творчества», призванные дать студентам эти знания и практические навыки. По этой тематике издана и соответствующая литература.

Отличительные особенности данной книги заключаются в комплексном охвате основных научных концепций, методик и приемов, созданных научным сообществом и новаторами в этой области. Во взаимосвязанной и логически последовательной форме раскрываются основные понятия о творческом процессе, закономерностях строения и эволюции развития технических систем, рассматриваются методы активации творческого мышления, в частности метод контрольных вопросов, ассоциативные методы поиска новых идей, метод «мозгового штурма» с его разновидностями, метод синектики, морфологический метод, методы функционально-стоимостного анализа (ФСА) и системного анализа функций (САФ), раскрываются типовые приемы решения изобретательских задач, а также представлены теория решения изобретательских задач (ТРИЗ), содержащая соответствующую методику, теория вещественно-полевого (вепольного) анализа, стандарты и алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ).

В пособии приводится информация по применению компьютерных систем в решении творческих задач, рассматриваются человеческие факторы, учитываемые при проектировании технических объектов, излагаются методики составления описания изобретения и технического задания на его реализацию, указываются нормативные стадии и этапы проектирования изделий, виды и комплектность разрабатываемой на продукцию конструкторской документации, раскрываются применяемые методы планирования и контроля над реализацией проектов, а также приводятся сведения по перспективным технологиям и оборудованию промышленного производства.

Книга написана с соблюдением сложившейся в этой области терминологии и оснащена необходимыми поясняющими графическими иллюстрациями, а сжатая и информационно насыщенная форма изложения материала делает ее оптимальной по объему и удобной для изучения как студентами в процессе обучения, так и инженерно-техническими работниками в практической творческой деятельности.

Автор выражает искреннюю благодарность академику Национальной академии наук Беларуси доктору технических наук, профессору Н.К. Мышкину и доктору технических наук, профессору В.В. Кузьмичу за рецензирование, ценные советы и помощь в улучшении рукописи.

*Автор*

# ГЛАВА 1

# ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ, ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

## 1.1. Характеристика задач инженерного творчества

**Творчество** – это деятельность человека, заключающаяся в создании тех или иных материальных или культурных ценностей в какой-либо области (техника, литература, искусство и т.д.). Отличительным признаком творчества является, прежде всего, новизна или уникальность создаваемых предметов. Творческими называются вещи, которые либо полезны (например, промышленные изделия), либо имеют большую ценность (например, произведения искусства). Еще одно качество вещей, процессов и решений, которые принято называть творческими, состоит в том, что они вносят простоту там, где раньше была сложность. Это качество часто называют изяществом.

Различают научное, научно-техническое и техническое творчество (рис. 1), результатом которого являются открытия, изобретения, рационализаторские предложения и конструкторско-технологические разработки.

**Научное творчество** удовлетворяет потребности познания окружающего мира, т.е. это творчество в фундаментальных науках, результатом которого являются открытия и сложные изобретения.

***Открытие*** – это установление неизвестных ранее объективно существующих закономерностей, свойств и явлений материального мира, вносящих коренные изменения в уровень познания.

***Изобретение*** – это новое, имеющее изобретательский уровень и полезное применение решение задачи. Объектами изобретений могут являться устройство, способ, вещество, штамм микроорганизма, культуры клеток растений и животных, а также применение известного ранее устройства, способа, вещества, штамма по новому назначению.

**Научно-техническое творчество** заключается в исследовании закономерностей известных явлений с целью их использования на практике. В основе этого вида творчества лежат прикладные науки, различного рода отраслевые исследования, в результате которых разрабатываются новые технические и технологические решения. Результатом данного вида творческой деятельности являются преимущественно сложные изобретения.

**Техническое творчество** реализуется в результате инженерной деятельности, направленной на соз-

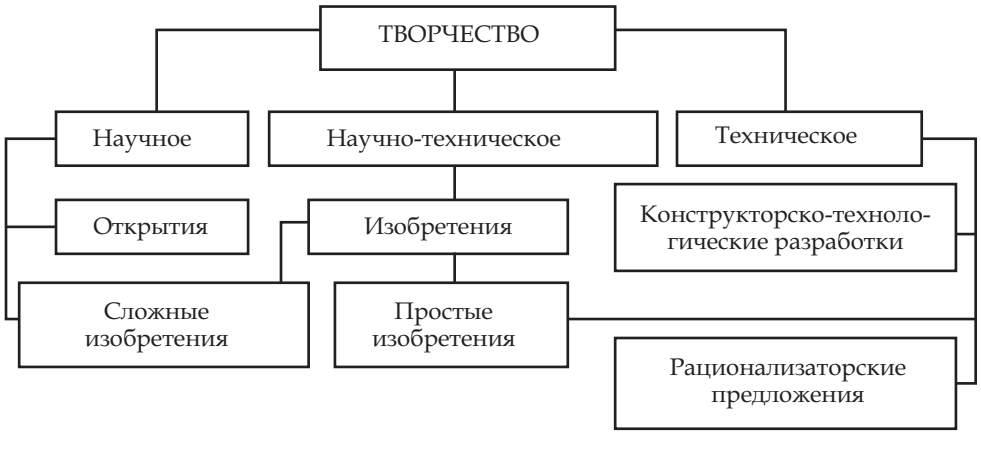



*Рис. 1.* Виды и результаты инженерного творчества

дание новых полезных решений на основе известных закономерностей. Результатом технического творчества являются конструкторско-технологические разработки, простые изобретения и рационализаторские предложения.

***Конструкторско-технологические разработки*** – это техническая документация, в которой приводятся конструктивное исполнение каждого конкретного технического объекта (изделия) и технология его производства.

***Рационализаторское предложение*** – это техническое решение, являющееся новым и полезным для предприятия, организации или учреждения, которому оно подано, и предусматривающее усовершенствование технологии производства, конструкции технических объектов, применяемой техники или состава материалов и веществ.

Из определений открытия, изобретения и рационализаторского предложения видно, что в качестве основного признака, отличающего результаты творческого процесса, можно использовать степень новизны полученного решения. По этому признаку результаты творчества разделяют на следующие пять уровней:

• *первый уровень*: решения, основанные на применении в новых условиях уже известного объекта с получением полезного эффекта;

• *второй уровень*: решения, ведущие к конструктивно-технологическим изменениям, которые обеспечивают одну и ту же по своему характеру цель, но с различным эффектом;

• *третий уровень*: решения, заключающиеся в качественных конструкторско-технологических изменениях внутри одного технического объекта;

• *четвертый уровень*: решения, ведущие к глубоким преобразованиям техники и технологий;

• *пятый уровень*: решения, основанные на создании новых принципов или процессов, ведущих к коренному преобразованию и качественным сдвигам в развитии науки и техники.

К пятому и четвертому уровням новизны относятся сложные изобретения, к четвертому и третьему – простые изобретения, а ко второму и первому – рационализаторские предложения.

К результатам творческой технической деятельности относят также разработку промышленных образцов и товарных знаков.

*Промышленный образец* – это новое художественно-конструкторское решение изделия, определяющее его внешний вид, соответствующее требованиям дизайна, пригодное к осуществлению промышленным способом и дающее положительный эффект.

Дизайн (от англ. design – проектировать, проект, план, рисунок) – основной международный термин, обозначающий новый вид деятельности по проектированию предметного мира; в русском языке аналогом ему является термин «художественное конструирование». Дизайн находится в особом отношении ко всем традиционным видам проектирования, разрешая затруднения, которые связаны с внедрением в жизнь конкретных людей и общества в целом новых предметных организаций, создающих неравновесную ситуацию в предметном мире. В частности, одной из областей дизайна является проектирование эстетических свойств промышленных изделий.

*Товарный знак* – зарегистрированное в установленном порядке оригинальное обозначение, позволяющее отличать продукцию одних изготовителей от аналогичной по виду и назначению продукции других отечественных и зарубежных изготовителей. В качестве товарных знаков могут выступать любые обозначения, обладающие различительной способностью: названия продукции, графические изображения, особые сочетания цифр, букв и слов, внешний вид в целом, звуковые сочетания и т.д., которыми изготовитель обозначает свою продукцию и упаковку. Исключительные права в отношении товарного знака возникают на основании его регистрации в патентном ведомстве.

В основе любого сформировавшегося научного или учебного направления заложен относительно небольшой набор четко определенных и связанных между собой понятий, которые позволяют однозначно характеризовать разнообразные технические системы и достаточно точно сопоставлять их свойства. В частности, объектами инженерного творчества чаще всего являются новые, более совершенные и эффективные технические системы и технологии, или, по терминологии, применяемой в патентоведении, – новые устройства и способы.

**Технической системой** (ТС) будем называть созданное человеком или автоматом реально существующее (существовавшее) устройство, предназначенное для удовлетворения определенной потребности. К техническим системам можно отнести, например, отдельные машины, аппараты, приборы, ручные приспособления, одежду, здания и сооружения, а также другие предметы, выполняющие определенную функцию по преобразованию объектов живой и неживой природы, энергии или информации. Техническими системами являются самолет и кофемолка, линии электропередачи и трубопровод, лопата, компьютер и обувь, завод и выпускаемые им изделия, болты и гайки, а также взаимосвязанные компоненты (агрегаты, узлы, детали), из которых изготовляются всевозможные машины, сооружения и другая продукция.

Обработка вещества, энергии или информации представляет собой технологию выполнения с помощью ТС некоторой четко определенной последовательности операций.

**Технология** (от греч. techne – искусство, мастерство, умение и logos – слово, учение) – наука, систематизирующая совокупность приемов и способов обработки (переработки) вещества, сырья, материалов, энергии или информации соответ-

ствующими ТС из начального исходного в требуемое конечное состояние. Разнообразие технологий так же велико, как и разнообразие ТС, а благодаря инженерному творчеству постоянно создаются новые технологии, а также совершенствуются существующие. Применяются, например, технологии изготовления деталей и машин в целом, технологии получения заготовок литьем, технологии сортового проката обработкой материалов давлением, а также технологии производства пищевых продуктов, добычи полезных ископаемых, производства чугуна, стали, других металлов и т.д.

## 1.2. Этапы создания и совершенствования технических систем

Вся история развития общества неразрывно связана с техническим прогрессом, обеспечивающим создание новых и усовершенствование существующих технических объектов, а также освоение производства новых видов разнообразной продукции. Те отрасли промышленного производства или направления в технике, которые постоянно не совершенствуются, оказываются в итоге нежизнеспособными в современном динамично изменяющемся мире. Усилением же конкуренции между товаропроизводителями обусловливается необходимость в постоянном обновлении и усовершенствовании производимой продукции с целью улучшения ее потребительских качеств и повышения эффективности используемого в производстве труда. Начинается этот процесс с фундаментальных научных исследований и заканчивается внедрением полученных результатов в промышленное производство с целью удовлетворения новых постоянно возрастающих потребностей общества. В обобщенном виде этот длительный путь от научного познания закономерностей, свойств и явлений материального мира до их использования в производстве новой продукции проходит через фундаментальную науку, прикладные научно-технические исследования, проектно-конструкторские разработки, производственно-техническую деятельность.

**Фундаментальные научные исследования** включают в себя следующие этапы научно-технического процесса:

• формирование научных гипотез и их обоснование с публикацией научных статей;

• теоретическое доказательство (обоснование) научных гипотез с публикацией научных статей;

• формирование идей и методов экспериментального подтверждения научной гипотезы, результатом которых могут быть научные статьи и сложные изобретения;

• проектирование технических средств и разработка методики экспериментальных исследований, результатом которых являются научные статьи, изобретения и конструкторская документация;

• изготовление технических средств для экспериментальных исследований и их совершенствование через простые изобретения и рационализаторские предложения;

• проведение экспериментальных исследований, подтверждающих научную гипотезу, и при получении положительных результатов оформление и регистрация открытия или сложного изобретения.

**Прикладные научно-технические исследования** включают в себя следующие этапы научно-технического процесса:

• формирование идей и проведение экспериментальных исследований по поиску путей практического применения заинтересовавшего научного открытия, результатом которых могут быть научно-технические публикации и сложные изобретения;

• создание принципиально новых технических решений по практическому применению заинтересовавшего открытия (веществ, ТС, технологий), результатом которых могут быть научно-технические публикации и сложные изобретения;

• разработка технологий, экспериментальных и опытно-конструкторских ТС, результатом которых могут быть технические публикации, изобретения, а также конструкторская и технологическая документация;

• выявление потребности общества в создаваемых новых веществах, ТС и технологиях через публикации рекламно-информационного характера;

• изготовление опытных образцов ТС, отработка технологий, выпуск опытной партии новых веществ с фиксацией результатов в конструкторской и технологической документации, простых изобретениях, рационализаторских предложениях и технических публикациях.

**Проектно-конструкторские разработки** включают в себя следующие этапы научно-технического процесса:

• проектирование опытно-промышленных ТС и технологий с фиксацией результатов в конструкторской и технологической документации;

• изготовление опытно-промышленной партий ТС или веществ, а также отработка новых технологий и проверка на опытных партиях потребительского спроса;

• разработка и подготовка созданных ТС для серийного и массового производства, а технологий – к промышленному внедрению.

**Производственно-техническая деятельность** включает в себя следующие этапы научно-технического процесса:

• планирование объемов производства, а также техническая и технологическая подготовка производства;

• создание производственных мощностей, промышленное освоение технологий, а также выпуска новых ТС и веществ;

• серийный (массовый) выпуск новой продукции (веществ) и их сбыт (реализация).

Каждому из этих этапов присущи определенные виды творчества по формированию и реализации идей, а также виды правовой защиты результатов деятельности. Если же на каком-то этапе творческого процесса получен отрицательный результат, что бывает довольно часто, то следует вернуться и начать процесс с предшествующего этапа. Созданные в результате исследований сложные изобретения принципиального характера могут стать основой для создания по сути новых видов ТС, а простые изобретения, касающиеся усовершенствования отдельных конструктивных элементов, будут разрабатываться и внедряться в процессе серийного выпуска соответствующей продукции так же, как и рационализаторские предложения.

На базе крупных открытий, как правило, создается большое количество новых ТС (технологий, веществ), используемых в различных отраслях народного хозяйства. Рассмотрим весь этот творческий путь на примере создания лазерной техники.

Лазер (слово образовано из первых букв английских слов фразы «light amplification by stimulated emission of radiation» – усиление света посредством вынужденного излучения) – это устройство, в котором осуществляется генерация монохроматических электромагнитных волн оптического диапазона вследствие их индуцированного излучения активной (рабочей) средой с избытком атомов на возбужденном энергетическом уровне. Создание квантовых генераторов света или лазеров, несомненно, является выдающимся открытием XX в. как по общенаучной значимости, так и с точки зрения перспектив его практического использования.

Существование явления вынужденного излучения – физической основы работы любого лазера предсказал в 1916 г. А. Эйнштейн, а строгое теоретическое обоснование в рамках квантовой механики это явление получило в работах П. Дирака в 1927–1930 гг. Экспериментально существование вынужденного излучения было подтверждено Р. Ладенбургом и Г. Копферманном в 1928 г. Возможность использования вынужденного излучения среды с инверсией населенностей для усиления электромагнитного излучения впервые предсказали в 1940 г. советские физики В.А. Фабрикант и Ф.А. Бутаева, но в то время они и другие физики даже не представляли, какие огромные возможности таит в себе это предсказание. В.А. Фабрикант и его сотрудники Ф.А. Бутаева и М.Н. Вудынский в 1951 г. получили авторское свидетельство на новый способ усиления электромагнитных волн с помощью вынужденного излучения.

В 1950 г. А. Кастлером был предложен метод оптической накачки среды для создания в ней инверсной населенности (Нобелевская премия по физике 1966 г.), который в 1952 г. успешно был подтвержден экспериментально им же вместе с Бросселем и Винтером. Таким образом, до создания экспериментального квантового генератора оставался один шаг – ввести в среду положительную обратную связь, т.е. поместить эту среду в резонатор.

Первыми независимо друг от друга эту проблему решили в 1954 г. Н.Г. Басов с А.М. Прохоровым в СССР и Ч. Таунс со своими сотрудниками Дж. Гордоном и Х. Цайгером в США. Они создали первые микроволновые генераторы – майзеры на аммиаке, обратную связь в которых выполнял объемный резонатор с размерами порядка 12,6 мм (это соответствует длине волны, излучаемой при переходе аммиака с возбужденного колебательного уровня на основной), и на них экспериментально подтвердили теорию усиления электромагнитного излучения, предсказанную В.А. Фабрикантом и Ф.А. Бутаевой. За эти исследования Басову и Прохорову в 1959 г. была присуждена Ленинская премия, а в 1964 г. Басов, Прохоров и Таунс удостоены Нобелевской премии по физике. Ввиду новизны и глубины выдвинутых идей Госкомитет Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий выдал в 1964 г., в свою очередь, авторам теории усиления электромагнитного излучения Фабриканту, Бутаевой и Вудынскому диплом на открытие.

Для усиления электромагнитного излучения оптического диапазона необходимо было создать объемный резонатор с размерами порядка микрона. Из-за технологических трудностей многие ученые в то время считали, что эта задача не реализуема. Однако Т. Мейман решил ее и 16 мая 1960 г. продемонстрировал работу первого оптического квантового генератора – лазера. В нем в качестве активной среды использовался кристалл искусственного рубина (оксид алюминия $Al_2O_3$ с небольшой примесью хрома Cr), а вместо объемного резонатора применялся резонатор Фабри – Перо, образованный серебряными зеркальными покрытиями, нанесенными на торцы кристалла. Этот лазер работал в импульсном режиме на длине волны 694,3 нм.

В декабре того же года А. Джаван, У. Беннет, Д. Хэрриот создали гелий-неоновый лазер, излучающий в непрерывном режиме в инфракрасном диапазоне, а затем он был модифицирован для излучения видимого красного света. В 1961 г. появился лазер на неодимовом стекле, обеспечивающий генерацию инфракрасного излучения с длиной волны 1,06 мкм, а в течение следующих пяти лет были разработаны лазерные диоды, лазеры на красителях, лазеры на двуокиси углерода и химические лазеры. В 1963 г. Ж. Алферов и Г. Кремер (Нобелевская премия по физике, 2000 г.)

разработали теорию полупроводниковых гетероструктур, на основе которой в дальнейшем были созданы и многие другие разновидности лазеров.

В частности, для удовлетворения потребности в квантовых генераторах, перекрывающих всю область видимого спектра и дающих лазерное излучение любой длины волны (цвета), в институте физики Национальной академии наук Беларуси академиком Б.И. Степановым и его учеником А.Н. Рубиновым были разработаны основы общей теории генерации света растворами красителей, которая позволяла заранее определять оптимальные условия эксперимента и представлять основные особенности ожидаемой генерации. В 1966 г. эти теоретические данные были полностью подтверждены экспериментально Б.И. Степановым, А.Н. Рубиновым и В.А. Мостовниковым. Генерация на растворимых органических красителях одновременно была экспериментально подтверждена в США и ФРГ. Реализовали же этот принцип в лазере «Радуга-6», изготовленном в 1977 г. и предназначенном для использования в лазерной спектроскопии, нелинейной оптике и других областях науки и техники. За создание этих лазеров в 1972 г. Степанов, Рубинов и Мостовников удостоены Государственной премии СССР.

Первые лазеры представляли собой сложные громоздкие устройства. Но постепенно их конструкция совершенствовалась, и размеры уменьшались до обычных лабораторных приборов. Сегодня размеры лазеров имеют широкий диапазон: от микроскопических (на полупроводниках) до величины с футбольное поле (на неодимовом стекле). Уникальные свойства лазеров используются как в быту, так и в различных отраслях науки и техники, начиная чтением и записью компакт-дисков и заканчивая исследованиями в области управляемого термоядерного синтеза. Лазерные технологические установки позволяют, например, производить высокоскоростную резку тугоплавких металлов, стекла, кварца и других материалов, а также раскраивать ткани, контролировать толщины пленок и чистоту поверхностей, сваривать такие пары металлов, которые очень трудно или вообще невозможно соединить другими методами. В геодезии их широко применяют для высокоточных измерений расстояний и углов; в космической и наземной локации – для определения скоростей и курса кораблей, самолетов и ракет. Существует целый ряд важнейших областей применения лазеров: управляемые химические реакции, разделение изотопов и получение сверхчистых веществ, нагрев плазмы до температуры $\sim 20 \cdot 10^6$ K, лазерная связь и система передачи информации, голографические приборы, устройства распознавания образов, а также записи и хранения информации. Активно ведется разработка лазерных устройств, предназначенных для обороны страны, прогноза погоды, порошковой металлургии, медицины, сельскохозяйственного производства и других отраслей народного хозяйства. На современном этапе непрерывно продолжают открываться новые возможности их еще более широкого применения.

## 1.3. Критерии оценки развития технических систем

Среди параметров и показателей, характеризующих любую ТС, всегда имеется один или несколько, которые на протяжении длительного времени или всего периода существования рассматриваемого объекта имеют тенденцию монотонного изменения или поддержания на определенном уровне при достижении своего предела. Эти показатели всеми осознаются как мера совершенства и прогрессивности определенных классов ТС и оказывают сильное влияние на развитие и этих систем, и техники в целом. Такие параметры и показатели принято называть **критериями оценки развития ТС**. Для различных классов ТС эти критерии в значительной степени совпадают, поэтому их можно представить в виде единого обобщенного набора, состоящего из четырех характерных групп (рис. 2): функциональные, технологические, экономические и антропологические критерии с присущими им основными характерными показателями.

**Функциональные критерии** представляют собой количественную характеристику основных показателей реализации функций каждой технической системой. В качестве таких показателей выступают производительность, точность и надежность, а также специальные данные.

***Критерий производительности*** представляет собой интегральный показатель уровня развития ТС, который непосредственно зависит от ряда параметров, определяющим образом влияющих на производительность труда. Для технологического оборудования он может выражаться, например, через количество деталей, обрабатываемых в единицу времени (шт/мин), для грузового транспорта – тонно-километрами перевозимого в единицу времени груза, для стрелкового оружия – количеством производимых выстрелов в минуту, в химическом производстве – скоростью протекания реакции, в микропроцессорной технике – скоростью передачи информации и т.д.

***Критерий точности*** может выражаться, например при обработке заготовок, через точность выполняемых размеров и точность их контроля измерительным инструментом (штангенциркулем, микрометром) или точность измерения определенных физических параметров (электрического тока и напряжения), а также через точность измерения расходов газа, воды и электроэнергии,

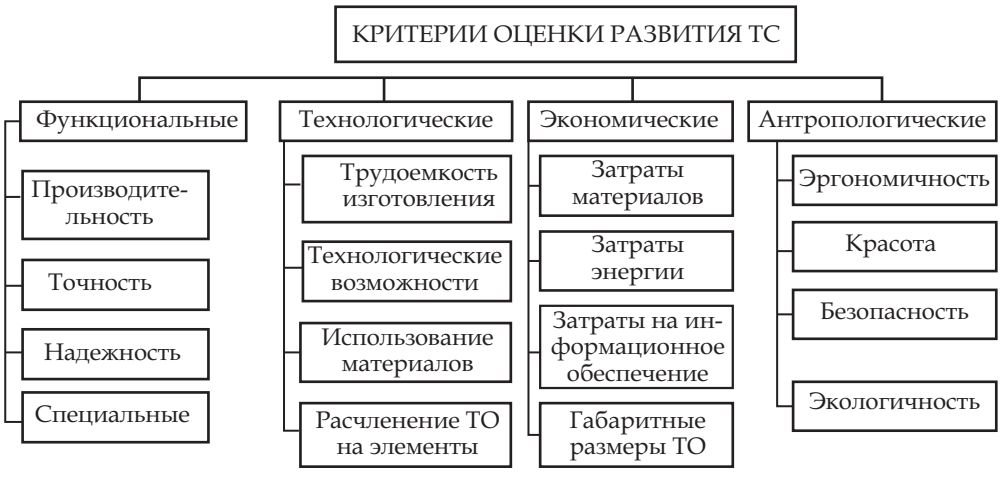



*Рис. 2.* Схема критериев оценки развития ТС

точность попадания в цель, точность обработки потоков энергии, информации и т.д.

***Критерием надежности*** характеризуется вероятная способность ТС выполнять заданные функции в течение требуемого интервала времени. Выражается надежность через такие частные показатели, как безотказность, долговечность, ремонтопригодность и сохраняемость ТС.

*Показатель безотказности* определяется на основании статистических данных как отношение продолжительности работы характеризуемых объектов в часах к количеству произошедших за период их эксплуатации отказов (неисправностей).

*Долговечность* определяется продолжительностью нормальной эксплуатации объекта с выполнением за этот период всех предусмотренных регламентных работ и планово предупредительных ремонтов.

*Ремонтопригодность* – это свойство ТС, заключающееся в его приспособленности к предупреждению, отысканию и устранению в нем отказов и неисправностей путем проведения технического обслуживания и ремонтов.

*Сохраняемостью* характеризуется свойство ТС сохранять свои эксплуатационные показатели в течение периода транспортирования и срока хранения, установленного в технической документации.

***Специальными критериями*** являются такие, которые характеризуют выполняемые функции только определенного класса ТС. Например: номинальное усилие штамповки, обеспечиваемое прессом; максимальные размеры заготовок, обрабатываемых на станках; начальная скорость и дальность полета пули, выпущенной из стрелкового оружия, и т.д.

Актуальность и вес функциональных критериев более высокий в сравнении с другими группами критериев, поскольку на протяжении всего периода существования технических систем они монотонно улучшаются до достижения своего предела.

**Технологические критерии** характеризуют ТС с точки зрения необходимых затрат живого и овеществленного труда на их изготовление, внедрение, эксплуатацию и утилизацию. Наиболее типичными показателями являются трудоемкость изготовления, технологические возможности, использование материалов и рациональное расчленение объекта на составляющие элементы.

***Критерий трудоемкости изготовления ТС*** ($К_т$) определяется как отношение суммарной трудоемкости $Т_\Sigma$, затраченной на ее проектирование, изготовление, внедрение, эксплуатацию и утилизацию, к главному функциональному показателю, за который обычно принимается производительность $Q$:

$$К_т = \frac{Т_\Sigma}{Q}.$$

***Критерий технологических возможностей*** ($К_{тв}$) отражает простоту и принципиальную возможность изготовления ТС:

$$К_{тв} = \varepsilon \cdot \frac{k_с \cdot A_с + k_у \cdot A_у + k_{И_1} \cdot A_{И_1} + k_{И_2} \cdot A_{И_2}}{A_с + A_у + A_{И_1} + A_{И_2} + A_{И_3}},$$

где $\varepsilon = 1$, если $A_{И_3} = 0$, и $\varepsilon = 0$, если $A_{И_3} > 0$; $k_с$, $k_у$, $k_{И_1}$, $k_{И_2}$ – коэффициенты, пропорциональные соотношению соответствующих элементов в ТС; $A_с$ – число наименований стандартных элементов в ТС; $A_у$ – число наименований унифицированных и заимствованных элементов в ТС; $A_{И_1}$ – число наименований оригинальных (новых) элементов в ТС, изготовление которых не вызывает затруднений; $A_{И_2}$ – число наименований оригинальных элементов в ТС, изготовление которых вызывает значительные, но преодолимые трудности; $A_{И_3}$ – число наименований оригинальных элементов в ТС, изготовление которых вызывает принципиальные, пока непреодолимые трудности.

Производными разновидностями этого критерия, применяемыми для характеристики ТС, являются критерий стандартизации $К_с$, при опреде-

лении которого в числителе формулы указывается только $A_с$, и критерий унификации $К_у$, при определении которого в числителе формулы используется сумма $A_с + A_у$.

***Критерий использования материалов*** ($К_{им}$) определяется как отношение массы $M$ изделия к массе $G$ израсходованных на его изготовление материалов, но покупные комплектующие элементы при этом не учитываются:

$$К_{им} = \frac{M}{G}.$$

***Критерий расчленения ТС на элементы*** указывает на степень ее оптимального деления на составляющие сборочные единицы и детали для обеспечения рациональной сборки и наладки при изготовлении, удобного ремонта и модернизации в процессе эксплуатации, а также для повышения уровня стандартизации и унификации. Ввиду сложности определения аналитическое выражение этого показателя не приводится.

**Экономические критерии** представляют собой количественную характеристику экономической эффективности реализации ТС своих основных функций. Наиболее характерными являются такие показатели, которые учитывают затраты на материалы, энергию, подготовку и получение формации, а также габаритные размеры ТС.

***Критерий расхода материалов*** ($К_м$) определяется как отношение массы $M$ изделия к его главному функциональному показателю, за который обычно принимается производительность $Q$:

$$К_м = \frac{M}{Q}.$$

***Критерий расхода энергии*** ($К_э$) показывает удельные затраты энергии на изготовление и эксплуатацию ТС:

$$К_э = \frac{W_э + W_И}{T \cdot Q},$$

где $W_э$ – полные затраты энергии за время эксплуатации ТС; $W_И$ – затраты энергии при изготовлении ТС; $T$ – время эксплуатации ТС; $Q$ – главный функциональный показатель (производительность ТС).

***Критерий затрат на информационное обеспечение*** ($К_{ио}$) определяется как соотношение

$$К_{ио} = \frac{З}{Q},$$

где З – затраты на подготовку и обработку информации, включающие стоимость или расходы на эксплуатацию необходимой вычислительной техники, приобретение микропроцессорной системы управления, расходы на программное и информационное обеспечение и т.д.

***Критерий габаритных размеров*** ($К_г$) определяется как отношение объема $V$, занимаемого ТС, к его главному функциональному показателю, за который обычно принимается производительность $Q$:

$$К_г = \frac{V}{Q}.$$

**Антропологические критерии** характеризуют технические объекты с точки зрения приспособленности к человеку и снижения или исключения их негативных и опасных воздействий на него, т.е. основаны на представлениях об эргономичности, красоте, безопасности и экологичности ТС.

***Критерий эргономичности ТС*** ($К_э$) определяется как отношение реализуемой эффективности системой «человек – машина» к максимально возможной эффективности этой системы, т.е. его можно интерпретировать как КПД человека-оператора в системе «человек – машина».

***Критерием красоты*** оценивается эстетическое воздействие ТС на человека, а также совершенство его дизайна.

***Критерий безопасности ТС*** ($К_б$) рассчитывается по формуле

$$К_б = \sum_{i=1}^{n} \beta_i \cdot \gamma_i \cdot \frac{S_i}{S_i^n},$$

где $n$ – количество вредных и опасных воздействующих факторов; $\beta_i$ – пропорциональный коэффициент воздействия $i$-го фактора, принимаемый в соответствии с градацией по тяжести вредных и опасных воздействий ТС из условия, что $\sum_{i=1}^{n} \beta_i = 1$; $\gamma_i$ – пропорциональный коэффициент $i$-го вредного или опасного фактора (принимает следующие значения: $\gamma_i = 1$ при $S_i = S_i^n$; $\gamma_i = 1/\min(\beta_i)$); $S_i$ – величина $i$-го вредного или опасного фактора, вызванного рассматриваемой ТС (это может быть вероятность легкой или тяжелой травмы, уровень радиации, звуковая или вибрационная нагрузка, концентрация вредных веществ в воздухе и т.д.); $S_i^n$ – нормативные (предельно достижимые) значения $i$-го вредного или опасного фактора.

***Критерий экологичности*** ($К_{эк}$) отражает взаимоотношения между естественной природой и ТС с точки зрения комфортности и возможности жизни людей. В общем виде его можно выразить зависимостью

$$К_{эк} = \frac{S_н + S_{кр}}{S_0},$$

где $S_н$ – площадь территории (суши, воды), на которой по одному или нескольким факторам имеются недопустимые (выше нормы, но ниже критических) загрязнения или изменения; $S_{кр}$ – площадь территории, на которой по одному или нескольким факторам имеются критические загрязнения и изменения, при которых жизнь чело-

# ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ . . . . . 3

ВВЕДЕНИЕ . . . . . 4

**ГЛАВА 1. ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ, ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ** . . . . . 6

1.1. Характеристика задач инженерного творчества . . . . . 6
1.2. Этапы создания и совершенствования технических систем . . . . . 8
1.3. Критерии оценки развития технических систем. . . . . 10
1.4. Иерархическая структура технических систем . . . . . 13

**ГЛАВА 2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СТРОЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ** . . . . . 16

2.1. Закономерности строения и развития технических систем . . . . . 16
2.2. Эволюция технических систем. . . . . 18
2.3. Типы творческих задач. . . . . 20
2.4. Фонд технических решений . . . . . 21

**ГЛАВА 3. МЕТОДЫ ПОИСКА НОВЫХ ИДЕЙ**. . . . . 22

3.1. Обобщенные сведения о методах активизации инженерного творчества . . . . . 22
3.2. Выявление противоречий и постановка творческих задач . . . . . 23
3.3. Решение творческих задач путем «проб и ошибок» . . . . . 26
3.4. Метод контрольных вопросов . . . . . 27
3.5. Ассоциативные методы поиска новых идей . . . . . 28
3.6. Коллективные методы поиска новых идей . . . . . 30
3.6.1. Метод «мозгового штурма» и его разновидности . . . . . 30
3.6.2. Метод синектики . . . . . 37
3.7. Морфологический метод. . . . . 39
3.8. Метод функционально-стоимостного анализа . . . . . 42
3.9. Метод системного анализа функций. . . . . 43

**ГЛАВА 4. ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА** . . . . . 46

4.1. Типовые приемы решения изобретательских задач . . . . . 46
4.2. Теория решения изобретательских задач . . . . . 47
4.2.1. Сущность и основные положения . . . . . 47
4.2.2. Структурная схема ТРИЗ . . . . . 50
4.2.3. Методика решения технических задач. . . . . 51
4.3. Теория вещественно-полевого (вепольного) анализа . . . . . 52
4.3.1. Основные виды конфликтов . . . . . 54
4.3.2. Правила анализа и преобразования веполей . . . . . 55
4.4. Стандартные решения некоторых классов изобретательских задач . . . . . 59
4.5. Алгоритм решения изобретательских задач . . . . . 60
4.6. Применение компьютерных систем в решении творческих задач. . . . . 67

**ГЛАВА 5. ВОПЛОЩЕНИЕ ТВОРЧЕСКИХ ИДЕЙ** . . . . . 70

5.1. Человеческие факторы в инженерном проектировании . . . . . 70
5.2. Сведения о патентах . . . . . 72
5.3. Составление описания изобретения . . . . . 74
5.4. Техническое задание на разработку и усовершенствование объекта . . . . . 76
5.5. Стадии и этапы проектирования изделия . . . . . 78
5.6. Виды и комплектность конструкторских документов . . . . . 81
5.7. Методы планирования и контроля за реализацией проекта . . . . . 83
5.7.1. Ленточные графики (графики Ганта) . . . . . 83
5.7.2. Сетевые графики планирования . . . . . 83
5.8. Тенденции развития технологий и оборудования . . . . . 86
5.9. Особенности производства продукции в условиях рыночной экономики . . . . . 89

ПРИЛОЖЕНИЯ . . . . . 91

*Приложение 1.* Типовые приемы решения изобретательских задач . . . . . 91
*Приложение 2.* Стандартные решения некоторых классов изобретательских задач . . . . . 95
*Приложение 3.* Тесты на креативность и технические задачи . . . . . 105

ЛИТЕРАТУРА . . . . . 116

Учебное издание

**Шипинский** Владимир Георгиевич

**МЕТОДЫ ИНЖЕНЕРНОГО ТВОРЧЕСТВА**

Учебное пособие

Редактор *Е.В. Савицкая*
Художественный редактор *Т.В. Шабунько*
Технический редактор *Н.А. Лебедевич*
Корректор *Е.В. Савицкая*
Компьютерная верстка *Н.В. Шабуни*

Подписано в печать 25.10.2016. Формат 60×84/8. Бумага офсетная. Гарнитура «Newton».
Офсетная печать. Усл. печ. л. 13,95. Уч.-изд. л. 13,98. Тираж 400 экз. Заказ 2628.

Республиканское унитарное предприятие «Издательство "Вышэйшая школа"».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 1/3 от 08.07. 2013.
Пр. Победителей, 11, 220048, Минск.
e-mail: market@vshph.com http: // vshph.com

Открытое акционерное общество «Типография "Победа"».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий № 2/38 от 29.01.2014.
Ул. Тавлая, 11, 222310, Молодечно.