

Ю.С. Степанов
А.С. Тарапанов
Г.А. Харламов

**ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ИНЖЕНЕРНОМ ДЕЛЕ**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ - УЧЕБНО-НАУЧНО-
ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ КОМПЛЕКС»

Ю.С. Степанов, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов

ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ИНЖЕНЕРНОМ ДЕЛЕ

Допущено Учебно-методическим объединением вузов
по образованию в области автоматизированного машиностроения
(УМО АМ) в качестве учебного пособия для студентов высших
учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки
«Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»

Орел 2014

УДК 658.512.2 (075.8)
ББК 32.81
С79

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Технологии машиностроения»
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Липецкий государственный технический университет»
А.М. Козлов,

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Металлорежущие станки и инструменты»
Федерального государственного бюджетного образовательного
учреждения высшего профессионального образования
«Брянский государственный технический университет»
А.В. Хандожко

Степанов, Ю.С.

С79 Эвристические методы в инженерном деле: учебное пособие для высшего профессионального образования / Ю.С. Степанов, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов. – Орел: ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2014. – 181 с.

ISBN 978-5-93932-696-4

В учебном пособии рассмотрены основные вопросы эвристического подхода в инженерной деятельности. Изложены исторически сложившиеся принципы эвристики, сформировавшиеся за более чем двухтысячелетнее развитие искусства, порождать неординарные идеи и проектировать новые изделия. Значительное внимание уделено системному подходу при проектировании новой техники и описанию основных понятий инженерного поиска. Применение эвристических методов сопровождается примерами из различных областей техники.

Предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по направлению подготовки дипломированных специалистов 151900.68 «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», изучающих дисциплину «Эвристические методы в инженерном деле».

УДК 658.512.2 (075.8)
ББК 32.81

ISBN 978-5-93932-696-4 © ФГБОУ ВПО «Госуниверситет - УНПК», 2014

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Процесс проектирования изделия	11
1.1. Поиск информации и выявление требований к проектируемому объекту.....	11
1.2. Этапы создания нового изделия	25
1.3. Методы выбора наилучшего варианта проектируемого изделия.....	31
2. Поиск идей	43
2.1. Этапы процесса поиска идей.....	43
2.2. Методы поиска новых идей, основанные на интуиции.....	46
2.3. Метод «мозговой атаки».....	50
2.4. Морфологический метод	52
2.5. Метод фокальных объектов и синектика.....	58
2.6. Теория и алгоритм решения изобретательских задач.....	61
3. Системный подход в проектировании	79
3.1. Системный подход, декомпозиция, синтез.....	79
3.2. Пример декомпозиции в задаче параметрического синтеза.....	96
4. Поисковое конструирование.....	103
4.1. Описание технических объектов.....	103
4.2. Функционально-физический анализ технических объектов ...	113
4.3. Критерии качества технических объектов	121
4.4. Конструктивная эволюция технических объектов.....	132
4.5. Постановка и анализ задачи инженерного поиска.....	134
4.6. Метод эвристических приемов.....	142
Литература	147
Приложение А. Методы и примеры устранения технических противоречий	148

ВВЕДЕНИЕ

Эвристика от греческого «отыскиваю», «открываю» предполагает применение специальных методов для открытия нового. Это понятие можно представить в виде науки, изучающий продуктивное творческое мышление.

Инженер не может считаться состоявшимся, если не совершенствует сделанного до него. Прорывной в этом плане была отечественная разработка. В 1950-х годах Генрих Альтшуллер закладывает основы будущей теории решения изобретательских задач (ТРИЗ), нацеленной на эффективный поиск новых инженерно-технических решений. Всегда инженерная идея предшествует стадиям конструирования и проектирования. Инженерные задачи подразделяются, в сущности, на две основные группы. Конструкторские – когда в рамках имеющихся физических ограничений находят оптимальные варианты в проектировании. И изобретательские – когда применяется новый принцип поиска решения, достигается новый вариант изделия, технологии, системы с обходом существующих ограничений. Двигателем изобретательской мысли в ТРИЗ выступает разрешение выявленного технического противоречия [1, 2].

Основной постулат ТРИЗ гласит: технические системы развиваются по объективно существующим законам, эти законы познаваемы, они могут быть выявлены и целенаправленно использоваться для развития техники, решения изобретательских задач. Одним из примеров, подтверждающих закономерность развития техники, является независимое (иногда и одновременное) появление аналогичных изобретений, сделанных разными изобретателями в разных странах (радио, телефон и т.п.). Подобные примеры можно привести и в науке: закон Бойля – Мариотта, закон Ломоносова – Лавуазье, законы наследственности Г. Менделя, забытые и впоследствии переоткрытые независимо друг от друга и практически одновременно. Таким образом, в науке тоже может быть сформулирован постулат о закономерности развития, аналогичный постулату ТРИЗ: научные системы развиваются по объективно существующим законам. Эти законы познаваемы, они могут быть выявлены и целенаправленно использоваться для решения творческих задач в науке.

На исходе века девятнадцатого в России уже предпринимались попытки описать принципы системного подхода и к осмысленному изобретательству, и к развитию творческой личности, генерирующей

идеи. Дисциплину, устанавливающую и изучающую законы творчества, ещё в начале XX века развивал выдающийся теоретик инженерного дела Пётр Климентьевич Энгельмейер (1855–1942) в рамках своей «Философии техники». Он назвал эту специальную отрасль эврилогией [2] и выделил три стадии креативного действия. Вначале – на психологической стадии – формируется замысел, возникает идея, предчувствие мысли, интуитивное ощущение. Логический этап, осуществляемый в рамках рациональных мыслительных процедур, приводит к непосредственному получению знания. На третьем этапе – конструктивном – сформулированная чётко и доказанная мысль получает конкретное воплощение, реализуется в материальной форме.

«Сама жизнь, сама история неудержимо выдвигает инженера – этого поистине творца и руководителя хозяйства – из тесноты мастерских на широкую арену общественной деятельности и ставит его всё ближе и ближе к кормилу государства, и если пойти по стопам мудрого Платона и позволить себе мечту относительно идеального государства, то легко можно дойти до вывода, что... в современном государстве первенствующая роль неудержимо переходит к инженеру... Но если так, то инженер должен и готовиться к руководящей государственной роли, и готовиться сразу с четырех сторон, а прежде всего, конечно, со стороны технической в тесной связи с экономической и юридической. Но при этом нигде и никогда он не должен упускать из виду и этической стороны своей общественной функции... Вот в каком смысле, и на каком основании всё чаще и чаще раздаются авторитетные голоса, доказывающие необходимость сообщать инженеру уже в школе не одни технические познания, но и общую глубокую умственную культуру. Я бы сказал так, надо будущему инженеру сообщать: 1) фактические познания по технологии, экономике, законоведению, политике, психологии и этике; 2) кроме этого материала для мышления, надо дать ему возможность правильно пользоваться этим материалом, другими словами, выработать в нем мышление правильное, логическое, философское», – эти слова П.К. Энгельмейера актуальны сегодня как никогда, хотя сказаны они более века назад [2].

Одна из первых попыток – описать последовательный ход творческой инженерной мысли – по словам того же автора, была сделана немецким физиком и изобретателем Генрихом Мейдингером. Создатель печи медленного горения, он задался похожими вопросами в работе «Об изобретении» ещё в 1892 году. Мейдингер был весьма ода-

рён в разных областях знания. Так он предложил усовершенствовать гальванический элемент «для продолжительного и постоянного, хотя и слабого тока», с 1859 года и не менее полувека его батарея использовалась в электрических звонках и часах, а также на телеграфе. Мейдингер успешно решал проблему домашних «холодильников», исследуя смеси льда и поваренной соли.

Среди русско-советских естественников, предложивших системный подход к творческому процессу, следует назвать Александра Александровича Богданова (1873–1928). Свою «Всеобщую организационную науку» А.А. Богданов (Малиновский) разработал ещё до Первой мировой войны. В 1913 году вышло пионерское издание «Тектологии», в котором уже обсуждались понятия организации и дезорганизации, закономерности структурного преобразования и виды кризисов живых и технических систем в развитии, регулирующие механизмы, обеспечивающие их сохранение или уничтожение, описывалась тектология и методы разрешения системных противоречий. Тектология предвосхитила множество идей и подходов ТРИЗ, общей теории систем Карла Людвиг фон Берталанфи, кибернетики Ноберта Винера.

Доктор психологии и медицины Эдвард де Боно в книге «Использование латерального мышления» приводит следующий пример: «В течение многих лет физиологи не могли понять, зачем нужны большие витки на почечных сосудах. Предполагалось, что эти витки не выполняют особых функций, а являются просто реликтовыми образованиями. Но однажды инженер, взглянув на эти витки, тотчас же высказал предположение, что они представляют собой как бы часть противоточного конденсатора – давно известного технического устройства, предназначенного для увеличения концентрации растворов.

Эдвард де Боно разрабатывал независимые методы, исходя из постулата о том, что разум – это самоорганизующаяся информационная система. Он одним из первых заявил, что «наше мышление является гораздо более сложным процессом, чем просто следование определенным заученным алгоритмам, которые предопределяют, как нам следует мыслить в каждой конкретной ситуации».

Г.С. Альтшуллер имел перед собой несколько другую задачу, связанную с развитием процессов совершенствования объектов техники, рассмотрения их закономерного перехода из одного состояния в другое. Его в значительно меньшей степени интересовали психологические процессы, происходящие в мышлении изобретателя [1].

Строго говоря, само выражение «инженерное творчество» – тавтология, «инженер» суть синоним «творца», изыскивающего действенные способы достижения желаемого результата повсеместно.

Станислав Лем в «Сумме технологий» [2] указывал на определяющую роль инженера в создании новой реальности или переходе к ней. Эдвард Крик понимал инженерную задачу как требование перейти от одного состояния реальности к другому оптимальным образом, несколькими, возможно разными маршрутами. Изобретение всегда нацелено на выявление нового творческого принципа указанного перехода. Он подчёркивал: «Многие полагают, что большинство решений инженер находит, стоя у чертёжной доски. Это далеко не так. Большую часть своего времени инженер наводит справки, знакомится с литературой, изучает требования, обменивается мнениями, подбирает сотрудников. Поэтому умение поддерживать хорошие отношения с людьми и успешно сотрудничать с ними играет большую роль в работе инженера. Деятельность инженера в большой степени зависит от нужд общества, признания полезности его изобретений и того, как эти изобретения помогают людям. Эта заинтересованность вместе с экономической стороной деятельности инженера делают его работу не столь уже сугубо технической, как предполагают непосвящённые. Существует мнение, будто инженер большую часть своего времени делает то, чем обычно занимается техник или механик, или даже лаборант. Отнюдь нет! Инженеру чаще приходится мыслить абстрактно, обдумывать факты, вычислять и сопоставлять и реже иметь дело с конкретными приборами. Более того, макет разработанного инженером прибора собирают техники, поэтому даже в этом случае инженеру не всегда удаётся «поработать руками» [2].

Н.П. Абовский возвращается к формулировке проблемы, выдвинутой ещё нобелевским лауреатом, американцем Гербертом Саймоном: «Мир, в котором мы живем, в значительно большей мере является творением человеческих рук, чем природы: это гораздо более искусственный мир, нежели естественный».

Саймон в своей монографии приводит такие примеры. Естественное выступает перед человеком, как непосредственно данное; оно есть и изучается как таковое во всех его закономерностях («угол падения равен углу отражения»), качествах, свойствах и отношениях («Земля обращается вокруг солнца по эллипсу, в одном из фокусов которого находится солнце»). Искусственное – по его теории, – прежде чем стать таковым, должно быть создано (цемент и сталь из ми-

нерального сырья, продовольствие – из растительного и животного мира). Иными словами – оно должно быть спроектировано и произведено. В нём реализуется цель человека, оно функционально обслуживает его разнообразные потребности. Таким образом, «фокусом всей целенаправленной, продуктивной деятельности человека является решение задач, какими должны быть создание вещей и действия человека по достижению его целей. Между познанием человека, направленным на естественный объект, и познанием и деятельностью человека, направленными на создание искусственных вещей, есть существенное различие. Оно состоит в том, что, если в первом случае в нём преобладает анализ, то во втором – синтез» [2] .

Если углубятся века, то можно отметить таких величайших инженеров как Герон Александрийский, в первом веке до новой эры создавший паровую турбину реактивного типа, и тот же Архимед, чьи чудесные приспособления эффективно защищали Сиракузы от воинственных римлян, и, наконец, Леонардо да Винчи, кстати, наиболее полно сочетавший в себе два типа творческого гения – художественного и технического. Но, пожалуй, первым классическим примером инженера современного типа является американец Томас Алва Эдисон (1847–1931). Уникальное сочетание качеств делового человека, организатора инженерного процесса и изобретателя в одном лице! Ему принадлежат слова: «Я не исследую законы природы и не сделал крупных открытий. Я не изучал их так, как изучали их Ньютон, Кеплер, Фарадей и Генри для того, чтобы узнать истину. Я только профессиональный изобретатель. Все мои изыскания и опыты производились исключительно в целях отыскать что-либо, имеющее практическую ценность».

При всей американской прагматичности именно «фабрика изобретений» Эдисона взрастила и поддержала массу выдающихся, и даже гениальных, учёных и инженеров.

Эдисон с должной изобретательностью разработал несколько способов выявления инициативных и трудолюбивых сотрудников. Поразительный случай приводят Энди Бойнтон и Билл Фишер в книге «Виртуозные команды», когда Эдисон обратил внимание на амбициозного молодого клерка в принадлежащей ему адвокатской конторе. Френсис Джел, так звали этого юриста, мечтал стать полноправным участником эдисоновской «фабрики изобретений», ночами изучал химию и математику. «Эдисон сразу же поручил ему чистить и заряжать элементы примитивной батарейки – «грязную работу»

с использованием серной кислоты, веществ с неприятным запахом и замысловатыми хитросплетениями бесконечных проводов. По прошествии многих часов Эдисон сам проверил работу Джела: «Итак, я вижу, ты понимаешь, что к чему». И тот сразу же был принят на работу. Эдисон проверял мыслительные способности кандидатов, задавая им вопросы, на которые они либо не могли ответить, либо нуждались в дополнительном времени для раздумий. Ему же нужен был не точный ответ, а возможность понаблюдать, как человек размышляет и насколько он любознателен» [2]. Одна из классических историй – как Томас Эдисон дал задание математику Эптону определить объём колбы лампы накаливания. Эптон высчитывал объём около часа по своим сложным формулам с помощью интегралов. Не без самодовольства он явился к Эдисону и был посрамлён, когда изобретатель показал, как сделать то же самое за одну минуту. Эдисон погрузил колбу лампы в мерный сосуд с водой и определил погружённый объём по количеству вытесненной им жидкости.

В 1980-е годы, последнее десятилетие существования Советского Союза, как вспоминает вице-президент Международной ассоциации ТРИЗ Александр Владимирович Кудрявцев, «ускорение научно-технического прогресса, потребовало существенно поднять эффективность труда инженерно-технических работников, создателей новой техники. Повышение эффективности творческой составляющей труда предусматривает овладение широким спектром методических средств. К ним следует отнести и методы поиска новых технических идей и решений» [2].

Такая задача остаётся насущной и поныне, даже в гораздо большей степени, чем это было 20–25 лет назад.

Современный экономический рост опирается на интеллектуализацию основных этапов производства. По свидетельству экономистов на долю новых знаний, воплощаемых в технологиях, оборудовании, образовании кадров, организации производства в развитых странах, приходится от 70 до 85 % прироста ВВП.

Особенностью современного этапа социально-экономического развития стало широкое применение информационных технологий, многократно расширивших возможности генерирования и передачи знаний и, соответственно, НИОКР.

Интенсивность НИОКР и качество человеческого потенциала определяют сегодня возможности и уровень экономического развития – в глобальной экономической конкуренции выигрывают те ком-

пании, которые обеспечивают благоприятные условия для научно-технического прогресса и инженерно-технического совершенствования.

Современная экономическая наука выделяет настоящий временной период как пятый технологический уклад (1985–2035 гг.), он формируется на научных разработках в области биотехнологии, генной инженерии, информатики, микроэлектроники, активном освоении космоса, создании новых видов сырья.

Четвертый технологический уклад (1930–1990 гг.) базировался на развитии энергетики с использованием нефти и газа, применении атомной энергии, ракетостроении, кибернетике.

Быстрое расширение несущих отраслей пятого технологического уклада происходит, к сожалению, на импортной технологической базе, что лишает шансов на адекватное развитие ключевые технологии его ядра. Это означает втягивание российской экономики в ловушку неэквивалентного обмена с зарубежным ядром этого технологического уклада, в котором генерируется основная часть интеллектуальной ренты» [2].

1. ПРОЦЕСС ПРОЕКТИРОВАНИЯ ИЗДЕЛИЯ

1.1. Поиск информации и выявление требований к проектируемому объекту

Из всего многообразия работ в составе типовой технологии рассмотрим лишь комплекс, связанный с решением конструкторских задач, оставив в стороне вопросы макетирования, снабжения, оформления, изготовления опытных образцов.

Решение конструкторской задачи – это центральная часть конструкторской работы на всех ее стадиях и этапах. Естественно, уровень задач по ходу меняется: из сложных и комплексных они становятся простыми и частными, которые подчас не требуют проведения сбора и анализа информации – для их решения достаточно знаний разработчика и справочного материала. Для обобщения целесообразно рассмотреть технологию решения сложной и комплексной задачи на ранней стадии конструкторских работ [3].

Работа над задачей должна начинаться с анализа информации, которую подготовила информационная служба, заказчик и сам разработчик. Затем необходимо перейти к поиску и выработке решения, оптимизировать его и проверить. Такая последовательность действия максимально экономит труд и позволяет получить наилучшее решение.

За исходную позицию примем такое состояние работы, когда разработчик знает выпускаемое изделие, подлежащее замене, и имеет технические требования на создание нового; то есть располагает начальной и конечной точками пути. Не будем рассматривать случаи, когда разработчик не знает выпускаемое изделие (нет исходной точки) или отсутствуют технические требования к новому изделию (нет конечной точки), так как в том и в другом случаях определение их составляет самостоятельную задачу. Разработчик должен перевести проект от исходной точки к конечной, а начинать следует с изучения информации.

Методика изучения должна строиться на принципе максимальной экономии средств. А. Уилсон и М. Уилсон пишут, что издержки на эту работу до сих пор изучались недостаточно, так как очень трудно установить стандарты на выполнение необходимых для этого операций [3].

Согласимся, что трудно, но предпримем попытку расчленить всю подготовку на отдельные виды работ и установить их последовательность.

Наиболее эффективным изучение информации будет в том случае, когда вначале рассматриваются требования к новой конструкции, затем анализируется выпускаемое изделие, рассматриваются журналы, каталоги и образцы, лишь потом патенты и в последнюю очередь изучается состояние разработок в смежных отраслях.

Эта последовательность характеризуется движением от прошлого к будущему. Она обеспечивает возможность прекратить поиск в случае обнаружения решения, удовлетворяющего поставленным требованиям. При этом найденное решение будет более проверенным, чем в любом ином случае.

Появляется возможность планировать создание и использование определенных массивов информации в зависимости от новизны разработок. Так, при разработке нестандартного оборудования, когда заданные параметры в принципе близки к существующим, не следует проводить ни поиск патентной информации, ни изучение разработок в смежных отраслях техники – они себя не оправдают. Но при создании нового изделия, предназначенного для серийного производства, необходимо выполнить полный объем подготовительных работ.

Наиболее целесообразным путем в этой работе является движение от общих вопросов, находящихся на поверхности, к частным, спрятанным в глубине, с периодическим возвратом к просмотренным источникам. Это путь по спирали.

В процессе труда над задачей сбор, анализ и переработка информации непрерывно переплетаются. В этом переплетении ярко проявляется диалектика творчества. Например, задание на разработку нового изделия невозможно сформулировать, не имея предварительной информации, но, сформулировав его, необходимо вновь продолжить поиск информации, чтобы найти решение. Перед началом проектирования разработчик должен собирать информацию для решения вопросов общего характера, определяющих параметры будущего изделия. По мере продвижения проекта задачи разветвляются, конкретизируются. Идет процесс формулирования частных задач. Каждую из них нужно подвергнуть анализу, а для решения также изыскать информацию. Однако методы сбора и анализа информации для решения частных задач аналогичны методам, принятым при подготовке к проектированию.

Источниками возникновения технических требований к объектам новой техники являются результаты научных исследований, новые технологии, итоги изучения, анализа развития отечественной и зарубежной техники. Наиболее трудно оценить уровень требований, поступающих из различных отраслей народного хозяйства со стороны и из сферы, относящейся к обороне страны. Остановимся на них.

Анализ технических требований следует начинать с оценки реальности их осуществления. Это не значит, что для разработчика решение всех проблем должно быть очевидным или уже известным.

Требования могут быть противоречивыми, (например, повысить надежность и одновременно уменьшить габариты) это значит, что известные технические решения не подойдут, придется искать иные и скорее всего новые.

Оценка реальности требований означает, что разработчик должен определить научную обоснованность и возможность выполнения их средствами современной техники и технологии, которыми располагают НИИ, КБ и заводы-изготовители. Следует учитывать, что эти возможности специфичны для каждой отрасли и производства. Например, в часовой промышленности широко применяется механическая обработка мелких изделий, обеспечивающая их высокую точность, в приборостроении она используется наряду с штамповкой, в электроаппаратостроении – в основном только штамповка, обеспечивающая лишь низкие классы точности. Попытка внедрить технологию часовой промышленности в электроаппаратостроение может вызвать большие затруднения, вызванные необходимостью приобретения оборудования, переквалификации рабочих и инженерно-технических работников.

Технология производства даже в одной отрасли, но в разных странах может существенно отличаться. Например, для низковольтного аппаратостроения ФРГ характерно использование высокоточной механической обработки, как в часовой промышленности, а для США сравнительно грубой штамповки.

Технология электроаппаратостроения, принятая в отечественной промышленности, ближе к технологии в США, и, как следствие, технические решения в отечественных аппаратах ближе к принятым в США.

Путь снижения габаритов электроаппаратуры за счет использования высокоточных технологических процессов как в ФРГ будет плохо оправдан в отечественной промышленности.

Реальность требований не равнозначна их целесообразности. Ведь бывает и так, что современная наука и техника имеют средства для осуществления технических требований, но экономически это не выгодно или на данном этапе развития смежных отраслей преждевременно.

Например, в требованиях к специальным пакетно-кулачковым переключателям, предназначенным для установки на объекте в качестве вводных аппаратов (разъединителей), было указано, что коммутационная износостойкость их должна быть не ниже 200 тыс. циклов. Это вполне реальная величина. Но, чтобы ее достичь, необходимо затратить немало серебра, которое, как известно, относится к остродефицитным материалам. Вводные аппараты включают и отключают электрические цепи без нагрузки и лишь в случае аварии должны иметь возможность разорвать цепь при протекании тока. За все время эксплуатации это может произойти считанное число раз. Следовательно, не нужна высокая коммутационная износостойкость.

Заказчики довольно часто по разным соображениям завышают отдельные требования к изделиям, что неизбежно приводит к удорожанию конструкции. Однако бывают и случаи занижения требований. Заказчик не всегда учитывает уровень, достигнутый отраслью. Естественно, что долг разработчика отстоять параметры, наилучшим образом удовлетворяющие потребителя.

Новое изделие должно быть оптимально прогрессивным. От этого зависит длительность его выпуска до морального старения.

На первый взгляд может показаться, что разработчики призваны стремиться к максимальной прогрессивности изделия, добиваться его экономической выгоды для государства в течение обозримого выпуска (например, 15 – 20 лет) Но в действительности нужно учитывать, что разработка такого изделия может быть чрезмерно длительной. Поэтому иногда выгоднее выпустить конструкцию, имеющую меньшую прогрессивность, предусмотрев возможность ее модернизации. Оптимальная прогрессивность новых изделий обуславливается длительностью их жизненного цикла. Для тех, у которых он соответствует 10 годам, прогрессивность должна определяться наиболее достоверным среднесрочным прогнозом развития техники, равным 5 – 7 годам. Принцип очень прост: параметры нового изделия должны быть не ниже уровня, обеспечивающего их конкурентоспособность через 7–10 лет.

Бывают случаи, когда разработчику трудно определить, каков будет этот уровень. Тогда целесообразно использовать известные методы прогнозирования. К ним относятся экстраполяция, изучение влияния отдельных факторов и экспертная оценка.

Прежде всего, необходимо провести экстраполяцию. Она легко доступна и наглядна, однако может дать не точный прогноз из-за влияния неучтенных факторов

Эрих Янч, австрийский прогнозист, выделяет четыре группы кривых, отражающих различные тенденции. Первая группа включает в себя линейное возрастание параметра с затуханием в конце периода (например, уровень механизации ручного труда за последние 75 лет). Вторая – экспоненциальный рост без насыщения или с насыщением (например, скорость полета военных самолетов), третья – удвоенный экспоненциальный рост с последующим насыщением (рост производства ряда изделий), четвертая – первоначально медленный, затем резкий экспоненциальный рост с последующим насыщением (мощность атомных бомб).

По какому пути пойдет развитие исследуемого параметра, не всегда ясно.

Точность вывода, полученного с помощью экстраполяции, может быть повышена путем сочетания его с качественным анализом, методом экспертных оценок, сценария и итерации.

Для особо сложных ситуаций можно использовать предложенный В.М. Глушковым метод прогнозирования, представляющий собой, по существу, прием декомпозиций с использованием дерева целей. Суть его заключается в том, что окончательная оценка прогнозируемого параметра получается путем постепенного перехода от частных (составляющих) показателей и их вероятности к искомому.

Еще недавно методы прогнозирования не применялись при оценке параметров проектируемого изделия, так как темпы технического прогресса были невелики, и разработке не угрожало преждевременное моральное старение. И сейчас в ряде отраслей не придают этой работе должного значения.

Ныне при резком возрастании темпов технического прогресса и объемов научно-исследовательских и конструкторских работ во всех отраслях техники применение методов прогнозирования для обоснования заданных параметров является необходимым.

Эту работу должны выполнять не только разработчики изделия, но и заказчики, по крайней мере, по интересующим их параметрам.

Насколько это важно, можно продемонстрировать на примере. Вновь созданный станок для полирования мебели, имевший ряд патентоспособных конструкторских решений, выпускался всего два года, так как был разработан для устаревшего метода полировки.

Прогрессивность конструкции иногда определяется конъюнктурой рынка. Изменение спроса может привести к быстрому моральному старению техники.

Это наиболее характерно для изделий бытовой техники, сбыт которой в значительной мере зависит от капризов моды. Например, при нынешней высокой обеспеченности наручными часами и их дешевизне потребность в отдельных марках часов может вдруг упасть из-за перемены моды. Так, в середине 80-х годов на смену весьма плоским часам пришли необыкновенно высокие. Изменение конъюнктуры рынка может сказаться на прогрессивности изделий, в большей или в меньшей мере связанных с бытовой техникой. Попутно заметим, что прогнозирование изменения спроса на товары бытовой техники представляет собой большой и сложный вопрос, которым занимаются соответствующие институты.

При анализе заказа важно проверить также полноту требований. Если в заказе изложены не все требования, то нужно обязательно выяснить причины их отсутствия. Разработчик не может пользоваться неосведомленностью заказчика, так как впоследствии это вызовет переделки проекта. Был случай, когда в задании на разработку аппарата, предназначенного для оборонной техники, не указали, что на него возможен наезд танка. Закончилось тем, что уже готовое изделие пришлось переделывать заново, и это привело к значительному удорожанию проекта.

Обязательным является установление заказчиком лимитной цены на изделие с тем, чтобы избежать недоразумений после завершения работы. Реальность достижений этой цены может быть выявлена сопоставлением новых требований с уровнем параметров заменяемого изделия и технологии производства на будущем заводе-изготовителе с бывшим.

Следующий вопрос, на который обращает внимание разработчик при анализе технических требований, – это определение границы использования нового изделия. Для этого нужно проанализировать, соответствуют ли друг другу важность функций и затраты для их осуществления, кроме того, полезно всесторонне рассмотреть все ограничения, связанные с применением будущей конструкции. Если

появляется возможность расширить область применения нового изделия, то следует определить экономическую целесообразность этого расширения и уже потом принимать решение об изменении технических требований.

В конце всей работы оценивается возможность выполнения заказа в предлагаемый срок. Необходимо иметь в виду, что короткий срок снижает глубину проработки и качество конструкции. Большой – уменьшает время жизни изделия, так как технические идеи ежегодно устаревают в среднем на 10 – 20 процентов, а в некоторых отраслях и того быстрее.

Итогом проведения анализа требований должно быть некоторое понимание сложности и новизны предстоящих задач: какие требования могут быть выполнены без изменения или с небольшим изменением конструкции, какие потребуют существенного изменения, и, наконец, какие неизвестно как выполнить.

После утверждения технического задания делается первый шаг для его выполнения. Этот шаг направлен в прошлое. Каждая новая разработка – это небольшое движение вперед по сравнению со всеми предшествующими. Лишь рассмотрев все достоинства и недостатки старой модели, можно четко определить конкретные препятствия, которые нужно преодолеть для создания новой. Разработчик должен изучить отзывы о выпускаемом изделии, наличие и причины рекламаций, рынок сбыта и перспективные потребности народного хозяйства. Следует обратить внимание на то, куда направлен основной объем выпуска – на замену изношенных изделий или на расширение области их потребления.

Заменяемое изделие разработчик анализирует всесторонне и обязательно с точки зрения новых требований. Ему нужно знать об этом изделии все: эксплуатационные качества, технологичность, надежность, долговечность, экономические показатели, внешний вид и т.д.

«Разрушение» нужно вести постепенно, начиная с наиболее крупных частей (агрегатов, блоков, узлов) и кончая отдельными деталями и даже элементами деталей.

Это позволит установить, какие части конструкции подойдут к новому изделию либо без переделки, либо с очень небольшими изменениями. При этом особое значение имеет использование отечественных изобретений, применявшихся ранее, и на которые еще не истек срок действия.

Иногда бывает полезным изучение предшественника заменяемого изделия, которое показывает, по какому пути шли разработчики. Исследованию подвергаются вначале принципиальные схемы, а затем и элементы конструкции. Определяется, почему именно такое решение принято в данном изделии, являлось ли оно прогрессивным в свое время или обусловлено иными соображениями (например, сделано в обход чужого патента). Если есть возможность, то проводятся испытания заменяемого изделия до разрушения с целью выявления его действительных параметров, так как в технических условиях указываются величины, отличающиеся от максимальных на разные коэффициенты запаса.

Необходимо изучить отзывы возможно большего числа работников. Наиболее важную оценку, каждый со своей точки зрения, дают изделию специалисты, имеющие с ним дело в производстве и эксплуатации.

Требования производства лучше всего понять, основываясь на глубоком знании технологических возможностей данного предприятия, его узких мест, характера исправимого и неисправимого брака, основного направления рационализаторских предложений, рекламаций.

Опыт эксплуатации изучить значительно труднее. Обычно изделия эксплуатируются в разных местах страны, подчас удаленных от места производства. Культура эксплуатации неодинакова. Все это требует сбора достаточно представительного статистического материала. Кроме того, необходимо посещать предприятия, эксплуатирующие изделия, проводить сбор сведений путем рассылки специально подготовленных анкет.

Сопоставление уровня требований к новому изделию с техническими и экономическими показателями выпускаемого позволяет в какой-то мере установить, какие узлы и детали выпускаемого изделия могут остаться без переделки или измениться не принципиально. Это явится главным итогом анализа выпускаемого изделия.

Работа над информацией, как правило, начинается с изучения вторичных документов – аналитических обзоров, аннотаций, рефератов, библиографий, подготовленных информационной службой. К первичной информации следует обращаться лишь после полного ознакомления с вторичной.

Прежде всего, нужно ознакомиться с наиболее свернутой и ценной информацией – аналитическим обзором. Из него разработчик узнает о состоянии дел в интересующей его области техники. Затем можно перейти и к другим документам.

Библиография указывает разработчику на область поиска и источник информации. Аннотации позволяют найти источники, отвечающие на частные вопросы, о которых не сказано в заголовках статей и книг. Рефераты дают возможность изучить и сопоставить наиболее важные технические данные, принципы работы.

Теперь разработчик может обратиться к первоисточникам. Заметим, что в общем объеме используемой информации книги и брошюры занимают не более 15–20 процентов, а 60–70 процентов приходится на периодические издания, так как они по сравнению с книгами в 2–3 раза быстрее сообщают сведения о научно-технических достижениях [3].

Очень важно для разработчика ознакомление с фирменными каталогами, рекламными проспектами, издаваемыми с определенной периодичностью. С их помощью можно изучить технические параметры выпускаемых за рубежом изделий, увидеть их внешний вид и компоновку.

Несколько меньший, но вполне реальный эффект приносит изучение отраслевых научно-технических журналов и журналов, издаваемых за рубежом. Недостатком является то, что информация в них рассредоточена и редко совпадает с проблемами, стоящими перед разработчиком. Однако, если найдена полезная статья, то она может заметно повлиять на ход его мыслей.

Особенно хороший результат приносит сопоставление научных статей с каталожными и рекламными данными. В статьях сообщается методика решения отдельных проблем. Это помогает увидеть в каталогах и в других источниках конструктивное оформление принятых принципов работы и сопоставить методы с полученными результатами.

Наибольшую информационную ценность представляют собой образцы выпускаемых изделий. Изучение их дает самые точные и не публикуемые в печатной информации сведения о принципе, конструкции, соотношениях отдельных элементов, материалах. Образцы можно испытать и таким образом проверить реальность рекламируемых данных.

Однако было бы ошибочно думать, что на этом этапе изучения разработчик сможет воспринять всю информацию, которую могут дать образцы. Это не удивительно, если учесть, что на создание изделия были затрачены годы. И информация, которую оно дает, не всегда явно выражена. Разработчик может не увидеть или не понять отдельные элементы. Об этом же говорит и теория информации. Необходимо учитывать зависимость усвоения информации, содержащейся в сообщении, от степени развития знаний в области техники, к которой относится сообщение. Она изображается в виде кривой, имеющей максимум, и объясняется так: малый уровень знаний не позволяет усвоить всю информацию, а избыточный объем знаний оставляет неиспользованной часть информации, которая дублирует ранее полученные сведения. Каждый разработчик на своем опыте знает, что, рассматривая чертеж или образец изделия, он видит отдельные тонкости только тогда, когда сам предварительно думал о том, как решить подобные проблемы.

Таким образом, на этапе подготовки к разработке целесообразно, с точки зрения экономии времени и средств, выявление основных параметров изделий, определяющих уровень техники и путей их достижения. Более длительное и глубокое изучение дает малый эффект, так как у разработчика не сосредоточено внимание на тех элементах конструкции, разработка которых, как окажется в дальнейшем, будет для него наиболее сложной. Разработчику еще не раз придется возвращаться к просмотренной информации, к образцам, вникать в самые мелочи, сопоставлять и определять, каким путем были решены отдельные задачи, и искать свой путь.

По ходу разработки необходимо все время сопоставлять полученные результаты с известными достижениями в этой области. Но на этом этапе можно ограничиться определением соотношения технических требований с параметрами лучших отечественных и зарубежных образцов. От этого зависит, нужно ли изобретать или достаточно заимствовать отдельные узлы из аналогичных изделий. Это и будет главным итогом данной работы.

При сопоставлении важно учесть, что за рубежом, даже в технически развитых странах, отдельные изделия являются далеко не лучшими в мире. Они не могут служить критерием. Сравнение ведется с самыми лучшими образцами, но при этом приходится учитывать, что отдельные фирмы иногда завышают паспортные данные из сооб-

ражений рекламы. Это особенно часто проявляется в отношении трудно проверяемых показателей, таких как износостойкость, долговечность.

Следует определить динамику роста параметров в изделиях зарубежных фирм. Это покажет, насколько правильно выданы технические требования к новому изделию и будут ли они отвечать уровню, которого достигнут зарубежные изделия в период серийного выпуска нового изделия.

При сопоставлении параметров нового изделия с лучшими образцами нужно учитывать, что сроки разработки и налаживания производства новой конструкции, связанной с внедрением патентов, сократились, – если в 60–70 годах на это уходило в среднем 7 лет (нейлон – 11 лет, радар – 10, полупроводники – 6, реактивные гражданские самолеты – 5, эпоксидные смолы – 3 года), то сейчас срок снизился вдвое [3].

Поэтому при разработке новых изделий ориентация только на существующие образцы может привести к тому, что к моменту организации серийного производства проектируемое изделие устареет. Это положение обязывает уделять большое внимание изучению патентной информации, так как она дает более поздние сведения. Нужно знать, что запатентовано в передовых странах в данной области.

В общем объеме опубликованных документов, определяющих официальный уровень техники, доля патентной литературы составляет 30 %. Патенты, как правило, выдаются на отдельные узлы и элементы конструкции. Даже в тех патентах, в которых защищается изделие в целом, отличительным признаком является оригинальное решение частной технической задачи. Для того, чтобы изучение патентов принесло максимальную пользу, разработчик должен «прочувствовать» эти частные задачи. Поэтому желательно перед изучением патентной литературы сделать некоторые эскизы, продумать, какие вопросы являются наиболее сложными, какие узлы, механизмы сдерживают развитие данной техники.

Изучение информации на этом этапе работы (предметный поиск), ведется с целью отбора готовых решений, выявления развития данной области техники, поиска путей преодоления выявленных технических противоречий.

Патентоведы выделяют в общей массе изобретений пионерские (открывающие принципиально новые пути создания техники), крупные (дающие большой технико-экономический эффект), переносные

(использующие известные решения в новой области), комбинационные (дающие эффект благодаря оригинальной комбинации известных элементов). Эта классификация позволяет оценить уровень изобретения. Чаще всего встречаются изобретения, решающие локальные задачи улучшения отдельных узлов и даже деталей изделий, их можно назвать незначительными. Это позволяет сравнительно быстро находить собственные технические решения в обход таких изобретений.

Разработчик должен ответить на вопрос, решалась ли где-нибудь в мире данная конкретная задача, и если да, то каким способом. Если нет, то какие сведения могут помочь ее решению. Полезные сведения нужно записать, а на конструкцию сделать эскиз.

Заимствование готовых решений на данном этапе можно рассматривать как создание временных опорных точек, которые в дальнейшем подтолкнут на новые технические идеи.

Изучение патентов с целью определения уровня развития техники должно дать полную информацию о том, что уже достигнуто в этой области, какие элементы и технические решения по профилю задания охраняются, а какие уже стали общим достоянием. В процессе изучения патентной информации нужно выяснить динамику появления патентов по данной теме за период, прошедший со времени прошлой разработки.

Рост числа изобретений говорит не только о расширении работ, но и о возможности развития данной области техники по неизвестным путям.

Одним из наиболее важных вопросов является определение значимости и достоверности информации о запатентованных объектах, установление наличия или вероятности промышленного внедрения. Разработчик должен определить, на какой стадии освоения находится описываемое в патенте изделие: имеется только принципиальное решение, разработаны чертежи или создана машина в металле и начат ее выпуск. Целесообразно определить значение ее по сравнению с другими изделиями аналогичного назначения. Степень достоверности необходимо установить как в отношении принципиальных положений, так и в отношении второстепенных моментов. Это поможет определить, как использовать указанную информацию.

Таким образом, предметный поиск дает информацию об основных фирмах мира, работающих в данной области техники, характеризует перспективы развития этой области и исследований в ней на многие годы вперед, фиксирует внимание на охраняемых патентами

технических решениях и тем самым одновременно указывает открытые в патентном отношении пути для свободного поиска идей. Передовые рубежи «задела» изобретений характеризует уровень технических разработок, прошедших 3 – 5 лет. Этот уровень достаточно стабилен, так как соответствует сроку оформления и публикации патентов.

Однако даже знание этого уровня является недостаточным для создания наиболее совершенной и конкурентоспособной промышленной продукции, а также для эффективного планирования разработок.

Конструкции, почерпнутые из отечественных авторских свидетельств и зарубежных патентов, обычно более современны, но проверенность этих решений ниже, чем у освоенных в производстве, а трудоемкость разработки значительно выше.

Количество издающейся информации о технических достижениях, измеренное во времени, имеет вид бегущей волны. Начало ее находится на глубине двух-трех лет, а конец – восьми-десяти от текущего времени. На этой глубине реально ведут поиск все информационные службы научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро. Этот диапазон не может удовлетворить разработчика. Ему нужно знать о самых последних достижениях.

Естественно, первостепенными являются вопросы, касающиеся разрабатываемой техники. Самые острые из них – в каком направлении ведутся разработки. Когда на мировой рынок будут выброшены новые изделия ведущих иностранных фирм и на много ли они будут превосходить нынешние?

На эти вопросы никто никогда прямого ответа не получает. Его можно синтезировать только на основе анализа многих факторов, среди которых: длительность выпуска изделия, сроки замены, интенсивность выдачи патентов, уровень параметров, уровень отрасли, изменение спроса и рынка сбыта, резервы мощности производства, мощность научной и экспериментальной базы.

Второй круг вопросов касается состояния дела в смежных отраслях промышленности. Этот круг вопросов особенно актуален, когда в данной отрасли наша страна выпускает изделия выше мирового уровня.

В машиностроении практически нет таких проблем, тем более среди крупных, которые были бы специфичны только для одной отрасли. Например, проблемами улучшения контактов штепсельных

соединений в электрических цепях занимается электроника, радиотехника, автомобилестроение, электротехника, приборостроение. Всегда можно определить ведущую отрасль, как правило, оснащенную лучше иных, хотя это не значит, что в остальных нет оригинальных разработок. При этом традиционные методы решения задач в одной отрасли могут оказаться оригинальными для другой.

Незнание состояния дел в смежных отраслях может привести к курьезным случаям. Так, электронная промышленность приобрела лицензию на высоконадежное штепсельное соединение за рубежом, в то время как в автомобильной промышленности было разработано соединение более высокого качества.

Третий круг вопросов связан с изучением состояния дел у поставщиков. Какими будут комплектующие изделия ко времени освоения выпуска разрабатываемого? Какие появятся материалы? Нельзя ли повлиять на ход разработок, с тем, чтобы были учтены особенности разрабатываемого изделия? Например, во вновь разрабатываемых электрических аппаратах обязательно следует использовать новые виды пластмасс, которые будут осваиваться в производстве одновременно с началом выпуска новых аппаратов. Это позволит применить прогрессивные технологические процессы: уменьшить толщину стенок деталей, улучшить дугогашение, так как некоторые новые пластмассы и разрабатываются с целью лучше удовлетворить требования электротехники, а другие можно приспособить.

На стадии подготовки к разработке изучение всех рассмотренных вопросов позволяет понять, как могут быть в дальнейшем использованы достижения и опыт многих коллективов с тем, чтобы собственные усилия сосредоточить на главном направлении.

Получение сведений о текущих разработках идет главным образом по каналу устной информации с обратной связью. С его помощью специалисты получают до 40 % от всей информации и, естественно, практически всю информацию о ходе разработок, так как ни один НИИ не опубликует каких-либо официальных сведений и гарантий по неоконченной теме. Личный контакт позволяет уточнить многие промежуточные результаты, не получившие отражения в отчетах, и по завершённым темам, выяснить технику эксперимента, технологию, особенности поиска.

Это делает личное общение между разработчиками одним из самых эффективных путей получения новейшей информации.

Следует заметить, что личные контакты являются основными и среди специалистов США. Обследование деятельности научных ра-

ботников и инженеров, выполненное службой информации Министерства обороны США, показало, что более чем в 50 % случаев специалисты в поисках информации прибегают к личным контактам. Однако в США обмен опытом происходит в основном внутри фирм. Между конкурирующими фирмами он отсутствует.

Личное общение достигается главным образом командировками на интересующие предприятия и организации, но, кроме того, следует использовать любые возможности, чтобы выяснить интересующие вопросы. Необходимо принимать активное участие в конференциях, семинарах, не упускать возможность обмениваться опытом на совещаниях.

Конструкции, почерпнутые из опыта других отраслей, из незавершенных разработок, наименее проверены и обычно требуют больших затрат труда для «подгонки под свои условия». Этим заканчивается использование готовых решений из различных источников.

Пять описанных различных путей получения информации, необходимой для решения задачи, можно рассматривать как пять ступеней информированности разработчика. Каждая новая ступень дает информацию не только по специфическим вопросам, но и определяет общий уровень информированности разработчика. Так, не изучив опыт эксплуатации существующего изделия, невозможно учесть специфику конкретных условий, в которых будет эксплуатироваться новое изделие, не изучив патентную информацию, невозможно учесть зарубежные достижения и легально обойти чужие патенты. Лишь пройдя все основные ступени накопления информации, разработчик может создать изделие на уровне лучших достижений в технике. Безусловно, немалое значение имеют другие методы получения информации наблюдение природных «конструкций», изучение с помощью бионики живых «механизмов». Однако эти методы побочные и не могут регламентироваться.

1.2. Этапы создания нового изделия

Итогом подготовки к решению общей задачи является расчленение ее на более простые задачи, решение части которых может быть заимствованно из выпускающейся конструкции, части из образцов и различной информации, часть потребует новых изысканий. Конечно же, последняя часть требует наиболее сложной работы, определяющей успех решения всей комплексной задачи.

Перспективный уровень изделия, к которому должен стремиться разработчик, теперь выглядит в виде множества частных задач, которые можно решать последовательно. Получение четкого понимания последовательности решения отдельных задач является не менее важным итогом подготовительной работы. Разработчик с достаточным основанием составляет схему замещения более или менее детальную, это зависит от глубины и тщательности информационной подготовки. Например, можно предусмотреть пять градаций:

- В – использование выпускаемой конструкции,
- А – разработка на основе информации об аналогах,
- П – разработка на основе патентных материалов,
- С – разработка на основе достижений в смежных отраслях,
- Н – поиск новых решений.

Схему замещения удобно построить по узлам изделия, например, так, как показано ниже (табл. 1.1) [3].

Схема замещения является рабочим документом главного или ведущего конструктора, может меняться и не подлежит утверждению вышестоящими организациями. Однако его намерения должны быть известны руководителям и обсуждены с учетом сроков работы и отпущенных средств.

Таблица 1.1

Схема замещения

№ узла	Наименование	В	А	П	С	Н	Примечание
ХК 681 589	Корпус	+					
ХК 443.582	Расцепитель			+			а.с. №854679
ХК 397 649	Камера дугогашения		+				по типу АК50
ХК 768 428	Катушка				+		НИИРК
ХК 967 879	Нагреватель					+	

Схема замещения дает достаточное представление о том, что будет нового в проекте. Естественно, что разработка обычно начинается с решения задач, касающихся новых элементов и их связи с теми, которые остались от прежнего изделия. Новые элементы могут быть внесены в отдельные детали, узлы или в принципиальные схемы.

Работа должна начинаться с наиболее существенных изменений. Если же начинать с несущественных вопросов, то даже небольшие изменения, внесенные в дальнейшем в принцип работы изделия, мо-

гут привести к тому, что необходимость в намеченных к усовершенствованию узлах или деталях отпадает, они попросту окажутся ненужными. Таким образом, главными являются задачи, которые дают наибольшие изменения по отношению ко всему изделию независимо от уровня их новизны. Поэтому порядок при разработке новых изделий состоит в движении от общих задач к частным. Обычно разработка начинается с определения принципиальных схем: кинематической, электрической, гидравлической и пневматической. В результате создается «скелет» изделия. Затем схемы обрастают материалом, решаются вопросы компоновки, внешнего вида, прорабатываются отдельные агрегаты, узлы и после всего – детали. Этот процесс связан с углублением анализа, в результате которого возникают новые задачи. Постепенно выявляется сложность каждой из них. Одни задачи даются легко, а для решения других нужен длительный поиск. Но подход к решению любых задач должен быть один – вначале использовать известные методы, и только в том случае, когда они не приносят успеха, искать еще неизвестные пути решения. Не изобретать то, что не требует изобретения.

Наибольшую ценность для производства представляют элементы конструкции, которые удалось оставить без изменений; несколько меньшую – те, которые частично пришлось изменить; еще меньшую – такие, которые полностью изменены, но используют освоенную технологию, и самую малую ценность составляют совершенно новые элементы, для изготовления которых нужно осваивать новую технологию.

Исходя из перечисленного, главным творческим приемом конструктора является поиск аналогий. Вначале он стремится использовать наиболее близкие аналогии и лишь в случае неудачи отступает, стремясь остановиться на уровне, который обеспечит хоть какую-либо преемственность.

Разработчик должен попытаться мысленно представить наилучшее решение и продумать путь, который может привести к нему; выяснить, что мешает осуществить это решение. В результате формируется задача второй ступени: как преодолеть возникшие помехи, какие средства или пути наиболее эффективны в преодолении этих помех.

Моральное право изобретать конструктор имеет лишь тогда, когда поставленная перед ним задача ни одним из известных путей не решается.

Как правило, такие задачи возникают при создании новой техники, которая должна быть патентоспособной. Создать патентоспособное изделие – это значит затратить значительный объем труда на поиск существенно новых решений, которых еще нет в мировой практике, а, следовательно, и неясна их полезность и приемлемость.

Переход остаточной неопределенности в информацию неоднозначен. Разработка проекта может идти по многим путям. Это обусловлено: во-первых, наличием смежных явлений в природе, позволяющих получить требуемый результат, используя различные устройства, во-вторых, возможностью из одних и тех же элементов строить различные структуры, в-третьих, возможностью в одинаковых структурах использовать различные материалы.

Ниже (табл. 1.2) приведен перечень некоторых смежных явлений, характеризующий возможность перевода механических устройств в электрические, гидравлические и пневматические.

В арсенале разработчика есть целые системы, имеющие ту или иную аналогичность. Этим систем множество, и наука продолжает открывать все новые. Показательны в этом отношении часы. Какие только системы не применяются для измерения времени: солнечные часы, механические с маятником Гюйгенса, кварцевые, электронные, атомные, водяные и песочные.

Таблица 1.2

Смежные явления в природе

Механика	Электротехника	Акустика, гидравлика, пневматика
Сила	Напряжение	Давление
Смещение	Заряд	Объем
Скорость	Ток	Объем потока
Масса	Индуктивность	Масса потока
Податливость пружин	Емкость	Емкость
Трение	Сопротивление	Сопротивление (сокращение)

Для того, чтобы решить сложную задачу, разработчик должен выявить методы перевода одних явлений в другие и сгруппировать системы, получить нужную схему, а затем это воплотить в чертежи.

В качестве примера удачного использования смежных явлений, переходящих одно в другое, покажем принцип работы магнитной отводки, предназначенной для открывания замка двери лифтовой шахты при подходе кабины лифта.

Перед разработчиками была поставлена задача сконструировать этот аппарат в морском исполнении для океанских многопалубных судов. Это означало, что аппарат должен быть защищен от попадания влаги, работать в условиях качки, вибрации, и, кроме того, заказчик требовал, чтобы была обеспечена его бесшумность.

Эта комплексная задача была решена так: якорь сделали составным из магнитной и немагнитной частей, благодаря этому стало возможным вывести оба его торца за пределы катушки электромагнита, на свободные торцы одели резиновые гофры, таким образом отделили полностью внутреннюю часть аппарата от наружного воздуха. Воздух, находящийся внутри аппарата, перекачивался из правой гофры в левую и наоборот. Для смягчения удара предусмотрели воздушный дроссель, который уменьшил скорость перемещения якоря и полностью ликвидировал шум.

В ходе разработки был апробирован ряд вариантов, использующих гидравлические схемы, электронные устройства, но они оказывались либо более сложными, либо менее надежными (рис. 1.1).

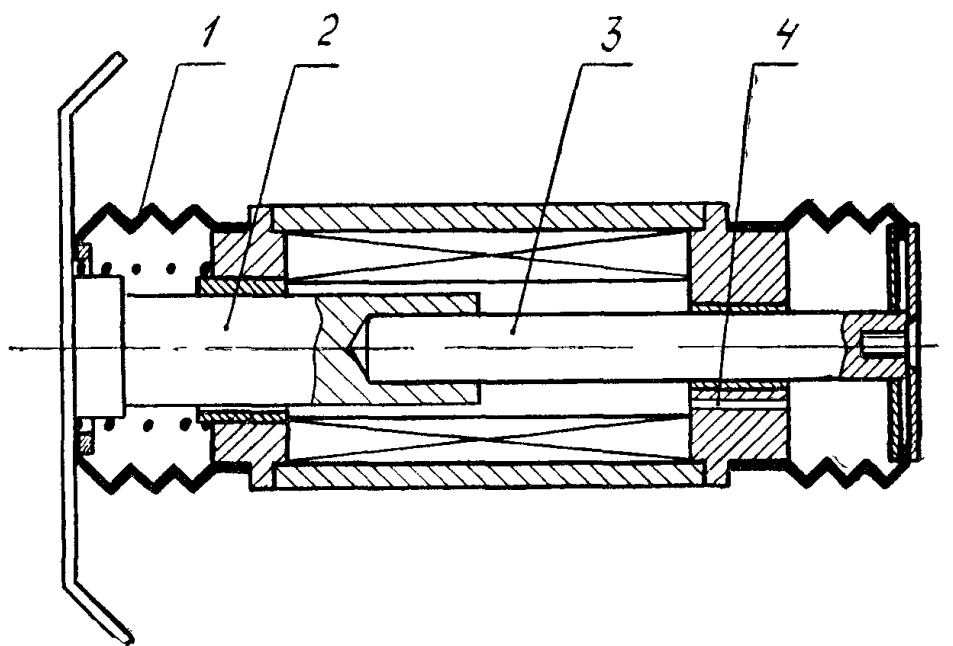


Рис. 1.1. Магнитная отводка:
1—резиновая гофра, 2—магнитная часть
якоря, 3—немагнитная часть якоря, 4—дросселирующее отверстие

Практически при решении любой задачи имеется широкая возможность комбинирования различных элементов конструкции, дающая некоторое количество жизнеспособных вариантов, среди которых можно выбрать лучший.

Необходимость разработки нескольких вариантов конструкции обосновывается также отсутствием критериев оценки качества новой структуры изделия.

Как можно определить, что данный вариант является лучшим? Ведь для этого не годно ни сравнение новой структуры со старой, ни выявление, насколько новая удовлетворяет поставленным требованиям. Единственная возможность оценить качество новой структуры заключается в сопоставлении нескольких вариантов.

Вариантом следует считать альтернативное конструкторское решение, конкурентоспособное по отношению к другим.

Количество вариантов, которое способен создать конструктор, лимитируется знаниями и способностями, то есть квалификацией. Однако в большинстве случаев нет необходимости разрабатывать максимально возможное число вариантов. Естественен вопрос – сколько же целесообразно сделать вариантов, чтобы решить задачу? Ответ может быть единственным столько, сколько нужно, чтобы решение соответствовало поставленной цели. В реальной практике для простых задач ограничиваются двумя, тремя вариантами, а для сложных – несколькими десятками. Иногда самый первый вариант оказывается приемлемым, но чтобы оценка была объективной, создаются еще несколько вариантов, которые можно охарактеризовать как «страховочные», демонстрирующие, что в данной ситуации иные варианты получаются хуже, чем первый.

Более широкие возможности представляет развитая САПР, позволяющая на порядок и более расширить число сравниваемых вариантов, что существенно повышает качество проектирования.

Количество вариантов регулируют разработчик и руководитель, которые должны ориентироваться и сопоставлять возможности исполнителей, сроки и сложность выполнения задачи, имеющиеся ресурсы. Если нарушается целесообразное соответствие, то это приводит либо к потерям труда, либо к снижению качества работы.

Вариантный метод разработки имеет большое значение и для преодоления психологического барьера, заключающегося в том, что мысли разработчика некоторое время закреплены на предшествующем изделии. Один лишь критический настрой его мысли недостаточен для создания новой модели. Старое изделие нужно «разрушить» и рассматривать его элементы наравне с новыми вариантами.

Процесс создания вариантов можно охарактеризовать как «накопление идей». На этой стадии нельзя ничего отбрасывать, так как

может оказаться, что некоторые неудачные варианты или отдельные их элементы будут полезны и в сумме с другими элементами могут составить новую конструкцию.

1.3. Методы выбора наилучшего варианта проектируемого изделия

В связи с тем, что разработка многочисленных вариантов с постепенным снижением количества и уровня недостатков ограничивается сроками проведения конструкторских работ, наступает время, когда разработчик должен из числа проработанных вариантов подобрать такие, в которых недостатки сведены до минимума. При этом разработчику должно быть ясно, что из каждого варианта «выжато» все возможное, поэтому пора их сопоставить и каждому дать оценку. Этим и заканчивается параллельная разработка нескольких вариантов. Но выбор лучшего из них не так-то прост. Например, один из вариантов изделия обладает более высокой отключающей способностью, а другой более высокой надежностью контакта и износостойкостью.

Так какому же из них отдать предпочтение, когда они отличаются друг от друга уровнем несопоставимых параметров.

Здесь, по-видимому, наиболее ценным является функционально-стоимостный анализ. Обычно ему придают самостоятельную роль, и это действительно так, когда ведется поиск внутренних резервов производства. В данном случае он служит методом выявления наилучших вариантов решения задачи.

Функционально-стоимостной анализ возник в США в годы Второй мировой войны. Конструкторский отдел фирмы «Дженерал электрик» разрешил временные отклонения в связи с дефицитностью некоторых материалов. Впоследствии оказалось, что изделия проработали многие годы не хуже чем те, в которых использовались дорогостоящие материалы.

Возможно, были устранены лишние запасы. В 1947 году в этой компании была сформирована группа специалистов во главе с Л.Д. Майслом, которая на опыте военных лет разработала метод функционально-стоимостного анализа [3].

Теория функционально-стоимостного анализа строится на предположении, что в себестоимости любого изделия, кроме минималь-

ных затрат, совершенно необходимых для выполнения изделием заданных функций, имеются дополнительные или излишние затраты, вызванные главным образом несовершенством конструкции.

Конструкция изделия рассматривается в связи с комплексом функций, которые она должна выполнять. В составе этого комплекса имеются основные функции и вспомогательные. Основные – это такие, для выполнения которых и создается изделие, вспомогательные обеспечивают выполнение основных. В свою очередь вспомогательные функции делятся на существенные и несущественные, необходимые и излишние. Задачей функционально-стоимостного анализа является тщательное выявление как основных, так и вспомогательных функций, ликвидация ненужных и поиск наиболее экономного способа осуществления всех оставшихся.

Эффективность функционально-стоимостного анализа основывается на представлении изделия не в конкретной форме, а как комплекса выполняемых функций, относительно которых и ведется исследование с самых разных позиций – их значимости, форм проявления, стоимости.

В математической интерпретации функция определяется преобразованием множества входов (x) во множество выходов (y), то есть $F : \{x_1\} \rightarrow \{y_1\}$. При функциональном подходе разработчик должен полностью абстрагироваться от изделия и рассматривать только его функции и наилучшие способы их выполнения. Таким образом, задача функционально-стоимостного анализа состоит не в достижении более высокого уровня параметров, а в анализе альтернативных способов выполнения функции. Это позволяет выбрать наиболее простые и дешевые варианты технических решений.

В отечественной промышленности функционально-стоимостной анализ применяется начиная с 1970 года. Наибольшую эффективность функционально-стоимостной анализ дает при изменениях конструкции аппаратов, эффективность технологических изменений значительно ниже. Сравнение результатов показано в табл. 1.3.

Еще достаточно мал опыт использования функционально-стоимостного анализа в конструкторских работах. Сложность организации функционально-стоимостного анализа во всех стадиях конструкторских работ заключается в том, что его этапы в значительной мере дублируют этапы самой конструкторской работы. Функционально-стоимостной анализ может переплетаться с другими видами анализа, и не иметь самостоятельного значения. Но специфика функционально-стоимостного анализа такова, что его целесообразно вы-

делить в отдельную процедуру, результат которой можно проконтролировать. При этом этапы функционально-стоимостного анализа, дублирующие этапы конструкторской работы, нужно исключить.

Таблица 1.3

Эффективность изменения

Направление рекомендаций	Снижение себестоимости		Количество внедренных рекомендаций		Эффективность в расчете на 1 рекомендацию, тыс. руб.
	руб. тыс.	уд. вес	шт.	уд. вес	
Изменения конструкции	1300	62	61	15	21,3
Изменения технологии	800	38	342	85	2,3

Задачи функционально-стоимостного анализа должны быть соотнесены со стадией конструкторской работы. Например, на стадии технического задания следует определить основные и вспомогательные функции изделия в целом, на стадии технического проекта основные и вспомогательные функции узлов, на стадии рабочего проекта – деталей.

Анализ вариантов представляет собой не менее ответственную работу, чем синтез и требующую не только объективности, но и «взгляда со стороны», на который некоторые разработчики не способны. Поэтому желательно к критике привлекать сотрудников, не участвовавших в данной разработке, а возглавлять работу должен специалист по функционально-стоимостному анализу. Однако первым должен критиковать свою конструкцию автор.

Каждый вариант разработчик должен проанализировать со всей тщательностью на такую глубину, на которой отпадут сомнения в возможности стыкования решения с другими элементами конструкции. Эта глубина определяется верностью последующих задач. В некоторых случаях нужно давать ответы на задачи второй, третьей и даже четвертой ступени. При решении подобных задач иногда приходится поступиться лучшим вариантом решения узкой частной задачи в пользу основной идеи разработки.

Создание изделия представляет собой процесс, в котором следующие решения основываются на предыдущих как на фундаменте, который перестроить тем труднее, чем выше поднялось «здание»

проекта. Но при этом разработчик должен хорошо представлять возможность варьирования параметрами при решении каждой задачи, так как в дальнейшем при поиске оптимальных соотношений может понадобиться их изменение. Целесообразна мысленная проверка всех вариантов решения на максимум и минимум. Например, какое решение будет лучшим, если бы требовалась максимальная надежность или минимальная себестоимость в ущерб остальным требованиям: если бы изделие проектировалось для разового пользования, если от него зависят условия безопасности, если оно будет работать в тропиках, в условиях Заполярья.

Набор приведенных выше экстремальных требований определяется характером задачи. Он должен быть достаточно широк и давать возможность многогранно характеризовать конструкцию. Вместе с тем следует избегать и излишеств. Стандартный набор экстремальных требований будет скорее всего неподходящим. Этот набор приводят некоторые авторы и рекомендуют использовать его полностью. Например, незачем анализировать работоспособность обычного автоматического выключателя в стратосфере, так как он наверняка не будет находиться в этих условиях, а отключающая способность его окажется заниженной.

В каждом варианте желательно проверить возможность совмещения функций нескольких элементов. В одном случае это даст экономию пространства, в другом – экономию средств на изготовление. Разработчик должен понимать, что каждый объем пространства, занимаемый изделием, имеет определенный вес и стоимость.

Одно из главных направлений совершенствования техники заключается именно в том, что все большее число функций выполняется все меньшим числом элементов конструкции. Наиболее ярко эта тенденция проявляется в электронике, где за короткий срок перешли от транзисторов к микромодулям и интегральным схемам.

Естественно, в каждом варианте есть достоинства и недостатки. Найти идеальное решение, в котором не было бы недостатков, практически невозможно. Это знают не только изготовители, но и грамотные потребители. При этом потребители легко обнаруживают такие недостатки, которые свидетельствуют о небрежности или неумении тщательно отрабатывать конструкцию. Альтернативные варианты конструкции, подлежащие рассмотрению, обязаны обеспечивать выходные параметры, поэтому одним из главных критериев их оценки

служит уровень недостатков, то есть объем и состав невыполненных или плохо выполненных требований. При сопоставлении достоинств и недостатков оцениваются все подготовленные варианты.

Сначала сопоставляются основные принципиальные решения, затем решения второго уровня и т.д. (схема, компоновка, узлы, детали). После принятия за основу одного варианта, в него могут вноситься решения второго уровня из другого варианта.

Окончательная конструкция обычно создается синтезом нескольких вариантов.

Синтез ведётся до полного исчерпания всего заготовленного. В итоге создается обобщенный вариант конструкции, в котором использовано все полезное из предыдущей работы.

Важным условием правильности принятых решений является соответствие тщательности отработки уровню затрат на производстве. Следствием этого условия является, например, подход к установлению величины запасов (прочности, надежности, долговечности, технических параметров). В изделиях индивидуального производства целесообразно продвижение от максимальных к оптимальным запасам. Это позволяет остановиться на уровне, обеспечивающем возможность не проводить длительных и трудоемких испытаний. В изделиях массового производства, когда лишняя грамм превращается в годовые затраты тонн материала, подход должен быть противоположным: от минимума к оптимуму. Соответственно возрастает тщательность расчетов и объемы испытаний, но они себя оправдывают.

Процесс анализа вариантов и синтеза решения целесообразно представить в формализованном виде. С этой целью предлагается использовать обозначения, принятые в сетевом планировании, но придадим им несколько иной смысл.

Круг будет обозначать анализ подготовленного варианта, а стрелка – разработку следующего.

Теперь можно абстрактно проанализировать процесс выработки решения. Изображенная на рисунке топологическая фигура представляет собой сеть (рис. 1.2). Вершинами этой сети являются события, заключающиеся в оценке предыдущей работы и подготовке к следующей. Дугами являются процессы решения отдельных задач. Данная классификация позволила построить ориентированный линейный граф, так как каждая работа в соответствии с ней обеспечивает продвижение проекта вперед в накоплении итоговой информации, независимо от того, какая часть от нее была использована в ходе проектирования.

Безусловно, эта модель формализует процесс лишь на уровне разработки вариантов решения частных задач, и характеризуется тем, что каждое событие, возникающее на стыке нескольких параллельно ведущихся вариантов, имеет свои особенности, заключающиеся в том, что анализу подвергается информация, которую дают входящие в него варианты конструкции. Любое последующее событие может возникнуть лишь при прохождении работы через предшествующие события. Новое событие – это новый вариант.

На начальном этапе работы число событий возрастает, что характеризует преобладание анализа над синтезом.

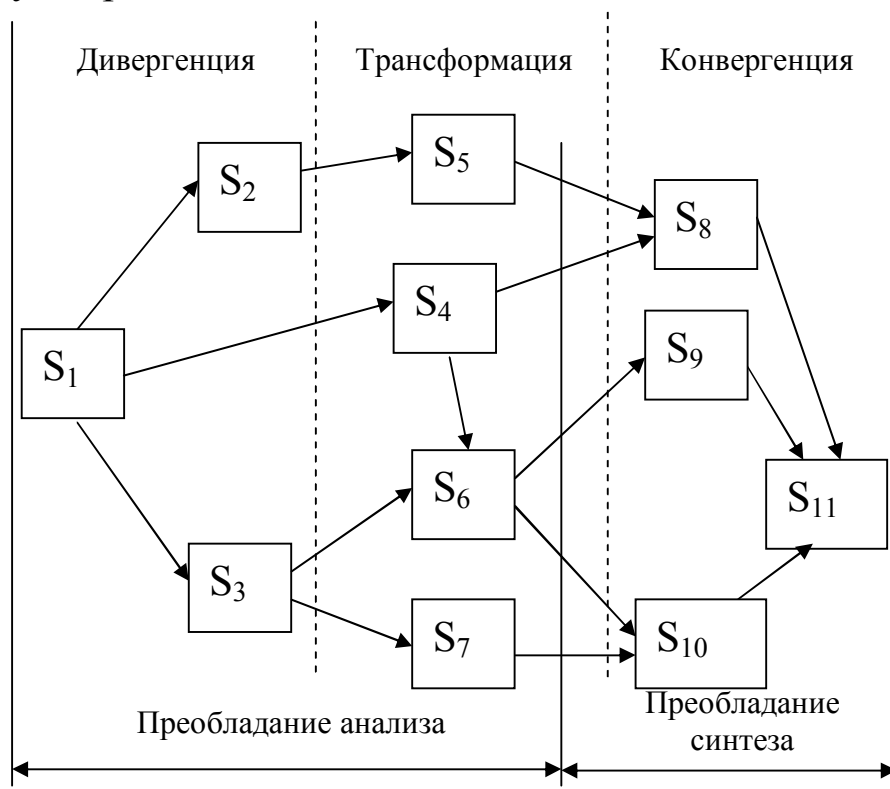


Рис. 1.2. Схема вариантного метода разработки

В этот этап входят формулирование главных задач, изучение информации для их решения и начало поиска путем перехода к частным задачам.

Вторым этапом работы можно считать формулирование частных задач и развертывание их решения по многим направлениям, которые осуществляются опять-таки путем изучения всех видов информации и разработки вариантов конструкции.

Третьим, завершающим этапом является синтез комплексного решения. Он начинается в момент перевала за максимальное разветвление сети и характеризуется преобладанием синтетических опера-

ций над аналитическими. На этом этапе также ведется сбор и анализ информации, хотя теперь они занимают значительно меньшее место, чем в начале работы.

В какой-то мере данное деление творческого процесса на стадии соотносится с тем, которое дал К. Дж. Джонс. Он назвал первую стадию «Дивергенция», вторую – «Трансформация», третью – «Конвергенция» [3].

Дивергенция характеризуется расширением границ проектной ситуации с целью обеспечения достаточно обширного пространства для поиска решений.

Трансформация заключается в фиксации целей, распознавании ограничений, выработке оценочных суждений.

Конвергенция ставит задачей быстрое уменьшение неопределенности.

Сетевая модель процесса разработки состоит из множества элементов – вершин и дуг. Разработчик должен «пройти» все дуги и «остановиться» на каждой вершине, чтобы проанализировать уже выполненное, найти нужную информацию и выбрать дальнейшее направление разработки.

Следовательно, объем работы складывается из всех элементов, входящих в сеть: чем она более разветвлена и чем больше в ней элементов, тем больше суммарная работа. Число разветвлений из каждой вершины зависит от того, какое количество вариантов сможет и найдет нужным рассмотреть разработчик. Если решения будут однозначны, сеть превращается в прямую линию. Если разработчик каждую частную задачу будет решать множеством вариантов, сеть станет весьма разветвленной, а работа продолжительной и трудоемкой.

Рассмотренная схема разработки присуща любой задаче, она проверена практикой и при оптимальной разветвленности позволяет достигать хороших результатов в создании новых изделий.

Однако конструкция узла или изделия, полученная в результате всей этой работы, еще далека от окончательной, на данном этапе она еще «рыхлая». Ее необходимо оптимизировать, упростить, образно говоря, «утрясти».

Некоторые конструкторские работы в целом являются, по существу, проектами оптимизации. Например, создание некоторых новых марок легковых автомобилей представляет собой не что иное, как оптимизацию устоявшейся за последнее столетие основной их структуры.

Естественно, в этом случае оптимизация состоит из всех стадий конструкторских работ. В остальных случаях она носит вспомогательный характер и предшествует проверке конструкции на выполнение требований, содержащихся в техническом задании.

Сущность оптимизации заключается в улучшении соотношений между элементами и связями в конструкции при сохранении основных элементов полученной структуры. Иногда оптимизация требует даже некоторых изменений и основных элементов структуры, носящих непринципиальный характер. Оптимизация решения должна быть обязательным этапом решения задачи, следующим за установлением структуры. Однако в действующих стандартах и руководящих отраслевых материалах нет указаний на необходимость проведения этой работы, на ее место в составе конструкторских работ.

Значительную роль в оптимизации играют расчеты. Доля их в общем объеме конструкторских работ невелика – около 5 %. Но в составе оптимизации они являются основными.

В творческом процессе расчеты занимают двойственное положение. Они имеют прямую и обратную связь с результатами работы. Прямое действие расчетов заключается в проверке полученной структуры на выполнение условий $\max X > X > \min X$, (проверяемый параметр X находится в допускаемом диапазоне). Обратное действие заключается в использовании результатов расчетов в качестве опыта, знания зависимостей при поиске новых структур.

Технические науки традиционно ограничивают изучаемые взаимосвязи лишь несколькими факторами, оставляя в стороне ряд вопросов, которыми приходится заниматься конструктору. Например, в теории двигателей внутреннего сгорания невозможно найти связь между мощностью и ремонтоспособностью моторов, в теории механизмов и машин – связь между элементами кулачковых механизмов и технологичностью их изготовления.

Возможно, что расширение изучаемых техническими науками взаимосвязей и нецелесообразно.

Исходя из сказанного, следует заключить, что оптимизация конструкции в значительной мере выходит за пределы технических наук и представляет собой междисциплинарную проблему, решение которой следует искать в других областях знаний.

Одной из существенных черт исследования операций является применение научных принципов, методов и средств к задачам с целью принять оптимальное решение, которое в данном случае получа-

ется как некоторая количественная мера эффективности рассматриваемой системы. Любой параметр при этом выбирается на основе «интересов» всей системы. Принцип системного подхода состоит в установлении всех существенных взаимосвязей между переменными факторами и в выявлении воздействия их на поведение всей системы как единого целого.

Необходимо сразу же оговориться, что сложность установления количественных критериев ограничивает реальные возможности вычисления конечного оптимума. Но даже в тех случаях, когда трудности вычисления оказываются практически непреодолимыми, использование методов исследования операций оказывается полезным для изучения системы в целом. В соответствии с методом, разработанным в науке, основными стадиями процесса оптимизации конструкции можно считать постановку вопроса, построение математической модели изучаемой системы и нахождение решения с помощью созданной модели.

Рассмотрим более подробно действия разработчика на каждой стадии.

Оптимальность структуры изделия характеризует качество и научно-технический уровень конструкторских работ. Заказчик не в состоянии установить условия оптимальности структуры, так как они кроются глубоко за внешними параметрами изделия. Обычно даже внешние параметры (технические требования) объекта, как было сказано ранее, заказчик стремится все задать максимальными «на всякий случай». Условия оптимальности структуры могут быть определены в ходе разработки. Они связаны с темпами технического развития и включают в себя показатели и факторы, характеризующие уровень науки и техники в данной отрасли.

Например, при оценке качества проекта металлообрабатывающего станка в 10–20-х годах прошлого века не принимали во внимание его архитектуру, соответственно в 20–30-х годах не учитывали эргономику, а в 40–50-х годах – эстетичность. Сейчас все показатели стали обязательными и в значительной степени определяющими общий уровень проекта [3].

Для многих изделий первостепенными стали удобство и легкость пользования. Так, основной тенденцией при проектировании современных легковых автомобилей является повышение комфорта для пассажиров и водителя, и этому требованию конструкторы стремятся подчинить, сколь возможно, размещение основных агрегатов автомобиля.

При проектировании больших и сложных систем, таких как, например, вычислительные машины и крупные энергосистемы, на первый план выходит надежность, т.к. случайный отказ самого незначительного элемента может привести к большим экономическим потерям. Необычайно высоким должен быть уровень надежности в системах доставки кораблей на Луну, так как в их составе насчитывается около 15 миллионов деталей.

Оптимальность структуры изделия повышает эффективность вложенного в него овеществленного и живого труда. Поэтому наилучшим критерием проведенной оптимизации структуры является экономическая эффективность этой работы.

Достижение оптимальности структуры может выразиться в снижении габаритов изделия, уменьшении материалоемкости, получении лучших соотношений во внешних параметрах. В этом случае определить эффективность оптимизации нетрудно. Сложнее обстоит дело при рассмотрении комплекса измененных качественных показателей. Однако и в этом случае следует искать соответствующие критерии оценки. Например, повышение эргономичности рукояток управления машиной может дать некоторое повышение производительности труда.

Удобное сиденье водителя автомобиля снижает нервное и мышечное напряжение, частично снижает утомляемость, следовательно, дает возможность легче управлять автомобилем при большей скорости.

Эстетичность внешнего вида станка способствует аккуратности и точности выполнения работ, уменьшает процент брака изготавливаемых деталей.

Оптимальность структуры изделия прямо зависит от установленных показателей качества. ГОСТ 22851–77 «Выбор номенклатуры показателей качества промышленной продукции. Основные положения» устанавливает общие для всех отраслей машиностроения группы показателей качества продукции. К ним отнесены показатели назначения, надежности, эргономические, эстетические, технологические, транспортабельности, однородности, стандартизации и унификации.

Стандарты, входящие в систему показателей качества продукции (СПКП), устанавливают в составе каждой группы показателей такие, которые характеризуют качество данного изделия. Например, ГОСТ 4.22–85 «СПКП Краны грузоподъемные. Номенклатура пока-

зателей» конкретизирует все показатели, характеризующие качество этих изделий. Но необходимо учесть, что иногда эти стандарты отражают субъективное мнение авторов. Так, в указанном стандарте (ГОСТ 4.22–85) группа показателей назначения разбита на подгруппы, в каждую подгруппу вошло по 3–5 показателей. Дополнительно введены по отношению к рекомендуемым еще две группы показателей, которые, по существу, также относятся к показателям назначения. А вот группа показателей технологичности состоит всего из трех показателей: трудоемкость изготовления, трудоемкость монтажа, себестоимость изготовления.

В ГОСТе 4.40–84 «СПКП. Тракторы сельскохозяйственные. Номенклатура показателей» в группе технологичности указан лишь один показатель – удельная материалоемкость трактора (величина, обратная энергонасыщенности). Правомерность такого показателя вызывает сомнение, так как одинаковой удельной материалоемкости можно достичь разными технологическими средствами, в большей или меньшей мере используя ручной труд. А к энергонасыщенности технологичность никакого отношения не имеет.

Следует заметить попутно, что удельная материалоемкость не входит в состав основных и дополнительных показателей, установленных ГОСТом 18831–73 «Технологичность конструкции. Термины и определения».

Ясно, что все группы показателей могут быть развернутыми сколь угодно широко и свернуты до любого уровня обобщения.

В действительности же каждый показатель строится на основе множества влияющих факторов.

Например, технологичность может базироваться на таких факторах, как:

- объем и удобство механической обработки деталей;
- соразмерная точность обработки;
- отсутствие размеров и обработки «по месту» и пригоночных работ при сборке;
- наименьший сортамент труднообрабатываемых и дефицитных материалов;
- наибольший удельный вес прогрессивных материалов в конструкции;
- механизация и автоматизация изготовления деталей и сборки узлов;

- наличие опорно устойчивых баз и фиксаторов для сборки и механической обработки;
- жесткость деталей и узлов в обработке и сборке,
- наименьшее число нестандартных размеров, унификация инструмента;
- наличие размерных, температурных и других компенсаторов;
- блочность, агрегатность конструкции изделия;
- трудоемкость и простота сборки, разборки и регулировки.

Разработчик должен оценить важность каждого показателя, а затем и влияющих факторов. Оптимальность структуры изделия может быть получена при наиболее целесообразном их соотношении.

Целесообразное соотношение показателей различно для изделий индивидуального и серийного производства, для бытовых и промышленных, больших и малых, дорогих и дешевых, сложных и простых машин.

Например, патентоспособность не обязательна для машины индивидуального производства, спроектированной для собственных нужд, но долговечность ее должна быть на высоком уровне, так как изделие будет длительно эксплуатироваться без замены. Чтобы определить целесообразное соотношение всех показателей для данного проекта, разработчик должен глубоко знать требования к изделию и, как уже было сказано, ориентироваться, каким может быть диапазон изменения каждого показателя.

Задача оптимизации конструкции, как правило, создает конфликтные ситуации, которые получили название «игр». Конфликтные ситуации характеризуются тем, что «интересы» двух или нескольких систем настолько противоположны, что всякое улучшение функционирования одной из них связано с ухудшением работы другой и наоборот. В конструкции конфликтные ситуации возникают в борьбе веса и прочности, надежности и экономичности, технологичности и ремонтноспособности. Следовательно, любая конструкция представляет собой комплекс компромиссных решений, отражающих объективные законы и субъективные возможности разработчиков в поиске оптимальных соотношений.

2. ПОИСК ИДЕЙ

2.1. Этапы процесса поиска идей

Идея инженерного поиска означает общее понятие об использовании определенных новшеств для претворения в жизнь определенного замысла. Замысел означает осознание потребности и является отправной точкой творческого процесса. Поэтому поиск идеи есть процесс творческий [3, 5, 6, 7].

Творчество представляет собой взаимодействие человека как субъекта данного процесса с объективной реальностью. При этом взаимодействии человек, опираясь на объективные законы, создает качественно новые ценности как материальные, так и нематериальные.

В творческом процессе можно выделить три этапа:

- замысел, то есть появление самой идеи;
- превращение идеи в план работы;
- реализация плана работ, то есть воплощение идеи в определенную вещь (в материальную форму).

Эти этапы носят условный характер, т.к. в практической творческой деятельности их последовательность не является жестко закрепленной. Каждый этап – это целостный элемент системы, ее компонент, но при этом он связан с другими элементами и постоянно проникает в другие этапы творческого процесса.

Первый этап творческого процесса – это появление замысла, то есть идеи инновации. Причиной появления идеи инновации является, как правило, возникшее противоречие между существующими продуктами и операциями и новыми условиями хозяйствования, новой технической, технологической и финансово-экономической ситуацией.

Существующие продукты или явления отражают имеющиеся знания. Новые условия хозяйствования или новая ситуация отражают новые факторы, воздействующие на реализацию существующих (то есть старых) продуктов и операций. Поэтому возникает проблема устранения несоответствия старого объекта новым факторам.

Целью второго этапа творческого процесса является необходимость решения данной проблемы, то есть превращение появившейся идеи в план работы по устранению выявленного противоречия.

На этом этапе человек как субъект творчества, опираясь на свои знания, на свой и чужой опыт, интуицию, составляет план мероприятий по изменению данного финансового продукта или операции.

Использование чужого опыта означает, что данный этап творческого процесса опирается на купленные ноу-хау, лицензии, патенты, на анализ и переработку информации, доступной для исследователя.

Третий этап творческого процесса связан с воплощением возникшей идеи в новый продукт или операцию. На этом этапе реализуется ранее намеченный план мероприятий, анализируется его результативность, и при необходимости в него вносятся соответствующие изменения и коррективы.

В познавательном процессе инновации важная роль принадлежит наблюдениям, анализу и синтезу явлений, научной абстракции, построению гипотез, прогнозированию технических и экономических показателей и явлений.

При наблюдении человек ограничивается только чувственным познанием и инструментальным изучением определенного явления.

Анализ и синтез представляют собой двуединый прием познания и один из элементов процесса абстрактного мышления.

Анализ представляет собой метод научного исследования, состоящий в мысленном или фактическом разложении целого на составные части.

Синтез – это метод научного исследования какого-либо предмета или явления, состоящий в познании его как единого целого, в единстве и взаимной связи его частей. Анализ идет от конкретного к абстрактному, разлагает изучаемое явление на его составные части, каждая из которых может рассматриваться или исследоваться самостоятельно.

Синтез идет от абстрактного к конкретному, соединяет родственные между собой элементы, воссоздает из отдельных частей единое целое. Синтез показывает, что отдельные элементы изучаемого явления находятся в неразрывном единстве, обуславливают друг друга и оказывают определенное влияние на другие явления. Единство анализа и синтеза проявляется в том, что операция выступает как совокупность отдельных элементов и признаков.

Важным методом исследования технико-экономических отношений является научная абстракция.

Абстракция – это мысленное отвлечение ряда свойств предметов и отношений между ними.

Научные абстракции представляют собой выработанные людьми в своем мышлении обобщенные понятия, отвлеченные от непосредственной конкретности изучаемого явления, но отражающие его главное содержание.

Научная абстракция применяется как на уровне качественного теоретического анализа процессов, происходящих как в сфере инновации, так и на уровне количественного исследования всех процессов, для выявления количественных взаимосвязей и зависимостей между отдельными показателями инновационного процесса.

Формирование новой идеи начинается с построения гипотезы. Гипотеза означает научное предположение, выдвигаемое для объяснения какого-либо явления и требующее ее проверки на опыте и технического обоснования. Другими словами, гипотеза – это предположение, требующее подтверждения. Гипотеза является формой перехода от известного к неизвестному. Всякая гипотеза должна объяснить определенное явление. В случае, когда она не дает такого объяснения, данная гипотеза заменяется на другую. Критерием гипотезы является ее проверяемость.

С гипотезой тесно связано предвидение нового, то есть его прогнозирование.

Прогноз основывается на результатах познания человеком объективных законов и носит вероятностный характер. Самой простой формой прогноза является предсказание на основе простой повторяемости событий. Существует также форма прогноза, в основе которой лежит предвидение по аналогии, то есть установление сходства между различными явлениями и форма прогноза, основанного на познании объективных законов.

При прогнозах большую роль играет также и воображение. Воображение – это способность построения субъектом наглядных образов и моделей на основе преобразования представлений о ранее не воспринимавшихся предметах и явлениях.

Воображение очень тесно связано с интуицией и инсайтом.

Интуиция представляет собой способность непосредственно без логического обдумывания находить правильное решение проблемы. Интуитивное решение возникает как внутреннее озарение, раскрывающее суть изучаемого вопроса. Интуиция является непременным компонентом творческого процесса.

Инсайт – это осознание решения некоторой проблемы. Субъективно инсайт переживают как неожиданное озарение, постижение.

В момент самого инсайта решение осознается очень ясно. Однако эта ясность часто носит кратковременный характер и нуждается в сознательной фиксации решения. Полезным отправным пунктом для понимания творческого мышления может послужить типология Грина (рис. 2.1).

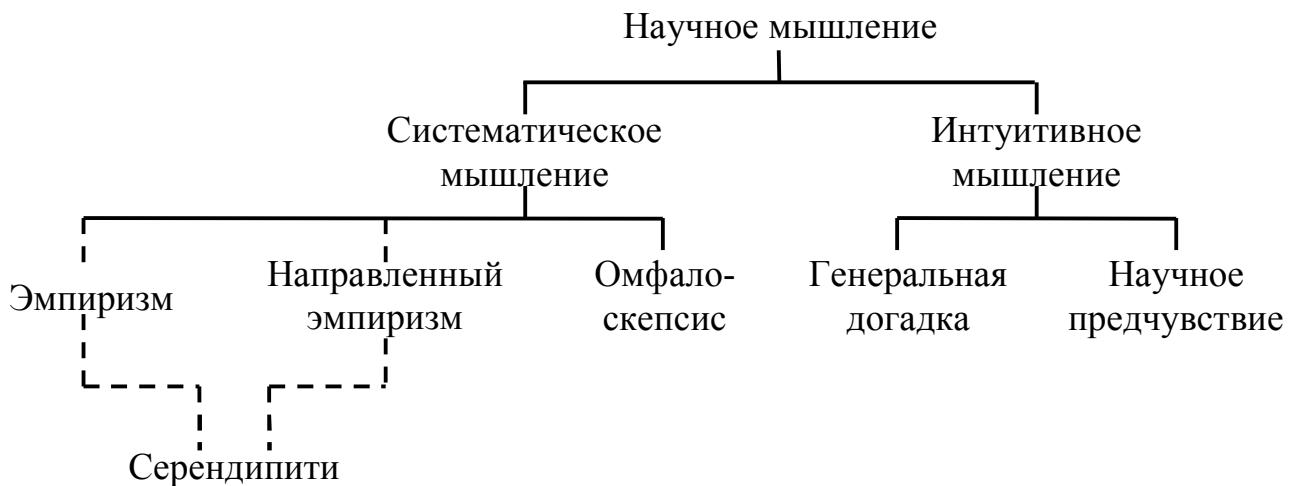


Рис. 2.1. Творческое мышление по типологии Грина

Очевиден тот факт, что в прошлом возлагали (и все еще продолжают возлагать) большие надежды на интуитивное мышление как на средство осуществления изыскательского технологического прогнозирования. Это, по-видимому, принципиально неверная ориентация. Информированное суждение, опирающееся на использование систематического мышления, обычно превосходит интуитивные методы в тех случаях, когда следствия причинных связей проецируются в будущее. Интуитивные прогнозы недалеко ушли от того рода ожидания, которое свойственно процессу принятия решений при отсутствии сколько-нибудь определенного прогноза: они пренебрегают возможностями систематического и всеобъемлющего использования входной информации.

2.2. Методы поиска новых идей, основанные на интуиции

Интуитивное мышление может быть поставлено на несколько более прочную основу путем усовершенствования методов подбора экспертов, то есть с помощью схем самооценки компетентности, поправок посредством обратной связи и т.д. [3, 5].

Интересный подход к улучшению интуитивных экспертных прогнозов и снижению «уровня шума», присущего интуитивному прогнозированию, был разработан компанией «Абт ассошиэйтс», и он стал частью ее всеобъемлющих операциональных моделей, включая модели для технологического прогнозирования. При этом подходе дифференцированное прогнозирование экспертами краткосрочных изменений итерируется путем применения соответствующих количественных поправок к следующему циклу предсказаний. Таким путем экспертные предсказания будут постепенно приближаться к некой стабильной линии; как правило, эта линия не является абсолютно точной, но ее неточность будет оставаться постоянной. В рамках, определенных указанным образом, нет оснований предпочитать одно предсказание другому, но за этими пределами (которые вполне могут сузиться с течением времени с учетом возросших возможностей) предсказания можно успешно сравнивать и оценивать.

При изучении интуитивных прогнозов будущих технологий, как правило, обнаруживается, что они представляют собой скорее беспорядочные обрывки систематического мышления, некритические экстраполяции нынешнего состояния дел и повторения других прогнозов.

Для сверхдолгосрочных изыскательских прогнозов, охватывающих периоды длительностью в 50 лет и более, интуитивное мышление, конечно, менее ограничено, чем систематическое. Вместе с тем, в таких временных рамках оно может оказаться почти равноценным «серьезной» научной фантастике (сообразующейся с законами природы и т.д.).

Большинство сверхдолгосрочных прогнозов, касающихся революционизирующих последствий научно-технических достижений будущего, такие, как высказанное Мюллером в 1910 г. мнение о возможности воздействия на наследственные характеристики человека и применения евгеники, явно имеют сильную нормативную основу: «Благоприятная обстановка для таких открытий будет создана тогда, когда у нас будет система, при которой можно будет должным образом их оценить». Эта нормативная основа видна наиболее ясно там, где технологические прогнозы опираются на анализ наличных ресурсов, как это имеет место в области энергетики. Это можно увидеть, в частности, на примере атомной энергетики, где необходимость в разработке реакторов-размножителей была выявлена при рассмотрении наличных ресурсов расщепляющихся и размножающихся материалов уже на ранней стадии разработки.

Можно полагать, что более сложные методы, описанные ниже, – особенно метод «Дельфы», – следует использовать в первую очередь для того, чтобы составить себе лучшее представление о будущих целях и потребностях. Вследствие быстро возрастающего значения нормативного прогнозирования, о чем часто упоминается в настоящей работе, на методы интуитивного мышления будет делаться особенно большой упор.

Цель метода «Дельфы» состоит в том, чтобы разработать «тщательно спроектированную программу последовательных индивидуальных опросов (которые лучше всего проводить с помощью вопросников), перемежаемых обратной связью в виде информации и мнений, получаемой путем обработки на электронно-вычислительных машинах согласованной точки зрения экспертов по более ранним частям программы». Полагают, что благодаря письменной форме контакта снижается влияние таких факторов, как внушение или приспособление к мнению большинства. Но влияние этих факторов, конечно, не может быть полностью устранено, поскольку в процессе итерации на втором и последующих этапах участники узнают мнение большинства на предыдущих этапах. Предложение о том, чтобы те, мнение которых резко расходится с мнением большинства, обосновали свою точку зрения, может привести к усилению эффекта приспособления, а не уменьшить его, как это было задумано.

Краткая характеристика упоминавшегося выше исследования прогнозирования, осуществленного «РЭНД корпорэйшн», может служить иллюстрацией практического варианта этого метода. Были отобраны шесть широких областей – научные прорывы, рост населения, автоматизация, исследование космоса, вероятность и предотвращение войны, будущие системы оружия. Соответственно были образованы шесть комитетов, в которые вошли 82 человека, в том числе примерно половина – сотрудники «РЭНД»; в работе комитетов участвовали также шесть европейских специалистов. Процедура работы первого комитета (научные прорывы) дает представление об используемых методах.

Первый этап. Членов комитета попросили в письменной форме назвать изобретения и научные прорывы, которые представляются им настоятельно необходимыми и в то же время осуществимыми в течение ближайших 50 лет. В результате был составлен перечень из 49 пунктов.

Второй этап. Членам комитета предложили, опять-таки в письменной форме, оценить вероятность реализации каждого из 49 пунктов в один из периодов времени, на которые были разбиты ближайшие 50 лет (или «в период, превышающий 50 лет», или «никогда»). Эти оценки вероятности были затем скомбинированы и представлены в виде квартилей и медиан, смысл которых можно лучше всего проиллюстрировать следующим примером. Если для пункта «точные метеорологические прогнозы» медиана соответствует 1975 г., а два квартиля 1972 и 1988 гг., это означает, что четвертая часть членов комитета предсказала наступление равновероятной даты (для которой существует 50%-ная вероятность) реализации до 1972 г., половина – до 1975 г., а одна четверть полагала, что «равновероятная» возможность реализации такого прогноза будет существовать только после 1988 г. По 10 пунктам из 49 было достигнуто известное согласие.

Третий этап. В письмах, направленных участникам опроса, их уведомили о том, что достигнуто значительное согласие по 10 пунктам, а «инакомыслящих» попросили изложить свои доводы. Одновременно участникам опроса повторно предложили рассмотреть 17 пунктов из 39, по которым не было достигнуто существенного согласия, и обосновать причины широких расхождений в оценках времени реализации. Как правило, диапазон оценок времени при этом сужался.

Четвертый этап. Была повторена та же процедура, что и на третьем этапе. Диапазон временных оценок сузился еще больше. В итоговый перечень был включен 31 пункт, по которому удалось достигнуть известного согласия.

В докладе корпорации «РЭНД» содержится также детальное исследование полученных результатов. На его основе могут быть выведены определенные количественные соотношения, полезные с точки зрения дальнейшего совершенствования метода «Дельфы». Например, могут быть сделаны следующие выводы. Диапазон квартилей в прогнозе (то есть степень согласия после итерации) в первом приближении равен ожидаемому периоду времени в будущем, выраженному медианой. Если медиана равна x лет с момента, когда сделан прогноз, нижний квартиль, грубо говоря, составит $2/3x$, а верхний – $5/3x$ (что даст x лет для диапазона квартилей). Например, если медиана прогноза, сделанного в 1964 г., приходится на 2000 г., то квартильные оценки придутся на 1988 и 2024 гг.

Диапазон квартилей (как и следовало ожидать) уменьшается с последовательными шагами итерации. Среднее отношение конечного и начального диапазонов квартилей равно $5/8$.

Наличие долгосрочного плана, в области исследования космоса, сказывается на точности достигаемой согласованности. Прогнозы специалистов по космическим исследованиям относительно событий с медианами до 15 лет характеризовались диапазонами квартилей в интервале от 1 года до 7 лет (вместо 15 лет, как следовало бы ожидать согласно приведенному выше общему правилу).

При сравнении оценок «равновероятных» дат (50%-ная вероятность реализации) и дат, вероятность наступления которых считается равной 90 %, можно обнаружить очень тесную зависимость между ними, что, возможно, свидетельствует о скрытой «психологической связи» этих двух оценок. Отношение медиан при этом равно:

$$M(0,9)/M(0,5) = 9/5 = 1,8,$$

а соответствующие отношения квартилей составляют 1,6 для нижних квартилей и 2,0 для верхних.

Возможные усовершенствования этого метода, предлагаемые авторами доклада «РЭНД», касаются отбора экспертов, схем оценки собственной компетентности, улучшенных механизмов обратной связи, статистических моделей процедуры опроса комитета. Известная степень механизации управленческих процессов представляется желательной для ускорения процедуры, что в свою очередь имеет, очевидно, существенное значение для повышения ценности результатов.

2.3. Метод «мозговой атаки»

Концепция «мозговой атаки» получила признание и широкое распространение на протяжении 50-х годов XX в. как метод систематической тренировки творческого мышления. Все методы, нацеленные на открытие новых идей и достижение согласия группы людей на основе интуитивного мышления, возникли из концепции мозговой атаки [3].

«Прямая мозговая атака» («знатоки» используют этот термин только для данного варианта) может проводиться отдельными лицами или группами. Она основана на гипотезе, что среди большого чис-

ла идей имеется по меньшей мере несколько хороших; это, однако, еще окончательно не доказано. Существуют следующие основные правила проведения заседания по методу «мозговых атак»:

1. Сформулируйте проблему в основных терминах, выделив единственный центральный пункт.

2. Не объявляйте ложной и не прекращайте исследовать ни одну идею.

3. Подхватывайте идею любого рода, даже если ее уместность кажется вам в данное время сомнительной.

4. Оказывайте поддержку и поощрение, столь необходимые для того, чтобы освободить участников от скованности.

Спорадические исследования, проведенные в этой области, позволили прийти к некоторым ободряющим выводам: ситуация мозговой атаки может повысить продуктивность мышления ее участников. Или, иначе говоря, при соблюдении правила «трех хороших идей» возникает больше, чем, если бы выискивали одни только «хорошие» идеи.

В то время как «прямая мозговая атака» в первую очередь преследует цель собрать урожай новых идей, метод «обмена мнениями» направлен на то, чтобы достичь согласия примерно между шестью людьми.

При подходе, основанном на «операциональном творчестве», вводится следующее уточнение: только руководитель группы знает истинный характер проблемы и организует обсуждение таким образом, чтобы найти решение – причем предполагается, что имеется единственное решение.

Стимулирование «наблюдения» – это строго тренировочная методика. Задача, например, может состоять в том, чтобы описать жизнь на воображаемой планете. Условия на этой планете разрабатываются усилиями группы, а тот или иной исследователь пытается затем найти наиболее логичные решения в определенной области.

Публикаций, в которых рассматривается эффективность этих методов, немного, если не считать некоторых не критических и восторженных сообщений, где приводится также ряд практических примеров для иллюстрации). Но в 60-х годах XX в. «мозговая атака» из первостепенного источника идей и метода нахождения кратчайшего пути к решениям была низведена до вспомогательного приема при анализе и принятии решений.

Рассмотрим еще ряд методов поиска идеи:

- 1) метод проб и ошибок;
- 2) метод контрольных вопросов;
- 3) морфологический анализ;
- 4) метод фокальных объектов;
- 5) синектика;
- 6) стратегия семикратного поиска;
- 7) метод теории решения изобретательских задач.

Метод проб и ошибок является самым древним и наименее эффективным. Сущность его заключается в последовательном выдвижении и рассмотрении всевозможных идей решения определенной проблемы. Всякий раз неудачная идея отбрасывается и взамен ее выдвигается новая: нет правил поиска верной идеи и ее оценки. При этом методе применяются в основном субъективные критерии оценки правильности выбранной идеи, где существенную роль играет профессионализм и квалификация разработчика нового продукта.

Метод контрольных вопросов, по существу, представляет собой усовершенствованный метод проб и ошибок. Вопросы задаются по заранее составленному вопроснику. Каждый вопрос является пробой или серией проб.

Метод контрольных вопросов заключается в психологической активизации творческого процесса с целью нащупать решение финансовой проблемы при помощи серии наводящих вопросов. Данный метод применяется в творческом исследовании с первой четверти XX в. Сущность его состоит в том, что исследователь отвечает на вопросы, содержащиеся в предлагаемом списке, рассматривая свою задачу исследования в связи с этими вопросами. Обычно вопросы отражают наиболее существенные проблемы, хотя, конечно, нельзя исключить возможности попадания в список поверхностных, то есть слабых, несущественных вопросов.

2.4. Морфологический метод

Морфологический метод [3, 6, 8] был разработан известным швейцарским астрономом Фрицем Цвикки, работавшим в обсерваториях Маунт-Вильсон и Маунт-Паломар (штат Калифорния, США) вплоть до 1942 г., когда он был временно привлечен к участию в ранних стадиях ракетных исследований и разработок фирмы «Аэроджет

инжиниринг корпорейшн» в Азузе (штат Калифорния). В 1961 г. в Пасадене (штат Калифорния) было создано общество морфологических исследований под председательством Цвикки. Форсированная «кампания» Цвикки в пользу своего метода, а также впечатление, которое он производил на окружающих своим тяжелым характером, в определенной степени помешали выполнению его метода. Каждый изобретатель знает о Цвикки, но, к сожалению, очень немногие знакомы с морфологическим методом Цвикки.

По словам самого Цвикки, «особое значение имеют три типа общих проблем, которые пытается разрешить морфологический анализ. К ним относятся:

1) Какое количество информации об ограниченном круге явлений может быть получено с помощью данного класса приемов? Или, иначе говоря, какие приемы, необходимы для того, чтобы получить всю возможную информацию о данном классе явлений?

2) Какова полная цепочка следствий, вытекающих из определенной причины?

3) Отыскать все приемы данного класса, или все методы данного класса, или, в общей формулировке, все решения данной конкретной проблемы».

Этапы метода состоят в следующем:

1. Дается точная формулировка проблемы, подлежащей решению. Например, мы можем пожелать изучить морфологический характер всех видов движения или всех возможных двигательных установок, телескопов, насосов, средств сообщения, средств обнаружения и т.д. Если поступает запрос об одном конкретном устройстве, методе или системе, новый метод непосредственно обобщает изыскание на все возможные устройства, методы или системы, которые дают ответ на более обобщенный вопрос.

При этом обнаружится, что задача первоначального формулирования содержания или определения проблемы является гораздо более кропотливой, чем склонны думать многие исследователи, незнакомые с новым методом. На деле в имеющейся литературе трудно найти удовлетворительные определения даже таких хорошо известных устройств, как насосы, электрогенераторы, телескопы и т.д. Точное определение таких кажущихся простыми устройств, как сопло, обращается трудной задачей.

2. Строгая формулировка проблемы, подлежащей разрешению, или точное определение класса изучаемых устройств автоматически

раскрывает важные характерные параметры, от которых зависит решение проблемы. Например, в случае телескопов некоторыми из таких параметров являются расположение телескопа (среда, в которой он находится), характер апертуры (A), регистрирующее устройство (R), характер изменений, которые претерпевает свет на пути от (A) до (R), движение телескопа, последовательность операций и т.д. Вторым шагом, таким образом, заключается в изучении всех этих важных параметров.

3. Каждый параметр p_i обладает определенным числом k_i различных независимых и неприводимых свойств $p_i^1, p_i^2, \dots, p_i^{k_i}$. Например, параметр телескопа «движение» может иметь независимые свойства p^1, p^2, p^3 , означающие перемещение в трех направлениях; p^4, p^5, p^6 – круговое движение; p^7, p^8, \dots, p^{12} – качания при первых шести движениях и т.п. Эти матрицы-строки могут быть записаны в следующем виде:

$$\begin{aligned} & [p_1^1, p_1^2, \dots, p_1^{k_1}] \\ & [p_2^1, p_2^2, \dots, p_2^{k_2}] \\ & \dots\dots\dots \\ & \dots\dots\dots \\ & [p_n^1, p_n^2, \dots, p_n^{k_n}] \end{aligned}$$

Если в каждой матрице обвести кружком один из элементов, а затем соединить все обведенные элементы, то каждая полученная цепочка элементов будет представлять возможный вариант решения исходной проблемы. Если использовать приведенную выше систему матриц для построения n -мерного пространства, мы получим морфологический ящик. Анализ будет завершен, если в каждом отделении «ящика» имеется одно решение либо не имеется ни одного.

В высшей степени существенно, что вплоть до данного момента не должен ставиться вопрос о ценности того или иного решения. Такое преждевременное любопытство почти всегда наносит ущерб беспристрастному применению морфологического метода. Однако как только получены все решения, можно сопоставить их с любой системой принятых критериев.

4. Определение функциональной ценности всех полученных решений составляет четвертый, главный шаг, морфологического анализа.

Чтобы не запутаться в огромном скоплении деталей, оценка характеристик должна проводиться на универсальной, хотя по необходимости и упрощенной, основе. Это не всегда является легкой задачей.

5. Заключительный шаг состоит в выборе наиболее желательных конкретных решений и в их реализации.

Морфологическому образу мышления внутренне присуще убеждение, что все решения могут быть реализованы. Конечно, может случиться, что некоторые из множества решений окажутся сравнительно тривиальными.

Мы видим, что морфологический метод просто является «упорядоченным способом смотреть на вещи», позволяющим добиться «систематического обзора всех возможных решений данной крупномасштабной проблемы». Он создает основу для мышления в категориях основных принципов и параметров, которое приобретает все большее значение, даже если оно совершается беспорядочно или лишь применительно к данному частному случаю.

Практическое применение матрицы можно иллюстрировать примером. Он относится ко всей совокупности реактивных двигателей, состоящих из простых элементов и работающих на химическом топливе (рис. 2.2 и 2.3)

Цвикки отмечает, что, если не обнаружатся внутренние противоречия, это сделало бы возможным

$$\prod_{i=1}^n k_i = 2 \times 2 \times 3 \times 2 \times 2 \times 4 \times 4 \times 4 \times 3 \times 2 \times 2 = 36\ 864$$

чисто условных варианта реактивных двигателей, содержащих по одному простому элементу и работающих на химическом топливе. Однако имеется несколько внутренних ограничений, которые снижают первоначальную цифру до 25 344 простых двигателей». Первая оценка, сделанная в 1943 г. на основе меньшего числа параметров, дала только 576 возможных вариантов, в числе которых, однако, правильно были учтены тогда еще секретные германские самолет-снаряд «Фау-1» и ракета «Фау-2» с импульсными двигателями.

В этой связи следует вспомнить, что роковая ошибка научного советника Черчилля Линдемана, отрицавшего возможности ракеты «Фау-2» даже после того, как ему показали ее фотографии («она не полетит»), объяснялась, по всей видимости, его исключительной приверженностью к твердому топливу и упорным нежеланием признать идею жидкого ракетного топлива.

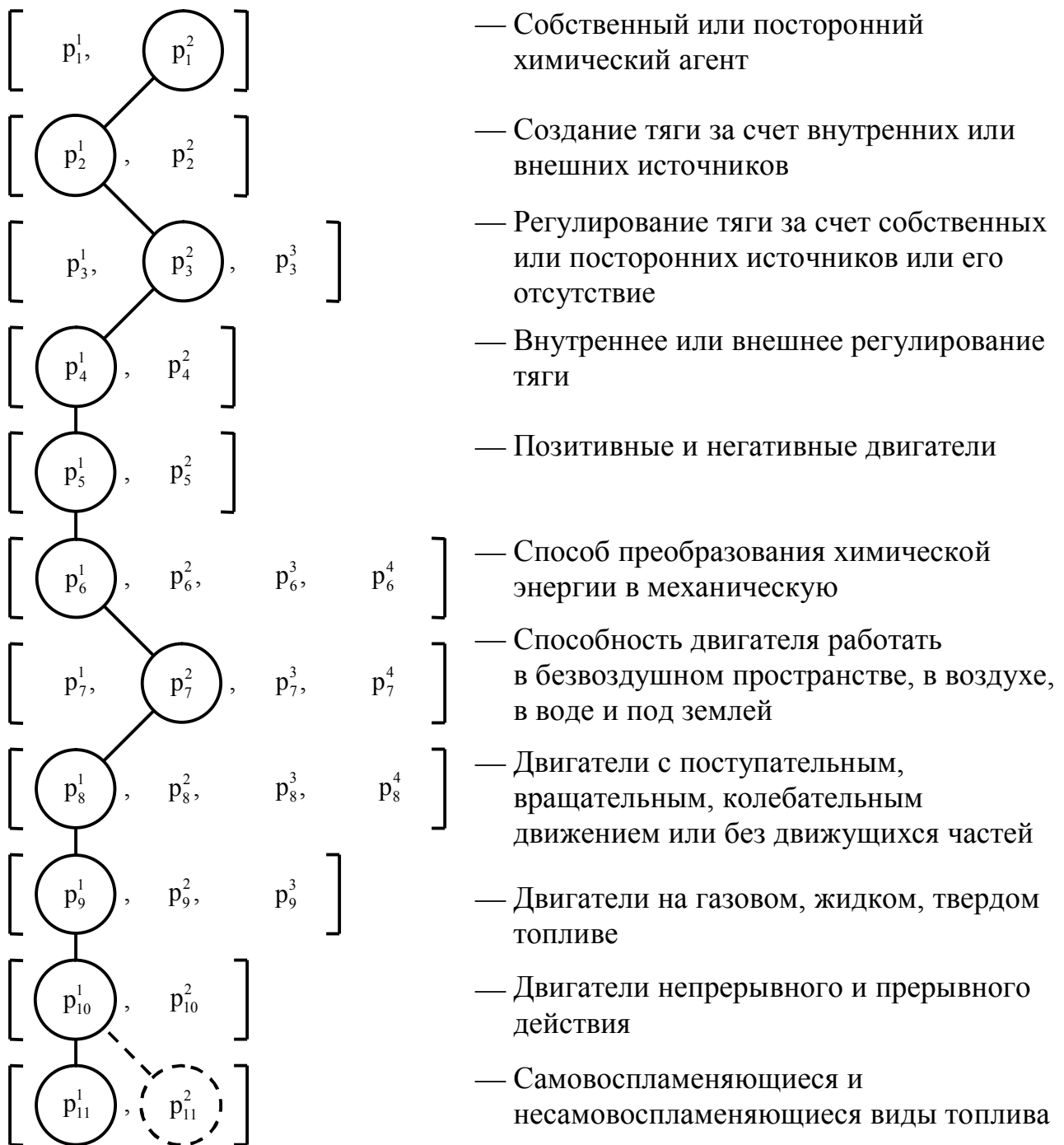


Рис. 2.2. Пример реализации морфологической матрицы

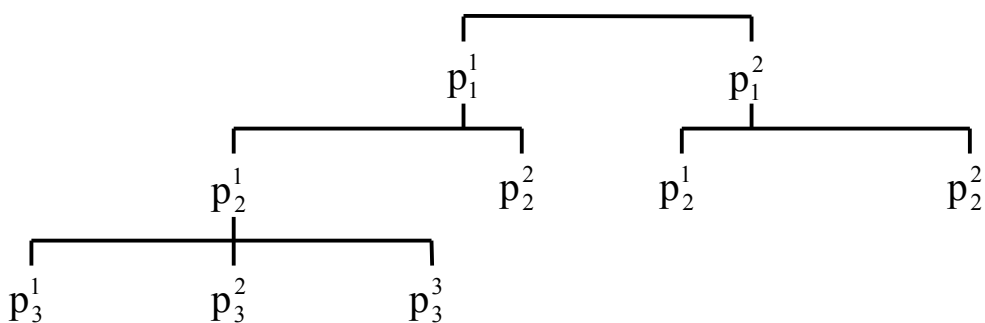


Рис. 2.3. Химические реактивные двигатели

В приведенной матрице (рис. 2.2) обведенные кружками параметры относятся к межпланетному прямоточному воздушно-реактивному двигателю (ПВРД). Цвикки отмечает, что особый интерес представляет наличие в этой матрице элемента p_1^2 . Оно означает, что химическая энергия полностью извлекается из окружающей среды и что ракетный двигатель не нуждается в запасах топлива на борту. Один из путей для достижения такой характеристики заключается в использовании солнечной энергии, накапливаемой в верхних слоях атмосферы в виде возбужденных и ионизированных атомов и молекул и образующихся новых молекул.

Нужно отметить, что в матрицу включены и такие возможности, реализация которых может показаться относящейся к далекому будущему. Например, элементы p_7^3 и p_7^4 были бы характерны для разновидностей гидрореактивных и террареактивных двигателей (например, на топливе, реагирующем с водой или землей). Конечно, не исключено, что эти возможности будут отброшены в прогнозе, ограниченном определенными сроками, а может быть, и в принципе – после их всесторонней оценки, однако не следует делать это априори.

Цвикки называет полную матрицу n -мерным «морфологическим ящиком» (а также «многообразиём» и «картотечным шкафом»). Частичное представление ее в двух измерениях, например с двумя совокупностями параметров $[p_1^1, p_1^2]$ и $[p_8^1, p_8^2, p_8^3, p_8^4]$, принимает форму двумерной прямоугольной матрицы, которую Цвикки называет «морфологической картой». Такого рода морфологические карты широко используются и помимо разбираемого метода. Например, мы явились свидетелями «патентного бума», охватившего до тех пор не затронутые участки карты – охладители/замедлители ядерных реакторов. Многие компании, по-видимому, используют такой подход для того, чтобы «заблокировать» возможные будущие изобретения (или обеспечить свою долю в ожидаемых от них прибылях), стремясь запатентовать в том или ином абстрактном виде комбинации основных параметров.

При представлении конкретных возможностей в виде цепей параметров в матрице число альтернатив невелико. В принципе, все возможности можно представить в виде некоторого дерева целей, подобного тому, которое послужило основой многоуровневого интегрированного нормативного прогнозирования. В этом случае нижний уровень будет содержать все возможности. Однако такой способ представления, вероятно, в какой-то степени затруднит понимание разбираемой нами проблемы; указанные n параметров обычно не на-

ходятся в иерархической зависимости, характеризующей связь между системами, подсистемами, компонентами и т.д., а, как правило, являются равнозначными. Представить «морфологический ящик» наглядно в виде шкафа с «полками» и «отделениями» можно только для комбинации трех совокупностей параметров, но это позволяет проиллюстрировать общую идею.

Морфологический метод структурирует мышление таким образом, что генерируется «новая» информация (касающаяся таких комбинаций, которые при несистематической деятельности воображения ускользают от внимания); поэтому он не ограничен каким-либо одним уровнем перемещения технологии или даже задачами технологического прогнозирования вообще.

В сфере интересующих нас проблем технологического прогнозирования применение морфологического метода к «уровням воздействия» перемещения технологии или к крупным социальным проблемам и к обществу в целом представляется возможным и потенциально плодотворным.

2.5. Метод фокальных объектов и синектика

Метод фокальных объектов возник в 1926 г. и был значительно усовершенствован Чарльзом Вайомингом в середине 50-х гг. XX в. [3, 5, 6].

Метод фокальных объектов основан на пересечении признаков случайно выбранных объектов на совершенствуемом объекте, который лежит как бы в фокусе переноса.

Последовательность применения метода фокальных объектов состоит в следующем:

1. Выбор фокальных объектов (продукта или операции).
2. Выбор 3-х и более случайных объектов наугад из словаря, каталога, книги и т.п.
3. Составление списка признаков случайных объектов.
4. Генерирование идеи путем присоединения к фокальному объекту признаков случайных объектов.
5. Развитие случайных сочетаний путем свободных ассоциаций.
6. Оценка полученных идей и отбор полезных решений. Оценку целесообразно поручить эксперту или группе экспертов, а затем совместно отобрать полезные решения.

Синектика представляет собой метод поиска идеи путем атаки возникшей проблемы специализированными группами профессионалов с использованием ими различных аналогий и ассоциаций. Термин «синектика» в буквальном переводе с греческого означает «совмещение разнородных элементов». Метод синектики был предложен американским ученым Уильямом Дж. Гордоном в середине 50-х гг. XX в. Этот метод основан на принципах мозгового штурма. Однако если обычный метод мозгового штурма проводится людьми, не обученными специальным творческим приемам, то синектика предполагает участие постоянных групп специалистов и широко использует соответствующие аналогии и ассоциации.

У. Гордон сделал упор на необходимость предварительного обучения, на использование специальных приемов, на определенную организацию процесса решения.

Можно выделить два механизма творчества:

- неоперационный механизм, то есть неуправляемые процессы, включающие в себя интуицию, вдохновение и др.;
- операционный механизм, то есть процессы, включающие в себя использование разного вида аналогий. Важно научиться применять операционный механизм. Это обеспечивает повышение эффективности творчества и создает условия для проявления неоперационного механизма.

Синектика как метод поиска идеи – это атака исследуемой проблемы специализированными группами профессиональных специалистов, инженеров, консультантов, экспертов с использованием ими различных аналогий и ассоциаций.

Применение синектики в решении инновационной проблемы включает в себя следующие этапы:

1. Ознакомление с проблемой.
2. Уточнение проблемы, что означает превращение проблемы, как она была дана, в проблему, как ее следует понимать.
3. Решение проблемы. Здесь под решением проблемы понимается взгляд на нее с какой-то новой точки зрения, так чтобы сбить психологическую инерцию.

В синектике используются следующие виды аналогий:

- прямая;
- личная;
- символическая.

Прямая аналогия означает, что рассматриваемый новый продукт или операция сравнивается с более или менее схожими продуктами или операциями.

Личная аналогия означает, что специалист, решающий данную проблему, моделирует образ нового продукта или операции, пытаясь выяснить, какие личные ощущения или чувства возникают у покупателя этого нового продукта (операции).

Символическая аналогия – это какая-либо обобщенная аналогия. Наиболее простой символической аналогией можно считать обычную экономико-математическую модель.

Экономико-математическая модель является символической моделью. Эта модель может создать описание с помощью математических символов и приемов (уравнений, неравенств, таблиц, графиков и т.д.).

Следует иметь в виду, что возможности синектики ограничены, так как она оторвана от изучения объективных закономерностей развития экономики и финансов.

Стратегия семикратного поиска означает, что выбор правильной идеи производится путем ее поиска последовательно по семи этапам. Отсюда и название стратегии. Стратегия семикратного поиска была разработана рижским инженером Г.Я. Бушем в 1964 г.

При поиске идеи творческий процесс делится на семь последовательных этапов.

- Первый этап – анализ имеющейся проблемы. Здесь изучается проблемная ситуация, пересматривается различная информация, ставится главная цель нововведения в данной области.

- Второй этап – анализ характеристик имеющихся аналогов новых продуктов или операций. Здесь выявляются оптимальные условия хозяйственной ситуации для потребления инновации и определяются ее основные функции и характеристики.

- Третий этап – формулировка общей идеи, а также задач, которые необходимо заложить в разработку инновации.

- Четвертый этап – выбор основополагающих идей. На этом этапе генерируются возможные инновационные идеи, производится их анализ методом эвристики, выбираются оптимальные идеи.

Эвристика представляет собой совокупность логических приемов и методических правил теоретического исследования и отыскания истины. Иными словами, это правила и приемы решения особо сложных задач. Конечно, эвристика менее надежна и менее опреде-

ленна, чем математические расчеты. Однако она дает возможность получить вполне определенное решение.

- Пятый этап – контроль идей.
- Шестой этап – оценка выбора одной оптимальной идеи.
- Седьмой этап – превращение выбранной идеи в инновацию.

2.6. Теория и алгоритм решения изобретательских задач

Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) представляет собой усовершенствованный алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ), разработанный инженером Г.С. Альтшуллером в конце 1940-х годов [1].

Алгоритм решения изобретательских задач состоит из 9 этапов (частей), каждый из которых содержит несколько последовательных шагов, регламентированных конкретными правилами и рекомендациями:

1. Анализ задачи.
2. Анализ модели задачи.
3. Определение идеального конечного результата или кризисного решения и физического противоречия .
4. Мобилизация и применение вещественно-полевых ресурсов.
5. Применение информационного фонда.
6. Изменение и/или замена задачи.
7. Анализ способа устранения физического противоречия.
8. Применение полученного ответа.
9. Анализ хода решения.

Первый этап – это выбор задачи, то есть переход от расплывчатой изобретательской ситуации к четко построенной и предельно простой схеме (модели) задачи. На этом этапе определяется конечная цель задачи, проверяется возможность и целесообразность ее решения обходными путями, выявляются требуемые характеристики с поправкой на время, размеры и стоимость, изучается патентная информация.

Второй этап – это построение модели задачи. На этом этапе осуществляется учет имеющихся ресурсов, которые можно использовать при решении задачи: ресурсов пространства, времени, веществ и полей.

Ресурс пространства – это оперативная зона, то есть пространство, в пределах которого возникает конфликт, указанный в модели задачи.

Ресурс времени – это оперативное время, то есть имеющиеся ресурсы времени: время до конфликта и конфликтное время.

Вещественно-полевые ресурсы – это вещества и поля, которые уже имеются или могут быть легко получены по условиям задачи. Вещественно-полевые ресурсы бывают внутрисистемные (инструменты, изделия и т.п.), внешнесистемные (среда, магнитные поля и т.п.), надсистемные (отходы, очень дешевые посторонние элементы, стоимостью которых можно пренебречь).

На этом этапе уточняются условия, выявляются возможности видоизменения задачи путем изменения требуемых характеристик. Здесь же выбираются те элементы, которые можно легко перестроить и заменить.

Третий этап направлен на формирование образа идеального конечного результата и на выявление физического противоречия, мешающего его достижению.

Идеальный конечный результат дает возможность выйти в поле значимых решений. На этом этапе выявляются причины, препятствующие практическому созданию «идеальной машины», даются стандартные формулировки физического противоречия.

Четвертый этап заключается в устранении физического противоречия. Этот этап включает планомерные операции по увеличению вещественно-полевых ресурсов.

Во многих случаях четвертый этап приводит к решению задачи, и тогда можно сразу же перейти к седьмому этапу. Если же этого не происходит, то надо пройти пятый и шестой этапы.

Пятый этап означает использование опыта, сконцентрированного в информационном фонде ТРИЗ. Этот фонд может включать стандарты, описание приемов, результаты опытов, описание разных явлений и т.п.

Шестой этап означает оценку найденного решения и развитие полученного ответа. Простые задачи решаются преодолением физического противоречия, например разделением противоречивых свойств во времени и в пространстве. Сложные задачи решаются путем изменения смысла задачи: снятием первоначальных ограничений, обусловленных психологической инерцией и до решения кажущихся са-

моочевидными. Для правильного понимания задачи сначала надо ее решить, так как изобретательские задачи не могут быть сразу поставлены точно. Процесс решения задачи, по существу, есть процесс корректировки задачи.

Седьмой этап – это анализ хода решения. На этом этапе проверяется качество полученного ответа, сравнивается фактический ход решения с теоретическим, установленным в ТРИЗ. Физическое противоречие должно быть устранено почти идеально («без ничего»). При решении технических задач ТРИЗ используют созданный информационный фонд, включающий стандарты, описание приемов, физических эффектов и явлений. Составляется список из укрупненных приемов преодоления типовых противоречий, а именно: принципы «дробления», «асимметрии», «матрешки», «антивеса», «наоборот», «обратить вред в пользу», «заранее подложенной подушки» и др.

Восьмой этап означает нахождение универсального ключа решения ко многим другим аналогичным задачам.

Девятый этап направлен на повышение творческого потенциала человека. Он является завершающим этапом, на котором анализируется ход решений. Анализ производится методом сравнения реального хода решения данной задачи с теоретическим и сравнения полученного ответа с данными информационного фонда ТРИЗ и т.п. Такой анализ дает возможность наметить пути планомерного нахождения физических эффектов, необходимых для решения задачи.

Основой теории решения изобретательских задач являются законы развития технических систем, полученные путем анализа большого количества патентов.

В основу АРИЗ положен закон появления и разрешения противоречий. Техническое противоречие это – ситуация, когда попытка улучшить одну характеристику системы приводит к ухудшению другой. Физическое противоречие – это ситуация, когда к одному объекту применяются противоположные требования.

Алгоритм изобретения позволяет значительно быстрее разрешить технические и физические противоречия по сравнению с методом проб и ошибок.

Система АРИЗ может применяться самостоятельно при решении сложных проблем, но чаще всего в комплексе с функционально-стоимостным анализом (ФСА). При этом с помощью ФСА мы определяем критические и подкритические функции, а за счет системы

АРИЗ находим конкретные методы совершенствования этих функций. Рассмотрим процесс комплексного применения ФСА и АРИЗ для повышения эффективности работы тепловозных дизелей.

Главной функцией тепловозного дизеля является обеспечение тяговой характеристики тепловоза с помощью передачи.

Тепловозный дизель по условиям эксплуатации должен работать на переменных режимах с частыми остановками. Поэтому в качестве основных функций, которые обеспечивают осуществление главной функции, можно рассматривать работу дизеля на установленных режимах. По условиям эксплуатационной работы магистральных тепловозов целесообразно выделить пять режимов (основных функций дизеля): № 1 – холостой ход; № 2 – переходные режимы работы при эффективной мощности – $N_e=0-0,25$ от номинальной мощности $N^{ном}$; № 3 при N_e от 0,25 до 0,5 $N^{ном}$; № 4 – работа при нагрузках более 0,5 $N^{ном}$, исключая номинальный режим; № 5 – номинальный режим.

В качестве значений функций приняты доли времени работы тепловоза, представленные в процентах, которые обеспечивает дизель на данном режиме работы (F_1-F_5).

В связи с высокими ценами на дизельное топливо, затраты на которое составляют основную часть эксплуатационных расходов, целесообразно в качестве стоимости функций рассматривать стоимость израсходованного на данном режиме топлива, представленную в процентах (C_1-C_5).

Все расчеты проведены для дизелей 10Д100 различных модификаций тепловозов, которые составляют основную часть магистрального тепловозного парка.

Учитывая статистические данные по времени работы этих тепловозов на различных режимах и соответствующие расходы топлива, проведены расчеты по определению относительной значимости функций и их стоимости, которые приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Оценка функций дизеля 10Д100

Обозначение функций	Относительная значимость	Стоимость функций	Сравнение по затратам
№ 1	$F_1=0$	$C_1 = 10$	-10
№ 2	$F_2= 1,152$	$C_2= 1,234$	-0,082
№ 3	$F_3 = 6,688$	$C_3= 6,180$	0,508
№ 4	$F_4 = 84,022$	$C_4=75,173$	8,849
№ 5	$F_5=8,138$	$C_5= 7,413$	0,725

На основании данных по показателю сравнения значимости и затрат критической функцией является режим холостого хода № 1 (разность – 10).

Кроме определения критической функции по затратам находим критическую функцию по показателю степени невыполнения функциональных свойств. По данным эксплуатации установлено, что на номинальном режиме обычно реализуется мощность значительно ниже паспортных данных. Это объясняется тем, что у этих двигателей при эксплуатации за счет интенсивного образования нагара в выхлопном тракте максимальная мощность падает. Кроме того, на этом режиме за счет высокой теплонпряженности часто возникают отказы по цилиндру-поршневой группе. Следовательно, по показателю степени невыполнения функциональных свойств критической функцией является номинальный режим.

Таким образом, для повышения эффективности работы дизеля 10Д100 надо рассматривать две критические функции: № 1 – холостой ход и № 5 – номинальный режим.

При выполнении анализа исходной ситуации в АРИЗ необходимо выполнить установленные операции. Причем в зависимости от конкретной задачи эти операции имеют свою специфику.

1.1. Определить конечную цель решения задачи:

а) Какую характеристику объекта надо изменить?

б) Какие характеристики объекта нельзя менять?

в) Какие расходы снизятся, если задача будет решена?

г) Каковы допустимые затраты?

д) Какой главный технико-экономический показатель надо улучшить?

1.2. Проверить обходной путь.

Допустим, задача принципиально не решается: какую задачу надо решить, чтобы получить требуемый конечный результат?

а) Переформулировать задачу, перейдя на уровень надсистемы, в которую входит данная в задаче система.

б) Перейдя на уровень подсистемы, переформулировать задачу.

в) На трех уровнях (система, надсистема, подсистема) переформулировать задачу, заменив требуемое действие или свойство обратным.

1.3. Определить, решение какой задачи целесообразно – первоначальной или одной из обходных. Произвести выбор, учитывая

факторы объективные (резервы в данной системе) и субъективные (задача на минимум или на максимум).

1.4. Определить требуемые количественные показатели.

Основная цель: обеспечить эффективную работу тепловозного дизеля 10Д100 на номинальном режиме и холостых оборотах.

На номинальном режиме дизели магистральных тепловозов работают 7–10 % общего времени работы, на холостых оборотах 40-50 %, остальное время – на переходных режимах и частичных нагрузках.

На номинальном режиме распыл топлива хороший и дальнобойность факела большая за счет большой подачи топлива и больших оборотов двигателя. Мощный вихрь воздуха на номинальном режиме при хорошем распыле и дальнобойности обеспечивает хорошее смесеобразование. Основной недостаток процесса – высокая температура горения, в результате двигатель перегревается.

На холостом ходу распыл грубый и дальнобойность факела малая за счет малого количества подаваемого топлива и малых оборотов двигателя. На этом режиме за счет плохой работы турбовоздуходувки вихрь воздуха слабый, в итоге ухудшается процесс смесеобразования. При этом в цилиндре сравнительно низкая температура, что затрудняет самовоспламенение топлива. Происходит неполное сгорание топлива, несгоревшее топливо попадает в масло, а также образуется нагар.

При анализе задачи следует:

2.1. Записать условия мини-задачи (без специальных терминов) по следующей форме:

– *техническая система для (указать назначение) включает (перечислить основные части системы);*

– *техническое противоречие 1 (ТП-1);*

– *техническое противоречие 2 (ТП-2).*

Необходимо при минимальных изменениях в системе указать результат, который должен быть получен.

Техническими противоречиями в АРИЗ называются взаимодействия в системе, связанные с тем, что полезное действие вызывает одновременно и вредное действие, либо введение полезного действия или устранение вредного действия вызывает ухудшение одной из частей системы или всей системы в целом.

2.2. Выделить и записать конфликтующую пару элементов: «изделие» и «инструмент».

Изделием называют элемент, который по условиям задачи надо обработать.

Инструментом называют элемент, с которым непосредственно взаимодействует изделие.

2.3. Составить графические схемы ТП-1 и ТП-2.

2.4. Выбрать из двух конфликтующих схем ту, которая обеспечивает наилучшее осуществление главного производственного процесса.

2.5. Усилить конфликт, указав предельное состояние элементов.

2.6. Записать формулировку модели задачи, указав:

а) конфликтующую пару;

б) усиленную формулировку конфликта;

в) что надо сохранить и что надо изменить.

Для нашей задачи; так как технические противоречия для номинального режима и режима холостого хода будут разные, то для ускорения нахождения практических решений целесообразно рассмотреть две отдельные задачи для каждого из режимов, а затем найти комплексное решение.

Техническая система состоит из форсунки, через которую впрыскивается топливо в камеру сгорания, окна, через которое подается воздух в камеру сгорания, где сгорает смесь паров топлива и воздуха и давление образующихся газов воздействует на поршень.

1) Для номинального режима

ТП-1. Если распыл хороший и дальнобойность факела топлива при впрыске из форсунки велика за счет большого количества подаваемого топлива при высоких оборотах и мощном вихре воздуха, то смесь для сгорания получается хорошая, происходит интенсивное сгорание с минимальным недожогом, и смесь газов, образованных при сгорании, обеспечивает необходимую номинальную мощность, но двигатель перегревается.

ТП-2. Если немного сократить количество подаваемого топлива, а, следовательно, уменьшить дальнобойность факела, то смесь газов, образованных при сгорании, не будет перегревать двигатель, но номинальная мощность снизится.

Веполь – графическое изображение вещества и поля. В качестве вещества в ТРИЗ часто рассматривают два элемента, входящих в конфликтующую пару. Полный веполь обычно включает два вещества и поле (рис. 2.4).

Поскольку при номинальном режиме основным производственным процессом является обеспечение номинальной мощности, то рассматриваем вначале противоречие ТП-1, где он обеспечивается.

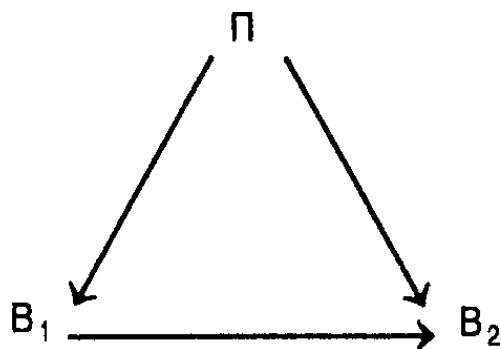


Рис. 2.4. Полный веполю:
 В₁ – инструмент; В₂ – изделие; П – поле

Введем обозначения к рис. 2.5 и 2.6:

- нормальное воздействие;
- слабое воздействие;
- вредное воздействие;

В₁ – топливо;

В₂ – воздух;

С – смесь газов в цилиндре при сгорании топлива;

Д – цилиндро-поршневая группа двигателя.

Для системы В₁, В₂, С инструментом являются В₁ и В₂, а изделием является С.

Для системы С и Д инструментом является С, а изделием Д.

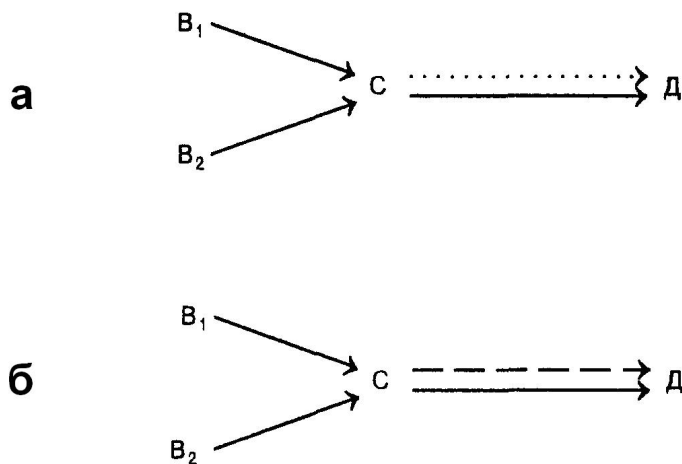


Рис. 2.5. Веполюная форма технического противоречия для номинального режима двигателя:
 а – для ТП-1; б – для ТП-2

Для ТП-1 необходимо, оставив в силе связь $C \rightarrow D$ (обеспечение номинальной мощности), убрать вредное воздействие смеси (высокую теплонапряженность).

Зона конфликта – поверхность цилиндро-поршневой группы, омываемой горячими газами. Необходимо, оставив силовое воздействие, снизить тепловое воздействие в зоне конфликта.

2) Для режима холостого хода (рис. 2.6).

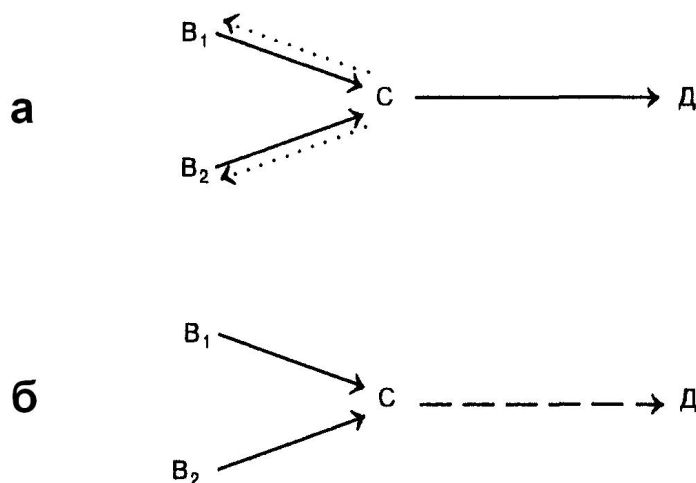


Рис. 2.6. Вепольная форма технического противоречия для холостого хода двигателя:
а – для ТП-1; б – для ТП-2

ТП-1. Если через форсунку подается большое количество топлива, а через окна большое количество воздуха, то смесь газов сгорания обеспечивает устойчивую работу двигателя, но расходуется много топлива и воздуха.

ТП-2. Если через форсунку подается малое количество топлива, а через окна малое количество воздуха, то расходуется малое количество топлива и воздуха, но смесь газов не обеспечивает устойчивую работу, и двигатель работает с пропусками вспышек в отдельных цилиндрах, что приводит к попаданию несгоревшего топлива в масло двигателя.

Поскольку на холостом ходу основной производственный процесс – устойчивая работа двигателя, то рассматриваем вначале противоречие ТП-1, где он обеспечивается.

Для ТП-1 необходимо, оставив сильную связь $C - D$, снять вредные связи C с V_1 и V_2 , т.е. сократить расход V_1 и V_2 и тем самым снизить стоимость процесса.

Для анализа модели задачи необходимо:

3.1. Выбрать изменяемый элемент. Для этого проверить, хорошо ли поддается изменениям инструмент, входящий в конфликтную пару. Если этот инструмент плохо поддается изменениям, следует заменить его в модели задачи X-элементом.

X-элемент, абсолютно не усложняя систему и не вызывая вредных явлений, устраняет вредное воздействие или обеспечивает нормальную работу.

В качестве изменяемого элемента следует брать инструмент, а не изделие.

Если в конфликтную пару вошел инструмент, а в качестве изменяемого элемента выбран X-элемент, необходимо заново записать формулировку модели задачи. Типичная формулировка модели задачи при X-элементе: необходимо ввести X-элемент, который обеспечивал бы устранение (указать вредное воздействие) или получение (указать полезное действие) при имеющемся инструменте.

Если в модели задачи указан отсутствующий инструмент, надо обязательно ввести X-элемент.

X-элемент всегда поддается изменениям, т.е. можно легко и управляемо изменять его положение в пространстве или физические параметры (размеры, форму, скорость, силу и т.д.) и (или) допускать введение добавок. В частности, электромагнитные и тепловые поля относятся к элементам, хорошо поддающимся изменениям (если условиями задачи специально не оговорено обратное).

X-элемент не обязательно должен оказаться новой вещественной частью системы, X-элемент – это некое изменение в системе, некий X вообще. Он может быть равен, например, изменению температуры или агрегатного состояния какой-то части системы или внешней среды.

Иногда условия задачи содержат дополнительное ограничение: инструмент должен быть неизменяемым. Такие задачи решаются введением X-элемента, выполняющего функцию второго инструмента.

3.2. Записать формулировку идеального конечного результата:

– если в качестве изменяемого элемента выбран инструмент, то идеальный конечный результат (указать инструмент) сам устраняет вредное действие (указать), сохраняя способность совершать полезное действие (указать);

– если в качестве изменяемого элемента выбран X-элемент, то идеальный конечный результат: X-элемент, абсолютно не усложняя

систему и не вызывая вредных явлений, устраняет (указать вредное действие), сохраняя способность совершать (указать полезное действие).

Кроме конфликта «вредное действие связано с полезным действием», возможны и другие конфликты, например, «введение нового полезного действия вызывает усложнение системы» или «одно полезное действие несовместимо с другим». Поэтому приведенные формулировки идеального конечного результата следует считать только образцами. Общий смысл этих формулировок: приобретение полезного качества или устранение вредного не должно сопровождаться ухудшением других качеств или появлением вредного качества.

Если из условий задачи известно, каким должно быть готовое изделие, и задача сводится к определению способа получения этого изделия, может быть использован метод «шаг назад от идеального конечного результата». Например, если в идеальном конечном результате две детали соприкасаются, то при минимальном отступлении от идеального конечного результата между деталями надо показать зазор. Возникает новая задача: как устранить дефект? Решение такой микрозадачи обычно не вызывает затруднений и часто подсказывает способ решения общей задачи.

3.3. Определить оперативную зону.

В простейшем случае оперативная зона – это часть изменяемого элемента, в пределах которой необходимо обеспечить сочетание требований, указанных в формулировке идеального конечного результата. Оперативная зона может включать пространство между инструментом и изделием, а если инструмент сдвоенный, то и пространство между инструментами.

Если инструмент – поле, то оперативная зона может полностью или частично проникать в изделие. Это необходимо учитывать и в том случае, если изменяемым элементом взят X-элемент, поскольку неизвестный элемент может оказаться полем.

Оперативная зона может проникать в изделие и в тех случаях, когда инструментом является вещество (в частности, мелкодисперсное), но такое проникновение возможно лишь при условии, что оно не нарушает условий задачи.

Оперативная зона может геометрически включать и весь изменяемый инструмент. В этом случае «часть элемента» означает «составная часть, распространенная во всем пространстве». Например, «кислород – часть воздуха».

Силы, действие которых появляется в оперативной зоне (например, сила давления), могут создаваться устройствами, находящимися вне этой зоны.

3.4. Определить оперативное время – время, в течение которого необходимо обеспечить сочетание требований, указанных в формулировке идеального конечного результата.

3.5. Усилить формулировку идеального конечного результата дополнительным требованием: в систему нельзя вводить новые вещества и поля, необходимо использовать вещества и поля, уже имеющиеся в системе, прежде всего в оперативной зоне.

3.6. Записать формулировку физического противоречия на микроуровне: часть элемента в оперативной зоне в течение оперативного времени должна быть (указать физическое макросостояние, например, «быть теплопроводной»), чтобы выполнять (указать противоположное физическое макросостояние, например, «быть нетеплопроводной»).

3.7. Записать формулировку физического противоречия на микроуровне: в оперативной зоне должны быть частицы вещества (указать их физическое состояние или действие), чтобы обеспечить (указать требуемое по 3.6 макросостояние), и не должно быть таких частиц (или должны быть частицы с противоположным состоянием или действием), чтобы обеспечить (указать требуемое по 3.6 другое макросостояние).

3.8. Записать формулировку идеального конечного результата: оперативная зона в течение оперативного времени сама обеспечивает (указать противоположные физические макро- или микросостояния).

Для нашей задачи рассмотрим номинальный режим. В качестве изменяемого элемента берем вначале топливо. В этом случае идеальный конечный результат можно сформулировать: факел топлива при хорошем распыле и достаточной дальности, а также при мощном вихре воздуха интенсивно сгорает, обеспечивая необходимую мощность, и в то же время поглощает часть тепла, предотвращая перегрев двигателя.

Оперативной зоной в данном случае является пространство между инструментами: топливом и воздухом.

Оперативным временем является время от момента впрыска топлива до момента начала выпуска выхлопных газов.

Так как согласно 3.5 в систему нельзя вводить новое вещество, то частицы топлива, интенсивно испаряясь и сгорая в вихре воздуха, сами должны поглощать часть тепловой энергии, предотвращая перегрев двигателя.

На микроуровне физическое противоречие: частица топлива должна быстро испаряться и сгорать (образуя интенсивный тепловой импульс при образовании продуктов сгорания, их расширении) и за счет этого создавать давление и в то же время не образовывать интенсивный тепловой импульс, который способствует перегреву двигателя.

Для холостого хода в качестве изменяемого элемента также берем вначале топливо: через форсунку подается достаточное количество топлива, чтобы создать дальнобойность факела, обеспечивающего интенсивное сгорание топлива в центральной части вихря, и в то же время подается малое количество топлива, чтобы расход топлива был минимальным.

Для холостого хода идеальный конечный результат: подача малого количества топлива и воздуха обеспечивает низкие затраты, в то же время обеспечивает устойчивую работу двигателя на этом режиме без пропуска вспышек в отдельных цилиндрах.

На микроуровне физическое противоречие: частицы топлива и воздуха расходуются в малом количестве, в то же время осуществляется их циклическое самовоспламенение и сгорание без пропуска вспышек в отдельных цилиндрах.

Для улучшения процесса сгорания на этом режиме необходимо, с одной стороны, увеличить дальнобойность топливного факела, чтобы основная порция топлива попадала в центральную часть вращающегося вихря воздуха, с другой стороны, увеличить площадь активной зоны горения в центральной части вихря.

Для увеличения дальнобойности топливного факела наиболее целесообразно изменить параметры отверстия для впрыска топлива.

Частицы топлива содержатся в достаточном количестве, чтобы образовать факел топлива с дальнобойностью, обеспечивающей попадание основной порции топлива в центральную часть вихревого потока воздуха, воспламенение и полное сгорание, в то же время для

создания топливного факела частицы топлива содержатся в малом количестве, что обеспечивает малый расход топлива в этом режиме.

Приведем последовательность разрешения физического противоречия:

4.1. Непосредственное решение.

Рассмотреть возможность решения задачи непосредственно из формулировки идеального конечного результата.

4.2. Вепольный анализ.

Составить вепольную формулу системы, рассмотреть ее простейшие преобразования.

4.3. Метод моделирования маленькими человечками.

При этом используются следующие условия: маленькие человечки хорошо делают только простую работу (вращаются, сжимаются, растягиваются и т.д.). Они не могут делать одновременно несколько дел. Человечки имеют свои вкусы и слушаются своих начальников (электропроводные человечки слушаются начальника – электрическое поле, ферромагнитные человечки – магнитное поле и т.д.).

Используя моделирование маленькими человечками, построить схему физического противоречия. Изменить схему так, чтобы маленькие человечки действовали, не вызывая конфликта.

4.4. Применение типовых преобразований. Рассмотреть возможность устранения физического противоречия с помощью типовых преобразований.

4.5. Применение «указателя физических эффектов». Рассмотрим возможность устранения физических противоречий с помощью «Указателя применения физических эффектов».

4.6. Анализ трудных задач.

Если задача решена, перейти от физического решения к техническому, сформулировать способ и дать принципиальную схему устройства, осуществляющего этот способ. Если ответа нет, проверить, не является ли формулировка 2.1 сочетанием нескольких разных задач. В этом случае следует выделить отдельные задачи для поочередного решения. Если после этого нет ответа, вернуться к 3.1, взять другой изменяемый элемент и повторить анализ. Если повторный анализ не дал ответа, вернуться к шагу 2.1 и заново сформулировать

мини-задачу, отнеся ее к надсистеме, в которую входит рассматриваемая система. При необходимости такое возвращение к мини-задаче совершают несколько раз – с переходом к подсистеме и т.д.

4.7. Усиление ответа.

Рассмотреть вводимые вещества и поля. Можно ли не вводить новые вещества и поля, используя те вещества и поля, которые уже есть в системе или в окружающей среде? Можно ли использовать саморегулируемые вещества? Ввести соответствующие поправки в технический ответ.

Для номинального режима идеальный конечный результат: сокращенное количество топлива при сгорании в интенсивном вихре воздуха не вызывает перегрев двигателя и в то же время обеспечивает необходимую номинальную мощность.

На микроуровне физическое противоречие: частицы топлива при образовании продуктов сгорания выделяют тепловую энергию в количестве, которое можно передать через стенки в систему охлаждения, не перегревая двигатель, и в то же время создают достаточное давление для обеспечения номинальной мощности двигателя.

Анализ показал, что для разрешения физического противоречия на этом режиме целесообразно подавать вместо топлива водно-топливную эмульсию обратного типа – вода в топливе. При этом происходит дополнительное смесеобразование за счет микровзрывов при разной температуре кипения воды и дизельного топлива, получения дополнительной энергии при превращении воды в пар. Кроме того, присутствие водяных паров в контакте с топливом при высоких температурах в зонах с недостатком кислорода препятствует кренингу топлива с образованием сажи за счет эндотермических реакций, особенно в центре горящего вихря:



выгорания уже образовавшегося углерода $\text{C} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO} + \text{H}_2$ и последующего интенсивного сгорания $\text{CO} + \text{H}_2$. При этом дополнительно поглощается тепловая энергия на преобразование воды в пар в камере сгорания. В результате повышается КПД двигателя и одновременно снижается теплонапряженность.

Вепольный анализ (рис. 2.7):

T – тепловое поле, образованное при сжатии воздуха в цилиндре;

C – смесь;

T' – тепловое поле, образованное при сгорании топлива;

М – механическое поле, образованное при сгорании топлива;
 Д – цилиндро-поршневая группа дизеля.

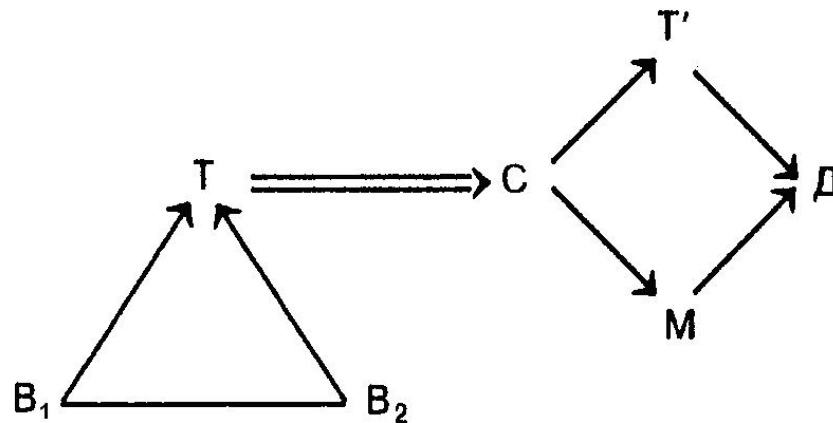


Рис. 2.7. Исходный веполь:
 B_1 – топливо; B_2 – воздух

При использовании водно-топливной эмульсии система будет иметь вид рис. 2.8.

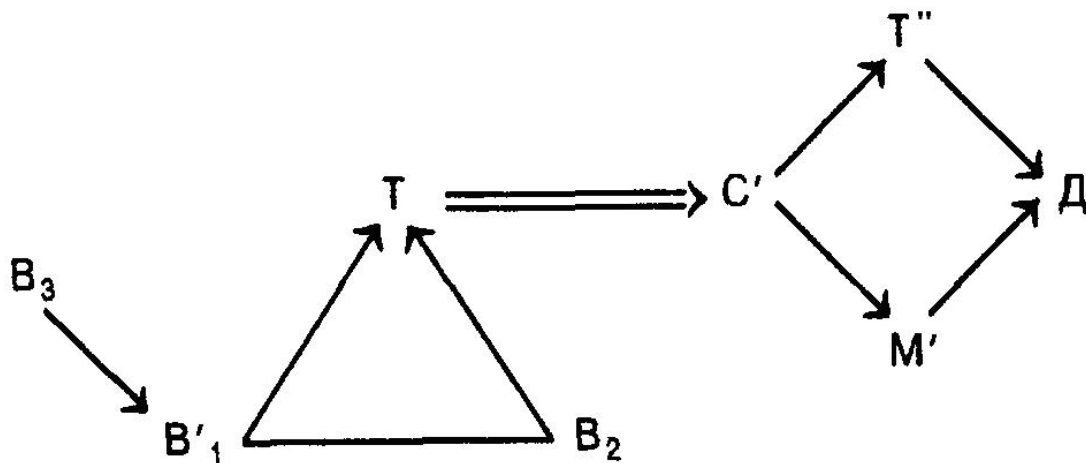


Рис. 2.8. Веполь с применением водно-топливной эмульсии (B_1):
 B_3 – вода, входящая в состав B_1

Кроме того, для устранения вредного воздействия Т на Д можно воздействовать и другими путями на все составляющие веполя: B_1 , B_2 и Т. При этом целесообразно рассмотреть воздействие полей на B_1 и B_2 как в отдельности, так и в комбинации. В результате веполь будет иметь вид рис. 2.9.

Причем на B_1 можно воздействовать всеми полями и дополнительно звуковым полем. На B_2 с практическим результатом можно

воздействовать электрическим, магнитным, тепловым и звуковым полем. Если считать воздействие полей одного режима, то и здесь уже 24 варианта решения.

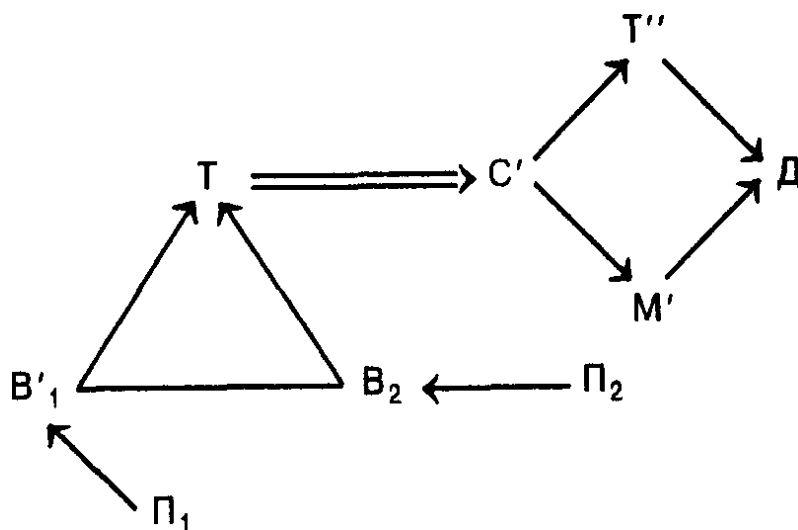


Рис. 2.9. Веполь с изменением полей

Вариант с комбинированным использованием полей, выполненный на уровне изобретения, в вепольной форме имеет вид рис. 2.10.

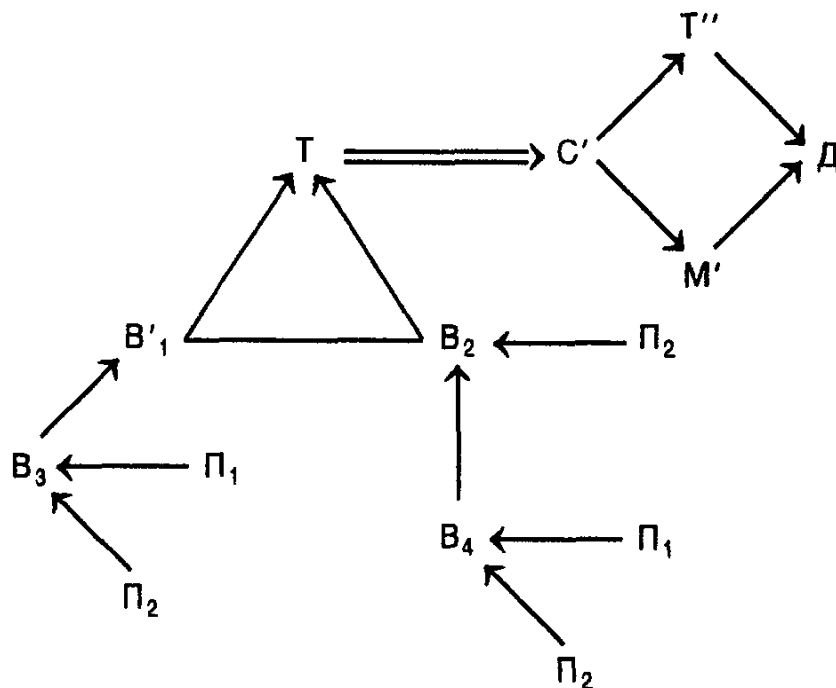


Рис. 2.10. Комбинированный веполь:

B_3 – дополнительное топливо, подаваемое в воздуховпускной тракт;

Π_1 – тепловое поле выхлопных газов;

Π_2 – комбинированное поле электрического разряда;

B_4 – вода, подаваемая в воздуховпускной тракт

В данном варианте учитывается воздействие полей в зависимости от режима работы двигателя (обработку полями дополнительного топлива, подаваемого в воздуховпускной тракт, прекращают на режимах максимальной мощности; на режимах запуска прекращают подачу воды, а на режимах холостого хода прекращают подачу воды и дополнительного топлива).

3. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД В ПРОЕКТИРОВАНИИ

3.1. Системный подход, декомпозиция, синтез

Технические объекты находятся в сложных взаимных связях друг с другом, иногда обозначенных четко, иногда трудно выявляемых. Очевидно, что учет этих связей необходим, и поэтому в задачи проектирования сложных объектов повсеместно внедряется системный подход, который предусматривает рассмотрение каждого объекта в многообразии его связей с другими объектами и системами и оптимальное его построение не только по объектовым показателям «эффект–затраты», но и в целях повышения эффективности большой системы. Обычно прямой путь детальной разработки и оптимизации большой системы целиком (со всеми составляющими объектами и связями) нереализуем как из-за вычислительных трудностей, так и организационных. Поэтому распространенным рабочим аппаратом проектирования является метод разбиения, декомпозиции системы, которому и будем следовать [3].

Цель декомпозиции в техническом плане – упростить задачу формирования сложной системы путем рассмотрения ее по частям, а в организационном плане – расширить фронт работ по формированию системы, предоставив автономию разработчикам частей, но сохранив основные факторы управления за разработчиком «большой системы». В прикладных проектных разработках обычно используются различные приближенные приемы декомпозиции.

Разработаны основы и другого метода проектирования, в известной степени обратного методу декомпозиции, когда производится композиция сложной системы из элементов специальным образом развиваемой агрегатной базы. Метод композиционного проектирования, по-видимому, позволяет достичь строго оптимального глобального проектного решения и имеет ряд преимуществ при внедрении автоматизированного проектирования. Однако, как отмечено в работе, метод содержит дискуссионные вопросы и ряд поднятых проблем еще требует своего практического решения.

Займем позицию разработчика отдельного объекта и будем твердо ее придерживаться, выполняя требования системного подхода (предполагается, что архитектура большой системы уже намечена

специальными исследованиями). Для этого распространим на систему, содержащую разрабатываемый объект, следующие общие положения.

1. Систему можно исследовать по частям (декомпозировать), разбив ее на уровни $1, \dots, q$.

Один из уровней $n \in \overline{1, q}$ должен включать разрабатываемый объект со связями, идущими от него вверх – к уровню $n + 1$, вниз – к уровню $n - 1$, и по горизонтали – к подсистемам того же ранга. Встречаются случаи, когда отдельные связи идут к подсистемам более высоких уровней, минуя $n + 1$.

2. Уровень y вырезается из тела системы, при этом в местах сечений возникают «силы связей», до этого скрытые в системе. Из всего обилия связей оставляется минимальное число существенных. Связи представляются формально в виде чисел и параметрически заданных функций; изменение параметров, замещающих связь, изменяет условия проектирования и функционирования как уровня y , так и объектов соседних уровней. Представленные в явном виде существенные связи и их параметры являются одновременно основными линиями технического взаимодействия для коллективов, участвующих в разработке.

3. Предполагается существование разработчиков уровня $n + 1$ и всей системы (последнее условие часто нарушается), с которыми можно установить контакт в целях составления перечня существенных связей, описания идущих по ним воздействий и формирования частных критериев эффективности для уровня y . Точно такие же функции разработчик объекта выполняет по отношению к уровню $n - 1$.

4. После проведения процедур 2 и 3 разработчик объекта обособится внутри системы и при заданных параметрах связей и согласованных критериях может вести работу самостоятельно, зная детально только свой уровень и только за него неся ответственность. При этом он может оптимизировать объект по выделенным частным критериям, используя параметры связей как ограничения задачи.

Следует выделить и учитывать особый вид связей (весьма распространенный), когда объект y органически входит в большую систему A через ее уровень $n + 1$ и одновременно связан через свои характеристики и параметры со взаимодействующей и обслуживающей большой системой B совсем другого класса, не принадлежащего A .

Так, длина разбега (пробега) самолета определяет его связь с большой системой B базирования авиации и определяет класс аэродромов в составе этой системы: взлетная масса самолета является достаточно представительной связью со всей системой его производства и эксплуатации и т.п.

Проведенная декомпозиция и выполнение операций $1...4$ позволяют не только оптимизировать объект, соблюдая интересы большой системы, но и создают предпосылки для оптимизации системы в целом (по ее глобальным критериям) путем вариации параметров связей уровней $1, \dots, q$. При этом разработчик системы имеет дело с достаточной для проведения оптимизации копией системы, но описанной существенно меньшим числом переменных. Напомним, что каждому набору значения параметров существенных связей уже поставлен в соответствие локально оптимальный объект, полученный на основе процедуры 4.

Однако выделение существенных связей внутри сложной системы важно не столько для ее оптимизации, сколько для предварительного ее изучения. Действительно, варьируя параметры связей, можно наблюдать, как перераспределяются условия проектирования для подсистем и как, добившись выгоды для одной подсистемы, создают тупиковую ситуацию для другой (существенные связи двусторонние).

Таким образом, аппарат существенных связей позволяет обоснованно разрешать споры между соразработчиками.

Перейдем к формальной записи представленных выше процедур декомпозиции.

Система (объект), размещенная на уровне n , задается вектором своих варьируемых проектных параметров k^n и содержит подсистему (элемент) $n - 1$, заданную параметрами k^{n-1} . Если заданы и структурные схемы обеих систем и условия применения, то всегда с помощью модели операции можно получить оценку эффективности системы n в форме $w^n(k^n, k^{n-1})$. Эти оценки точные, но, основываясь на них, нельзя из-за вычислительных трудностей построить процедуры оптимизации многоуровневых систем. Тогда выделяются отдельные характеристики подсистемы $w^{n-1}(k^{n-1})$, от которых в первую очередь зависит w^n .

Для разработчика уровня n обычно не составляет никакого труда перечислить эти характеристики, так как именно из-за них подсист-

тема включена в состав системы. Характеристикам можно придать вид частных критериев эффективности подсистемы, и их увеличение приводит к многотонному изменению. Таким образом, можно записать

$$w^n = w^n \left[k^n, w^{n-1}(k^{n-1}) \right]. \quad (3.1)$$

Предполагается, что на каждом уровне есть своя модель операции (или алгоритм) для оценки w^{n-1}, w^n, w^{n+1} .

Но за полезный эффект подсистем w^{n-1} приходится платить ресурсными затратами системы. Их можно представить вектором S_{n-1}^n , компонентами которого в большинстве случаев являются затраты массы, объемов, энергии на размещение и функционирование подсистемы $n-1$ (общее число таких компонент невелико).

Эти числовые величины налагают дополнительные ограничения на возможность выбора параметров k^n , и через структурную схему объекта им можно придать вид функций ограничения $g_{n-1}^n(k^n) \geq S_{n-1}^n$. Очевидно, S_{n-1}^n можно рассматривать как существенную связь между уровнями n и $n-1$. Но одновременно S_{n-1}^n как ресурс, выделенный разработчиком системы n , определяет ограничения для выбора параметров подсистемы, и их тоже можно представить в виде функций ограничений уже для подсистемы $g_n^{n-1}(k^{n-1}) \leq S_{n-1}^n$.

Таким образом, используя схему существенных связей между тремя уровнями, изображенную на рис. 3.1, можно записать

$$g_{n-1}^n(k^n) \geq S_{n-1}^n \geq g_n^{n-1}(k^{n-1}). \quad (3.2)$$

При этом следует учитывать естественное ограничение $S_{n-1}^n \geq S_{n-2}^{n-1} \geq \dots \geq S_0^1$. Помимо этого на каждом уровне системы A существуют автономные ограничения, не имеющие отношения к связям S внутри системы A . Эти ограничения, наложенные связями со взаимодействующими системами B , а также всякого рода конструктивными, нормативными и прочими ограничениями, представим неравенствами

$$g_n^n(k^n) \leq b^n. \quad (3.3)$$

Каждое из ограничений (3.2), (3.3) наделяет свое допустимое множество значений параметров K^n :

$$\begin{aligned} K_{n-1}^n(S_{n-1}^n) &= \left[k^n \mid g_{n-1}^n(k^n) \geq S_{n-1}^n \right]; \\ K_{n+1}^n(S_n^{n+1}) &= \left[k^n \mid g_{n+1}^n(k^n) \leq S_n^{n+1} \right]; \\ K_n^n(b^n) &= \left[k^n \mid g_n^n(k^n) \geq b^n \right]. \end{aligned} \quad (3.4)$$

Здесь первое множество выделено связями с уровнем $n-1$, второе – с ограничениями, идущими от уровня $n+1$ и последнее – с ограничениями на уровне n .

Пересечение этих трех множеств образует общее допустимое множество K^n объектов k^n на уровне n :

$$K^n = K_{n-1}^n(S_{n-1}^n) \cap K_{n+1}^n(S_n^{n+1}) \cap K_n^n(b^n) = K^n(S_{n-1}^n, S_n^{n+1}, b^n). \quad (3.5)$$

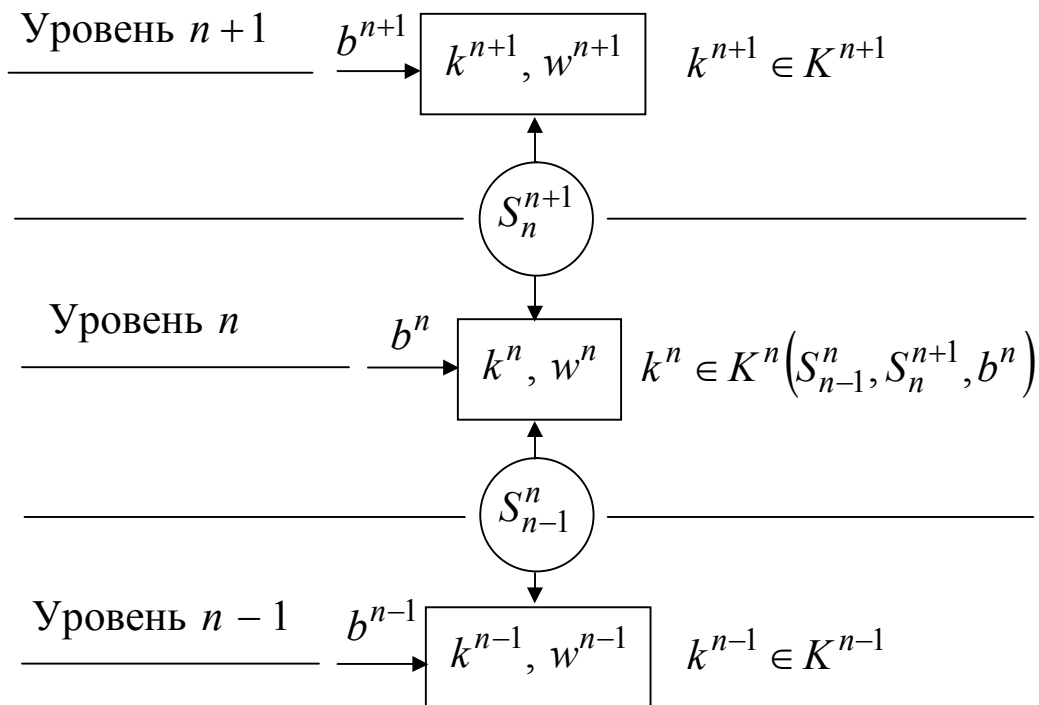


Рис. 3.1. Схема существенных связей типа ограничений между объектом n , его элементом $n-1$ и системой $n+1$

Тогда задача поиска оптимального решения k^n при зафиксированных параметрах связей S ставится в следующей форме:

найти

$$k_{\max}^n(S_{n-1}^n, S_n^{n+1}, b^n, w^{n-1}) = \arg \max_{k^n \in K^n} w^n(k^n, w^{n-1}).$$

Здесь $K^n(S_{n-1}^n, S_n^{n+1}, b^n)$ определено уравнением (3.5).

Как видно, плата за установку подсистемы, как и за принадлежность к надсистеме, выразилась для конструкции n в сжатии допустимой области решений от исходной K_n^n к K^n .

Далее в задаче синтеза параметры существенных связей S должны варьироваться, а параметры b временно фиксируются.

Рассмотрим процедуру оптимизации системы n , для чего на каждом уровне, начиная с нижнего ($l = 0$), найдем связь максимума показателя эффекта w_{\max}^l подсистемы l с параметрами существенных связей S . Очевидно, формальным признаком нижнего уровня $l = 0$ является отсутствие связи S_{l-1}^l , и, используя это условие и выражение (3.5) при $n = 0$, запишем:

$$\max_{k^0 \in K^0(S_0^1, b^0)} w^0(k^0) = w_{\max}^0(S_0^1, b^0). \quad (3.6)$$

Соответственно для уровня $l = 1$:

$$\max_{k^1 \in K^1(S_0^1, S_1^2, b^1)} w^1(k^1, w_{\max}^0(S_0^1, b^0)) = w_{\max}^1(S_0^1, S_1^2, b^0, b^1). \quad (3.7)$$

Продолжая эти построения, можно получить для уровня $l = n$:

$$\max w^n(k^n, w_{\max}^{n-1}) = w_{\max}^n(S_0^1, \dots, S_n^{n+1}, b^0, \dots, b^n). \quad (3.8)$$

Опираясь на соотношения (3.6 – 3.8) и назначая параметры S , можно управлять процессом проектирования многоуровневой системы в целом и ее отдельных подсистем. Если n представляет собой верхний уровень большой системы, а w^n – ее глобальный критерий, то максимум w^n находится вариацией параметров связей в соотношении (3.8):

$$w^n(b^0, \dots, b^n) = \max_{(S_0^1, S_0^2, \dots, S_n^{n+1}) \in S} w_{\max}^n(S_0^1, \dots, S_n^{n+1}, b^0, \dots, b^n). \quad (3.9)$$

В этой задаче параметры $b^i, i = 1, \dots, n$ могут быть зафиксированы. Результатом решения задачи (3.9) являются оптимальные значения параметров связей всех уровней $\bar{S}_0^1, \dots, \bar{S}_n^{n+1}$. Подстановка их в соотношения $w_{\max}^l(\bar{S}, b)$, найденные ранее в процессе решения общей задачи, позволяет получить показатели эффекта подсистемы каждого уровня $w_{\max_{\max}}^l(\bar{S}_0^1, \dots, \bar{S}_l^{l+1})$, соответствующие максимуму эффекта $w_{\max_{\max}}^n$ системы в целом, и в точках максимумов найти конструктивные параметры подсистемы $k_{\max_{\max}}^l$, соответствующие оптимальному построению всей системы:

$$k_{\max_{\max}}^l = \arg(w^l(k^l, w_{\max_{\max}}^{l-1}) | w^l = w_{\max}^l). \quad (3.10)$$

Вычислительные процедуры параметрического синтеза, основанные на проведении декомпозиции системы по предложенной схеме, могут оказаться громоздкими, но они практически выполнимы для рассматриваемой трехуровневой системы, где формируемый объект (уровень $l = 1$), состоящий из транспортного аппарата, представленного параметрами k^1 , входит в состав группы объектов (уровень $l = 2$).

Если планирующими органами выделены ассигнования на парк (планируемый выпуск) объектов C_Σ , то в простых случаях функции суммарных затрат придается вид $C_\Sigma(N, C(k^1, N))$, где N – численность объектов в выпуске; C – затраты на один объект. Обычно существуют ограничения и на численность N , и тогда существенной связью S_1^2 становится константа ограничений затрат на один объект

$$C(k^1) \leq S_1^2.$$

Для однотипных объектов в качестве показателя затрат часто принимают массу объекта $C(k^1) = m(k^1)$.

Для представления элементов в задаче (уровень $l = 0$) опишем их рядами локально-оптимальных альтернатив $i = 1, \dots, d$, ранжированных в ряде по показателям роста их размерности $G(i)$ и соответственно эффекта $w^0(i)$. Для любых элементов i', i'' , взятых из ряда, из условия $G(i') \geq G(i'')$ следует $w^0(i') \geq w^0(i'')$. Связь элемента с объек-

том представлена ограничениями на размещение элемента $G(i) \leq S_0^1$. Задание S_0^1 в данном случае однозначно определяет оптимальный элемент $i_{\max}(S_0^1)$, как наиболее близкий по размерности $G(i)$ к S_0^1 . Элемент содержит все характеристики $x^0(i) = f(k^0(i))$, необходимые для моделирования объекта в операции. В случае варьирования одного элемента из числа входящих в состав объекта и при скалярном показателе эффекта объекта можно записать:

$$w^1 = w^1(k^1, i(S_0^1)).$$

При зафиксированных S_1^2 , S_0^1 находится оптимальный объект k_{\max}^1 , доставляющий максимум w^1 :

$$\max_{k^1 \in K^1(S_0^1, S_1^2, B^1)} w^1(k^1, i(S_0^1)) = w_{\max}^1(i_{\max}(S_0^1), S_1^2, b^1). \quad (3.11)$$

Допустимое множество объектов $\{k^1\} = K^1$ формируется с помощью САПР с учетом ограничений $C(k^1) \leq S_1^2$, $G(i) \leq S_0^1$, а оптимальный объект k_{\max}^1 ищется с привлечением операции моделирования. Оглаженная процедура вычисления повторяется при варьировании в нужных пределах параметров связей S_0^1 , S_1^2 , и таким образом находится абсолютный максимум $w_{\max_{\max}}^1$ и соответствующие ему объект $k_{\max_{\max}}^1$ и элемент $i_{\max_{\max}}$.

Напомним, что в рассматриваемой задаче параметр связи S_1^2 зафиксирован в виде затрат на объект, поэтому варьируется только S_0^1 , что практически сводится к перебору элементов i_{\max} в (3.11) из их числа, принадлежащего ряду $i = 1, \dots, d$.

Типовые задачи синтеза приводятся в терминах и обозначениях общей схемы параметрического синтеза при зафиксированных условиях.

Будем считать, что ограничениями $g(z) \leq b$ выделено допустимое множество Z объектов z и задано моделью операции соотношение $v = f(z)$, позволяющее сопоставить каждому объекту $z = (z_1, \dots, z_n) \in Z$ величину достигаемого эффекта $v = (v_1, \dots, v_p)$.

Рассмотрим несколько типовых постановок и методов синтеза z_0 при разной постановке задачи проектирования M_0 .

1. Получение полного образа V области допустимых решений Z (множества всех альтернатив) в пространстве выходных показателей $v(z) = (v_1(z), \dots, v_p(z))$.

Отображение производится с помощью вектор-функции $v(z)$:

$$V = v(Z) = \{v \mid v = v(z), z \in Z\}. \quad (3.12)$$

В прикладных задачах выделяется множество опорных точек z , достаточно полно представляющих область Z , и для этих точек находится $v(z)$ методом моделирования операции.

Проведение процедуры (3.12) всегда полезно, так как дает полное представление о достижимых значениях параметров эффекта $v_i, i = 1, \dots, p$ для всех проектных решений.

Выбор лучшего объекта (лучших объектов) при этом сводится к относительно простым операциям сравнения $v = (v_1, \dots, v_p) \in V$. Применение данного метода ограничено вычислительными возможностями разработчика.

Построение области эффекта V даже приближенными методами имеет важное значение при оценке роли ограничений и перспективности различных структурных схем объектов.

2. Проектирование объекта по ТЗ. Задача проектирования содержит систему чисел v_{0j} и неравенств

$$v_j \geq v_{0j} \quad (3.13)$$

и требует найти хотя бы одно решение z_0 из Z , удовлетворяющее (3.13). Очевидно, выделяется область V_0 в пространстве параметров v_j . Геометрически это неотрицательный ортант (или конус) с вершиной в точке $v_{0j}, j = 1, \dots, p$. Если выполнены процедуры рассмотренной выше задачи 1 и найдена область эффекта V , то решение сразу находится, так как им является любая точка z_0 пересечения ортанта V_0 с областью V :

$$z_0 \in V \cap V_0. \quad (3.14)$$

Если пересечения не существует, т.е. $V \cap V_0 = 0$, то необходимо искать новую структурную схему объекта, а если и здесь резервы исчерпаны, то следует изменять ограничения задачи, выделяющие область Z , перераспределять параметры существенных связей между взаимодействующими системами либо изменять числа v_{0j} на основе компромисса с разработчиками ТЗ. В случаях, когда получение полного образа V множества Z невыполнимо, следует использовать один из известных алгоритмов поиска z_0 , удовлетворяющего функциям ограничений $g(z) \leq b$ с проверкой на выходе выполнения условий (3.13).

Постановка задачи с алгоритмом поиска хотя бы одного решения, удовлетворяющего ТЗ, может устроить монопольного разработчика объектов. В условиях конкурса необходимо просмотреть уже несколько характерных решений, удовлетворяющих (3.14), с тем, чтобы из них по каким-то дополнительным признакам, согласованным с заказчиком, выбрать лучшее. Естественно, это связано с большой вычислительной и проектной работой.

3. Предельное решение задачи проектирования. При заданной номенклатуре показателей $v_j, j = 1, \dots, p$ путем вариации значений параметров $(v_{01}, \dots, v_{0p}) = v_0$ ищется такое их значение v_0^n , при котором область решений $Z_0 = \left[z_0 \mid v(z_0) \geq v_0^n \right]$ стягивается в точку z_0^n . Численный метод поиска предельного решения состоит в последовательном переводе каждой из ограничивающих функций v_{0j} в разряд целевой с выполнением процедуры ее максимизации. Найденное решение z_0^n и параметры ТЗ v_{0j}^n являются предельными и неулучшаемыми (при сохранении условий задачи). Однако, если пространство параметров v_j , является физически неоднородным, то разные искусственные приемы его нормирования, необходимого для решения задачи, приводят не к единственному, а к множеству решений Z_0^n .

4. Оптимизация в случае скалярного критерия $A = F(v)$, где $F(v)$ – заданная скалярная целевая функция. В этом случае требуется найти z_0 , максимизирующее $F(v(z))$, т.е. решить задачу на условный экстремум многопараметрической функции

$$z_0 = \arg \max_{z \in Z} F(v(z)). \quad (3.15)$$

В частном случае в качестве критерия A выбирается один из выходных показателей v_j , т.е. $A = v_j$, и тогда решением является

$$z_0 = \arg \max_{z \in Z} v_j(z); \quad j = \overline{1, p}. \quad (3.16)$$

Целевая функция обычно монотонна по параметрам v_j . Задачи (3.15), (3.16) решаются на ЭВМ одним из методов оптимизации.

Проследим природу появления критерия A в виде скалярной функции.

Как правило, рассматриваемые нами многокритериальные объекты в операциях применения характеризуются многими выходными показателями. Выбор в качестве критерия единственного показателя $A = v_j$, (например, параметр незаметности самолета или его высоты полета) приводит к созданию «обостренных» конструкций, где все резервы обращены на наращивание только одного показателя ценой известного пренебрежения к остальным (что неизбежно при ограниченных ресурсах конструкции, выделенных условиями $g(z) \leq b$). В объектах военного назначения и в некоторых гражданских такие решения могут иметь временный успех, а затем начинают уступать объектам с гармонично развитыми показателями. Однако проработка рекордных конструкций полезна как промежуточный этап в задаче проектирования, намечающий реализуемые границы выходных показателей. К тому же эти решения стимулируют развитие техники.

Критерий в форме $A = F(v_1, \dots, v_p)$ уже более подходит к практическим задачам проектирования многоцелевого объекта, так как обеспечивает развитие ряда показателей объекта, определяющих его интегральный полезный эффект. Разные виды целевых функций $F(v)$ (сверток) широко рассмотрены в литературе. Применяются глобальные целевые функции в виде суммы локальных показателей

$$F(v) = \sum_{j=1}^n v_j,$$

в виде суммы с весами a_j , подчеркивающими важность отдельных показателей,

$$F(v) = \sum_{j=1}^n a_j v_j, \quad \text{где} \quad \sum_{j=1}^n a_j = 1,$$

в виде мультипликативного критерия (так называемый принцип справедливого компромисса)

$$F(v) = \prod_{j=1}^n v_j$$

и ряде других более сложных форм.

Системой правдоподобных рассуждений и аналогий форма свертки обязательно должна увязываться с классом решаемой задачи, но все равно в ее выборе сохраняется весьма большая доля произвола, что приводит к различным решениям оптимизационной задачи. Таким образом, замыкание задачи проектирования в случае скалярного критерия оказывается строгим только формально, но не по существу.

5. Векторная задача оптимизации. Эта постановка, не решая до конца задачу выбора лучшей альтернативы z_0 формально строгими методами, позволяет существенно продвинуться в ее решении. Пусть для разработчика представляют ценность все выделенные выходные показатели объекта v_1, \dots, v_n , но он не утвердился в выборе свертки $F(v_1, \dots, v_n)$, т.е. цель создания объекта, выраженная математически, ему до конца не ясна (это нормальная ситуация). Оказывается, можно строгими методами, не зная функции $F(v)$, выделить в области V лучшие решения, доминирующие другие при любой монотонной целевой функции $F(v)$. Одним из таких приемов, позволяющих сузить область поиска в V и соответственно в Z , являются решения, оптимальные по Парето. Геометрическое пояснение этого принципа дано на рис. 3.2 для случая, когда вектор показателей двумерный $v = (v_1, v_2)$, а область V строго выпукла. Очевидно, что из любой точки области V , включая граничные, но не принадлежащие дуге ab , можно увеличить одновременно оба показателя v_1 и v_2 , и только при достижении ab эта возможность будет утрачена (при перемещении по дуге ab один из показателей будет расти, а другой уменьшаться). Объекты в Z , породившие точки дуги ab , называются эффективными или оптимальными по Парето и доминируют все остальные объекты области Z . В задаче с многомерным вектором $v = (v_1(z), \dots, v_n(z))$ альтернатива $z^1 = (z_1^1, \dots, z_k^1)$ доминирует по Парето альтернативу $z^2 = (z_1^2, \dots, z_k^2)$, если $v_j(z^1) \geq v_j(z^2)$, $j = 1, \dots, n$, и хотя бы для одного j такое неравенство является строгим. Решение векторной задачи оптимизации состоит в нахождении всех эффективных точек (множест-

ва Парето) из Z . Множество Парето, обычно обозначаемое символом $\Pi(v, z)$, значительно уже Z .

В большинстве задач оптимального проектирования полезно находить множество $\Pi(v, Z)$ и уже только на нем, а не на всем Z , строить процедуры окончательного выбора единственного «лучшего» решения выделением сверток, привлечением экспертов и лиц, принимающих решения, и т.п.

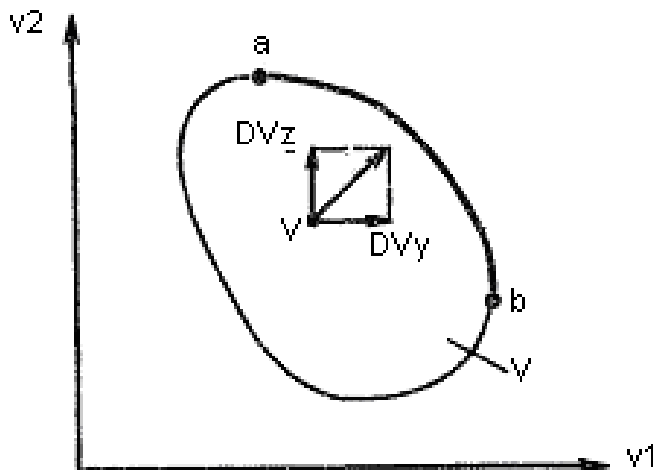


Рис. 3.2. Пояснение принципа выделения решений, оптимальных по Парето, в случае двух критериев оптимизации

6. Максимизация одного или части показателей v_j (j – некоторые из $\overline{1, n}$) при ограничениях на остальные $v_j \geq v_{0j}$. Оптимизация проводится либо по скалярному, либо по векторному критерию. Это одна из наиболее распространенных постановок задач проектирования и ее решение можно получить, объединив задачи 2 и 3 или 2 и 4.

Пусть декомпозиция системы проведена, объект выделен из системы и образована область допустимых решений (множество альтернатив) с учетом параметров связей с системой. Однако строгое решение типовых задач параметрического синтеза во многих случаях остается недостижимым из-за вычислительных трудностей, связанных с высокой размерностью вектора варьируемых параметров, большим числом выделенных для просмотра альтернатив и сложностью их оценок на имитационных моделях.

Возможные пути упрощения задачи могут состоять в уменьшении размерности векторов z и v , в совершенствовании простых мо-

делей операций, в сокращении числа обращений к точной модели операции путем предварительного отбора в Z недоминируемых решений по частным признакам качества и ряд других приемов. Упрощение задач необходимо сопровождать разработкой вычислительных процедур построения решений, сходящихся к оптимальному. Критерием для выбора тех или иных упрощений являются затраты машинного и календарного времени на получение решения при допустимом значении ошибки. Основные затраты времени связаны как со стремлением найти строго оптимальное решение в многомерной области Z , так и с желанием получить наиболее достоверную оценку эффективности объекта в операциях.

Путь экономии времени применением упрощенных моделей оценки эффективности, видимо, неприемлем, так как недостоверность результатов здесь наиболее пагубна для судьбы всего проекта; в то же время допустим некоторый «недобор» в эффективности вследствие выбора нестрого оптимального решения.

Примем этот подход эвристически (хотя задача оптимального распределения времени доступна формализации) и, следуя ему, проведем декомпозицию задачи проектирования вслед за проведенной ранее декомпозицией технической системы.

В схеме параметрического синтеза наряду с проектными параметрами объекта и областью его существования K участвуют и характеристики объекта $x = (x_1, \dots, x_m)$. Прямое решение задачи связано с поиском оптимального решения $k_0 = (k_{01}, \dots, k_{0n})$ в пределах области K с вычислением характеристик $x(k)$ и имитационным моделированием объекта с целью получения оценок $w(x)$. Однако представления конструктора, заказчика, потребителя о плохом или хорошем техническом объекте складываются уже на уровне его характеристик, без проведения моделирования в многочисленных операциях, и можно предположить с большой долей вероятности, что среди объектов, лучших по характеристикам x , окажутся и объекты, лучшие в операциях по показателям w . Тогда проведем сжатие множества K , выделив в нем предварительно лучшие объекты по набору характеристик x , а затем уже только для этих объектов выполним имитационное моделирование с достоверной оценкой $w(x)$. Для частичного упорядочения множества альтернатив K используем принцип Парето, приняв в качестве критериев для оптимизации характеристики $x = \varphi(k)$, т.е. найдем эффективные точки $\Pi(\varphi(k), K)$.

Описанная двухэтапная процедура оптимизации носит неформальный характер, если набор характеристик x_1, \dots, x_m в ранге частных критериев назначается исходя из опыта, интуиции и др. В этом случае в двухуровневой системе критериев $\langle w(x), x(k) \rangle$ критерии верхнего $w(x)$ и нижнего $x(k)$ уровней могут оказаться несогласованными и оптимальные по w варианты объекта могут быть отбракованы при оптимизации по x . Представляет безусловный интерес разработка методов синтеза согласованных иерархических систем критериев. Эта проблема сложная и, по-видимому, не имеет конструктивного решения для широкого класса задач. Однако для более узких классов, например для задач проектирования управляемых динамических систем, описываемых обыкновенными дифференциальными уравнениями, такие методы разработаны.

Связь параметров k и x обычно выражается функциями $x = \varphi(k)$ простого вида, что позволяет выполнить операцию вычисления $\Pi(\varphi, K)$ с допустимыми затратами машинного времени.

Следующий этап задачи состоит в оценке на имитационной модели параметров эффекта w объектов $k \in \Pi(\varphi, K)$.

В случае скалярной критериальной функции $A = F(w_1, \dots, w_p)$ необходимо решить задачу:

$$x_0 = (x_{01}, \dots, x_{0m}) = \arg \max_{x \in X} F(w_1(x), \dots, w_p(x)), \quad (3.17)$$

где $X = [x = x(k) \mid k \in \Pi(\varphi(k)), K]$, после чего оптимальный объект k_0 находится с помощью процедуры

$$k_0 \in \varphi^{-1}(x_0).$$

Здесь φ^{-1} соответствие, обратное φ , $\varphi^{-1}(x) = [k \in K \mid \varphi(k) = x]$.

Заметим, что решений может быть несколько, так как φ^{-1} ставит в соответствие точке x_0 множество $P_0(x_0)$.

Если критериальная функция векторная $A = (w_1(x), \dots, w_p(x))$, то на втором этапе находится множество Парето в пространстве координат x

$$\Pi_p(w(x), X),$$

где $w(x)$ – векторный критерий; X – область, определяемая соотношением (24).

После этого множество лучших проектных решений определяется процедурой

$$\Pi_k = \varphi^{-1}(\Pi_\varphi).$$

Для задач проектирования управляемых динамических систем рассматривается развитие двухшаговой схемы оптимизации в многошаговый управляемый процесс. Его суть в следующем. Всякое новое сравнение альтернатив по критерию верхнего уровня w дает новую информацию об объекте, позволяющую сформировать новое правило отбраковки неэффективных альтернатив на нижнем уровне. Это правило строится в виде бинарного отношения на базе некоторых простых операций над характеристиками x . При этом критерий w и формируемые бинарные отношения строго согласованы, что обеспечивает конечную сходимость процесса к оптимальному по w варианту объекта. Процессом можно управлять, выбирая ту или иную альтернативу для оценки на имитационных моделях верхнего уровня (по w). Общая трудоемкость процесса в значительной мере определяется числом таких оценок. Отсюда следует важность разработки методов оптимального управления, минимизирующего число обращений к имитационным моделям.

В ходе решения использовано агрегированное представление параметров k в виде вектора $x = \varphi(k)$. Выбор компонент x и согласование их по номенклатуре с имитационной моделью операции выполнены на достаточно явной физической основе.

При решении задач большой размерности рекомендуется применять метод последовательного агрегирования параметров объекта:

$$x^{l+1} = f_{l+1}(x^l); X_{l+1} = f_{l+1}(X_l).$$

Здесь l – уровень агрегирования; размерность вектора x^{l+1} меньше размерности вектора x^l .

Если для каждого уровня агрегирования l построена модель оценки эффективности объекта (отметим, что на практике это затруднительно) с векторным критерием $w^l(x^l)$, то можно в компактной форме представить процесс проектирования в виде рекуррентного соотношения

$$\begin{aligned} \Pi_l &= \Pi(w^l, f_{l+1}^{-1}(\Pi_{l+1})); \\ \Pi_q &= \Pi(w^q, X_q), \end{aligned} \quad (3.18)$$

где q – верхний уровень обобщенного представления объекта вектором x^q малой размерности; X_q – исходное множество конкурирующих альтернатив.

В целом (3.18) можно интерпретировать как процесс функциональной и конструктивно-технологической проработки объекта (обратные задачи, соответствия f_k^{-1}) и принятия проектных решений (отыскание эффективных альтернатив, операция Π).

Декомпозиционный характер процесса (3.18) в значительной мере снимает остроту проблемы его практической реализации. Однако в силу многозначности f_k^{-1} мощность конечных множеств Π , экспоненциально возрастает с уменьшением l .

Выход из положения предполагается в активном управлении процессом проектирования. В качестве управлений рассматриваются:

1) дополнительный выбор на каждом уровне проектирования одной наиболее перспективной альтернативы и отбраковка всех других альтернатив;

2) выбор на каждом уровне проектирования одной или нескольких перспективных альтернатив; выбор глубины их проработки, проработка, формирование обратной связи в виде нового правила отбраковки неэффективных альтернатив на базе новой информации об объекте, полученной в ходе проработки; возвращение на исходный уровень проектирования и принятие новых проектных решений;

3) выбор на каждом уровне проектирования так называемых «концептуальных» параметров альтернатив, определяющих с содержательной точки зрения проектную концепцию или концепцию качества объекта (подсистемы), а с формальной – свертку частных критериев l -го уровня.

Представляется важной разработка методов оптимального управления процессом проектирования. Критерием здесь могут служить затраты ресурса (время, стоимость и др.) на получение проекта.

Возможен и совсем другой подход к задаче предварительного, приближенного исследования множества альтернатив K , использующий идеи оптимального планирования эксперимента и регрессионного анализа. В качестве эксперимента рассматривается имитационное моделирование операции для ограниченного числа особым образом

выбранных точек – конструкций $k_{\Pi} \in K$ с получением w_{Π} в этих точках. Метод позволяет получить аналитическую зависимость w от k (или от x) в форме полинома $w = \varphi(k)$, дающую приближенную, но полную картину изменения эффекта во всех точках области K , а коэффициенты полинома демонстрируют вклад каждого параметра в образование эффекта. Однако для сложных моделей ошибки оценки Δw могут быть существенные. Метод можно использовать для предварительного анализа задачи и как вспомогательную процедуру при поиске решений задачи проектирования.

3.2. Пример декомпозиции в задаче параметрического синтеза

Удачное выполнение декомпозиции сложной системы (выбор существенных связей в форме частных показателей эффекта и ограничений) в большой степени определяет последующий объем вычислительных работ по оптимизации системы. Вместе с тем успешно решить задачу декомпозиции, опираясь только на формальные схемы, без проникновения в процессы, происходящие в системе, нельзя.

Рассмотрим в виде примера декомпозицию системы самолет – пушечное вооружение в задаче борьбы с воздушными целями. Постановка задачи параметрического синтеза пушечного вооружения в составе самолета представляет ограниченный интерес, так как этот вид вооружения являлся основным в воздушных боях 40 лет тому назад, хотя и сохранился на всех современных истребителях. Однако задача декомпозиции в этом примере выглядит особенно сложной, так как при неподвижном закреплении пушки прицеливание производится всем самолетом и эффект стрельбы связан как с динамическими характеристиками самолета, так и с баллистическими параметрами пушки. Сложные связи такого типа часто встречаются в современных динамических системах.

Будем считать, что самолет уже сформирован с основным видом ракетного вооружения при учете массы G_g^* , выделенной на пушечное вооружение. Таким образом, требуется найти оптимальные параметры пушки для самолета с заданными параметрами и характеристиками при выделенных ресурсах на общую массу (и соответственно объемы) пушечного вооружения. Оптимизацию проведем на опера-

ции воздушного боя как на одной из типовых задач истребителя и при допущении, что вариации параметров пушек при заданных компоновке вооружения и G_g^* практически не сказываются на летных характеристиках самолета.

Для оценки эффективности системы в распоряжении разработчиков должны находиться модели воздушного боя, стрельбы и разрушения цели при попадании в нее снарядов. Кроме того, необходима модель цели с ее летными характеристиками и показателями боевой живучести.

Постановке задачи с применением цифровых имитационных моделей всегда целесообразно предпослать упрощенную модель процесса, опирающуюся на простые, по возможности формульные соотношения, с последующим обращением уже к точным моделям. Заметим, что исследователи располагают и так называемыми сквозными имитационными моделями (на ЭВМ), в которых с высокой степенью точности воспроизводятся движение центра масс и угловое движение самолета в бою с учетом возмущений от стрельбы, моделируется динамика работы прицела при выработке поправок воздушной стрельбы, интегрируется движение каждого снаряда в очереди с учетом углового положения ствола в момент выстрела, отмечается точка попадания снаряда в цель и оценивается вероятность поражения цели при данном попадании. Однако эти модели мало пригодны в качестве аппарата поискового проектирования системы и служат скорее для контроля результатов как точная копия реальных процессов.

В качестве критерия для оценки истребителя в пушечном воздушном бою примем вероятность поражения цели P в первой проведенной удачной атаке со стрельбой. Можно записать

$$P = p_c W .$$

где p_c – вероятность выхода в атаку для проведения стрельбы в бою; W – вероятность поражения цели за стрельбу. Применяя формулу полной вероятности, запишем

$$p_c = p_1 + q_2 (1 - E_1) p_{21} + q_2 (1 - E_1) (1 - E_2) q_{22} p_{221} + \dots$$

Здесь E_1, E_2 – вероятности поражения оперирующего самолета при первой, второй и т.д. стрельбах противника; вероятность события: первым вышел в атаку оперирующий самолет и произвел стрельбу.

бу; q_2 – первым провел стрельбу противник; p_{21} – вероятность выхода в атаку оперирующего самолета после того, как первым вышел в атаку противник, и т.д.

В силу малости сомножителей p и q в условиях пушечного воздушного боя членами суммы, кроме первых двух, можно пренебречь и принять

$$p_c = p_1 + q_2(1 - E_1)p_{21}. \quad (3.19)$$

Из обработки результатов расчета эффективности стрельбы, проведенных строгими методами, можно получить известное приближенное выражение для вероятности поражения цели W за стрельбу (для $W < (0.5...0,6)$)

$$W = \lambda \frac{n_{вып}}{\omega} \tilde{h},$$

где λ – постоянный для данного вида стрельбы коэффициент, зависящий от корреляционной связи рассеивания снарядов в очереди; $n_{вып}$ – число снарядов, выпущенных за стрельбу; ω – среднее необходимое для поражения цели число попавших снарядов, \tilde{h} – вероятность попадания в цель при одном выстреле, осредненная за стрельбу.

Для определения ω существуют модели, основанные на опыте отстрела целей снарядами различной конструкции.

Таким образом, полное выражение для критериальной функции задачи запишется так:

$$P = \lambda p_c n_{вып} \frac{1}{\omega} \tilde{h}. \quad (3.20)$$

Опираясь на формулу (3.20), выделим характеристики оружия, которые следует принять в качестве частных критериев эффективности, согласованных с P .

Параметр p_c – вероятность выхода в атаку для проведения стрельбы – определяется в первую очередь летными характеристиками самолета, его маневренностью. Но он также зависит и от располагаемой дальности применения оружия, зоны его эффективной стрельбы. При вариации параметров пушек (при заданных самолете, прицеле и однотипных пушках) последней зависимостью можно пренебречь. Параметр $n_{вып}$ зависит от темпа стрельбы пушки N и от протя-

женности во времени участков, на которых самолет поддерживает условия прицельной стрельбы; параметр ω при заданной цели полностью определяется снарядом (его массой $q_{сн}$ и конструкцией); вероятность попадания в цель \tilde{h} зависит от условий, которые создал самолет в бою для проведения стрельбы, от точности прицеливания, которая определяется конструкцией прицела и характеристиками системы управления самолетом, и от времени полета снаряда до цели, зависящей, в первую очередь от начальной скорости полета снаряда V_0 .

Таким образом, выделились три частных критерия для уровня оружия, увеличение каждого из которых ведет к росту P :

$$w^0 = (w_1^0, w_2^0, w_3^0), \quad (3.21)$$

где $w_1^0 = V_0$; $w_2^0 = \frac{1}{\omega}$; $w_3^0 = N$,

после чего можно записать

$$P = \lambda p_c(k^1) n_{вып}(k^1, N(k^0)) \frac{1}{\omega(k^0)} h(k^1, V_0(k^0)). \quad (3.22)$$

Здесь k^1 – конструктивные параметры самолета, зафиксированные в данной задаче; k^0 – варьируемые параметры вооружения.

На параметры k^0 наложено основное ограничение

$$G_g(k^0) \leq G_g^*. \quad (3.23)$$

Требуется найти $\max P(k^0)$ при условии (3.23). В общей постановке – это задача нелинейного программирования, в которой соотношение (3.22) устанавливается с помощью сложной для счета модели воздушного боя. В представленном виде задачу решать сложно и необходимо провести ее упрощение и декомпозицию.

Прежде всего, перейдем в (3.24) от конструктивных параметров вооружения k^0 к его характеристикам. Масса вооружения G_g определяется массой $m_{пу}$ и числом $n_{пу}$ пушек на борту и массой $m_{нт}$ и боекомплектом $n_{нт}$ патронов. Для $m_{пу}$ и $m_{нт}$ существуют эмпирические формулы (уточняемые с помощью проектных разработок), и им можно придать вид $m_{пу}(V_0, q_{сн}, N)$ и $m_{нт}(V_0, q_{сн})$. Параметры $n_{пу}$ и $n_{нт}$

для самолетов каждого типа довольно стабильны, и если их не варьировать, то от (3.23) можно перейти к соотношению

$$G_g(V_0, \omega^{-1}, N) \leq G_g^*. \quad (3.24)$$

Здесь переход от переменной q_{CH} к ω допустим в силу однозначности их связи. Далее необходим анализ соотношений $n_{бын}(k^1, N)$ и $\tilde{h}(k^1, V_0)$, в которых сложно завязаны параметры самолета и оружия.

Заметим, что конструкторы самолета и оружия работают в разных КБ разных ведомств и не могут постоянно общаться при выборе оружия, проведении моделирования боев со всеми вариантами вооружения из допустимого их множества и т.п. Поэтому поставим задачу о выделении минимального объема обобщенной информации о самолете, достаточной конструктору оружия для автономного выбора параметров оптимальной пушки, максимизирующей показатель P боевой эффективности самолета.

Практически в этой задаче ему необходимо знать только условия проведения стрельбы Y , влияющие на параметры h и $n_{бын}$. Модели стрельбы по подвижной цели позволяют вычислять вероятность попадания в цель \tilde{h} в зависимости от следующих параметров в момент проведения стрельбы: дальности стрельбы D , скоростей полета истребителя V_1 и цели V_u , маневренной перегрузки цели n_u , курсового угла q и площади проекции цели S_u . Ошибки прицеливания, как уже говорилось, зависят от совершенства конструкции прицела и системы управления самолетом, а из параметров оружия при заданном диапазоне высот полета при проведении боя на них заметно влияет только V_0 .

Следовательно, вероятность попадания в цель при заданном самолете и прицеле можно представить выражением

$$h(t) = h(Y(t), V_0), \quad (3.25)$$

где компонентами вектора условий $Y(t)$ в процессе полета с выполнением прицеливания являются

$$Y(t) = (V_1(t), V_u(t), n_u(t), q(t), S_u(t)). \quad (3.26)$$

Отсюда следует, что конструктор самолета должен промоделировать бои своего самолета (моделирование в соответствии с (3.19)

проводится до первой атаки со стрельбой) и представить разработчику оружия статистику по компонентам (3.26) вектора $Y(t)$ на отрезках траекторий, когда выполнялись условия прицеливания. Это единственная информация, которая от него требуется.

Конструктор оружия, пользуясь формулами теории стрельбы (3.26) и параметрируя V_0 , производит вычисление функции $h(t)$ для каждой реализации $Y(t)$. Типичные кривые $h(t)$ представлены на рис. 4.3; график № 2 оборван, так как истребитель вышел из атаки, опасаясь столкновения с целью. Для каждого графика вычисляются среднее значение $\tilde{h}(V_0)$ за стрельбу

$$\tilde{h}(V_0) = \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} h(t) dt$$

и располагаемое время на эффективную стрельбу $T(V_0) = t_2 - t_1$ на отрезке, соответствующем выполнению условия $h(t) \geq \varepsilon$, где ε – выбранная малая величина. Числа \tilde{h} и T можно усреднить по всем атакам со стрельбой, выделяя в случае необходимости осредненные значения для разных начальных условий атаки и беря их с весовыми множителями, пропорциональными вероятности возникновения данных условий.

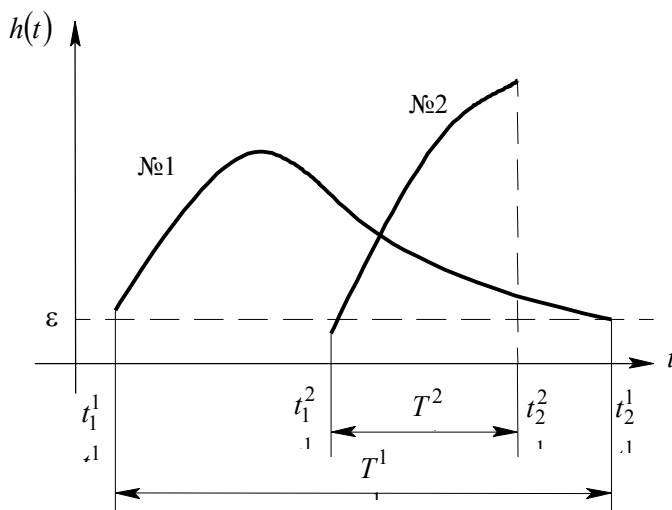


Рис. 4.3. Примеры изменения вероятности попадания в цель $h(t)$ в ходе атак № 1 и № 2

Осредненные значения $\tilde{h}(V_0)$ и $T(V_0)$ (как и введенный ранее параметр p_c) численно характеризуют приспособленность спроекти-

рованного самолета к ведению воздушного боя с применением пушек. Располагаемое осредненное время на стрельбу в атаке $\tilde{T}(V_0)$ позволяет конструктору оружия оптимально распределить очереди (их продолжительность и интервалы между очередями) на отрезке \tilde{T} (в частности, если \tilde{T} мало, то исключительно важным становится высокий темп стрельбы при непрерывной очереди). Проведение указанного анализа позволяет получить соотношение $n_{\text{выл}}(N, T, V_0)$ и записать (3.21) в следующем виде:

$$P = \lambda p_c n_{\text{выл}}(N, \tilde{T}, V_0) \frac{1}{\omega} \tilde{h}(V_0). \quad (3.27)$$

Здесь при оптимизации параметры λ, p_c, \tilde{T} являются константами, а $n_{\text{выл}}$ и \tilde{h} – заданные функции.

Максимизацию по параметрам V_0, ω^{-1}, N можно проводить, предварительно сжав допустимое множество параметров

$$K^0 = \left(w^0 \mid G_g(w^0) \leq G_g^* \right), \quad w^0 = (V_0, \omega^{-1}, N)$$

и тем уменьшив область поиска оптимальных характеристик.

Действительно, функция ограничений G_g является возрастающей функцией всех своих аргументов V_0, ω^{-1}, N , которые одновременно являются и частными критериями для системы вооружения. Поэтому точки области $G_g(V_0, \omega^{-1}, N) \leq G_g^*$, принадлежащие ее границе, являются точками оптимума по Парето для системы вооружения, и их вычисление не составляет труда. Таким образом, все внутренние точки области $G_g \leq G_g^*$ исключаются из рассмотрения, и поиск оптимального решения максимума критериальной функции (3.27) проводится только на поверхности $G_g(V_0, \omega^{-1}, N) = G_g^*$.

4. ПОИСКОВОЕ КОНСТРУИРОВАНИЕ

4.1. Описание технических объектов

Иерархия описания технических объектов

Каждый технический объект может быть представлен описаниями, имеющими иерархическую соподчиненность. Описания характеризуются двумя свойствами [3, 9]:

- каждое последующее описание является более детальным и более полно характеризует технический объект по сравнению с предыдущим;

- каждое последующее описание включает в себя предыдущее.

Такие свойства имеют следующие описания:

- потребность, или функция технического объекта;
- техническая функция;
- функциональная структура;
- физический принцип действия;
- техническое решение;
- проект.

Потребность

Это общепринятое и краткое описание на естественном языке назначения технического объекта или цели его создания (существования). При описании потребности отвечают на вопрос: «Что (какой результат) желательно иметь (получить) и каким особым условиям и ограничениям при этом нужно удовлетворить?»

Если рассматривать более детально описание потребности, то оно должно включать следующую информацию:

- необходимое действие (наименование действия);
- объект (предмет обработки), на который направлено это действие;
- особые условия и ограничения.

Описание потребности формализованно можно представить в виде трех компонент:

$$P = (D, G, H), \quad (4.1)$$

где D – указание действия, производимого рассматриваемым техническим объектом и приводящего к желаемому результату, т.е. к реализации интересующей потребности;

G – указание объекта, или предмета обработки, на который направлено действие D ;

H – указание особых условий и ограничений, при которых выполняется действие D .

В табл. 4.1 приведены примеры покомпонентного описания потребности.

Таблица 4.1

Примеры описания потребности

Наименование технического объекта	D	G	H
Светильник	Освещение (освещает)	Помещение (помещение)	–
Электроплитка	Нагревание (нагревает)	Емкость с жидкостью	–
Мельница	Размалывание (размалывает)	Зерна (зерно)	на муку
Грузовой Автомобиль	Перевозка (перевозит)	Грузы (грузы)	по дороге
Путепровод	Обеспечение движения (обеспечивает движение)	Автомобили	через препятствие
Термометр	Измерение (измеряет)	Температура среды (температура среды)	–

Наряду с понятием потребности в инженерной практике также широко используется понятие функции технического объекта. Описания потребности и функции тождественно совпадают. Различие между потребностью и функцией состоит в том, что понятие потребности всегда связано с человеком или автоматом (коллективом людей, автоматов), поставившим задачу реализации потребности и выполняющим проектирование соответствующего технического объекта и его изготовление. Понятие функции всегда связано с техническим объектом, реализующим эту потребность. В связи с этим интересно отметить, что человек часто выступает в двух качествах: как субъект, формулирующий потребность, и как элемент технического объекта, реализующий эту потребность. В табл. 4.1 в скобках указаны описания функции.

Техническая функция

Описание технической функции содержит следующую информацию:

- потребность, которую может удовлетворить технический объект;
- физическая операция (физическое превращение, преобразование), с помощью которой реализуется потребность.

Таким образом, описание технической функции состоит из двух частей:

$$F = (P, Q), \quad (4.2)$$

где P – удовлетворяемая потребность;

Q – физическая операция (табл. 4.2).

Таблица 4.2

Примеры описания физических операций

Наименование технического объекта	A_T	E	C_T
Светильник	Электрический ток	Преобразование	Световой поток
Электроплитка	Электрический ток	Преобразование	Теплота
Мельница	Зерно + механическая энергия	Соединение	Мука
Грузовой автомобиль	Топливо	Преобразование	Движение груза
Путепровод	Масса транспорта (воспринимает проезжая часть)	Передача	Масса транспорта (воспринимают опоры моста)
Электрический термометр	Температура среды	Преобразование и сравнение	Электрический ток

Описание физической операции формализованно можно представить состоящим из трех компонент:

$$Q = (A_T, E, C_T), \quad (4.3)$$

где A_T , C_T – соответственно входной или выходной поток (фактор) вещества, энергии или сигналов; E – наименование операции по превращению в C_T . Это описание отвечает на вопросы «что» (A_T), «как» (E), «во что» (C_T) преобразуется с помощью описываемого технического объекта. Число входов, действий и выходов, в общем слу-

чае произвольное. Иначе говоря, под физической операцией будем подразумевать физическое преобразование заданного входного потока, или фактора, в выходной поток.

Функциональная структура

подавляющее большинство технических объектов состоит из нескольких элементов (агрегатов, блоков, узлов) и могут быть естественным образом разделены на части. Каждый элемент как самостоятельный технический объект выполняет определенную функцию и реализует определенную физическую операцию, т. е. между элементами имеют место два вида связей и соответственно два вида их структурной организации.

Во-первых, элементы имеют определенные функциональные связи друг с другом, которые образуют конструктивную функциональную структуру. Конструктивная функциональная структура представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются наименования элементов, а ребрами – их функции. Кроме функциональных связей, между элементами технического объекта имеются еще потоковые связи, т.е. элементы, реализуя определенные физические операции, образуют поток преобразуемых или превращаемых веществ, энергии, сигналов или других факторов. Например, в прокатном стане на входе такого потока имеются заготовки сечением 200×200 мм, а на выходе – стальная лента толщиной 1 мм, шириной 2 м; в гидроэлектростанции на входе – поток воды с напором 20 м и расходом $150 \text{ м}^3/\text{с}$, а на выходе – электрический ток напряжением 380 В и частотой 50 Гц [9].

Такие потоки определенным образом объединяют и связывают элементы технических объектов и соответственно их физические операции. В сложных технических объектах часто присутствуют несколько взаимосвязанных потоков.

Взаимосвязанный набор физических операций, реализующих один определенный поток преобразований вещества, энергии или сигналов, либо несколько взаимосвязанных потоков называется потоковой функциональной структурой. Потоковая функциональная структура представляет собой граф, вершинами которого являются наименования элементов технического объекта или наименования операций E , а ребрами – входные A_T и выходные C_T факторы.

Различают две разновидности потоковой функциональной структуры: конкретизированная потоковая функциональная структу-

ра, у которой в вершинах графа указаны наименования элементов; абстрагированная потоковая функциональная структура, у которой в вершинах графа указаны наименования операций Коллера. Абстрагированную потоковую структуру называют также структурой физических операций.

Таким образом, существуют функциональные структуры технического объекта двух видов: конструктивная функциональная структура и потоковая функциональная структура, которые дополняют друг друга. При решении различных прикладных задач используют или только конструктивную, или потоковую, или одновременно обе разновидности.

В потоковой ФС каждый элемент реализует определенную ФО. Такая реализация происходит на основе одного или нескольких физико-технических эффектов.

Под *физико-техническими эффектами* будем понимать различные приложения физических законов, закономерностей и следствий из них, физические эффекты и явления, которые могут быть использованы в технических устройствах. Как правило, в физико-технических эффектах имеет место определенная причинно-следственная связь между «входом» и «выходом». Физико-технический эффект должен иметь стандартное формализованное (имеющее определенную структуру) описание, удобное для технических приложений и машинной обработки (табл. 4.3).

Таблица 4.3

Примеры описания физических эффектов

Наименование физико-технического эффекта	А	В	С
Закон Гука	Сила	Твердое тело	Линейная деформация
Закон Джоуля – Ленца	Электрический ток	Проводник	Теплота
Термоэлектронная эмиссия	Теплота (нагревание)	Оксидная суспензия	Поток электронов
Пьезоэлектрический эффект	Деформация (сила)	Пьезокристалл	Электрическое поле
Ультразвуковой капиллярный эффект	Ультразвук	Жидкость в капилляре	Подъем жидкости

Наиболее обобщенное качественное описание физико-технического эффекта состоит из трех компонент:

A – входной поток вещества, энергии или сигналов;

C – выходной поток;

B – физический объект, обеспечивающий или осуществляющий преобразование A в C .

Для входного A и выходного C потоков, так же как и для компонент A_T , C_T , можно указать носители потоков и их качественные и количественные характеристики. В табл. 4.3 приведены примеры описания физико-технических эффектов.

Физический принцип действия

Под физическим принципом действия понимают ориентированный граф, вершинами которого являются наименования физических объектов B , а ребрами входные A и выходные C потоки вещества, энергии и сигналов. Таким образом, во многих случаях физический принцип действия легко построить с помощью потоковой функциональной структуры путем замены наименований элементов или физических операций на наименования объектов B .

Описание физического принципа действия, как правило, содержит изображение принципиальной схемы технического объекта, в которой в упрощенной форме показаны основные конструктивные элементы, обеспечивающие реализацию физического принципа действия, и указаны направления потоков и основные физические величины, характеризующие используемые физико-технические эффекты. Принципиальная схема облегчает последующую разработку (конструирование) технического решения.

Техническое решение

Техническое решение представляет собой конструктивное оформление физического принципа действия или функциональной структуры. Техническое решение конкретного технического объекта, как правило, описывается в виде двухуровневой структуры через характерные признаки технического объекта в целом и его элементов. При этом используют следующие группы признаков:

- указание (перечень) основных элементов;
- взаимное расположение элементов в пространстве;
- способы и средства соединения и связи элементов между собой;

- последовательность взаимодействия элементов во времени;
- особенности конструктивного исполнения элементов (геометрическая форма, материал и т. д.);
- принципиально важные соотношения параметров для технического объекта в целом или отдельных элементов.

В зависимости от вида рассматриваемого технического объекта элементом может быть часть детали, деталь, узел, блок, агрегат, техническая система, комплекс технических систем.

Техническое решение конкретного технического объекта может быть описано с любой степенью детализации. Для этого используют иерархический набор двухуровневых описаний технических решений, т.е. сначала описывают техническое решение устройства в целом, затем техническое решение каждого блока, затем – каждого узла и т.д.

Окружающая среда технического объекта

Каждый технический объект находится в определенном взаимодействии с окружающей средой. Для конкретного технического объекта в качестве окружающей среды могут выступать его надсистема, объекты неживой и живой природы и другие технические объекты, которые находятся в функциональном или вынужденном взаимодействии с рассматриваемым техническим объектом и оказывают заметное влияние на его проектно-конструкторское решение.

Взаимодействие технического объекта и окружающей среды может происходить по нескольким каналам связи, которые легко разделить на две группы. Первая группа включает потоки вещества, энергии и сигналов, передаваемые от окружающей среды к техническому объекту. К ним относятся (рис. 4.1):

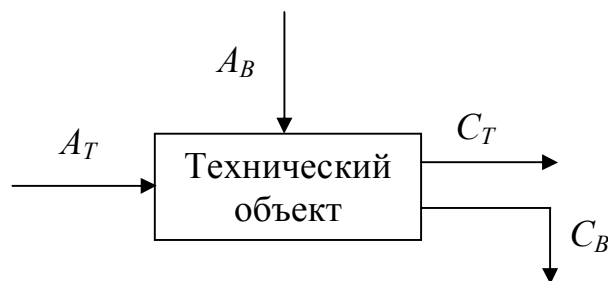


Рис. 4.1. Взаимодействие технического объекта с окружающей средой

A_T – функционально обусловленные входные воздействия (входные потоки в физической операции);

A_B – вынужденные входные воздействия (температура, влажность, пыль, деятельность насекомых и т.д.).

Вторая группа – это потоки, которые передаются от рассматриваемого технического объекта окружающей среде:

C_T – функционально обусловленные выходные воздействия (выходные потоки в физической операции);

C_B – вынужденные выходные воздействия (загрязнение воды, земли и воздуха, токи СВЧ и т. д.).

Требования к техническим объектам

При разработке и проектировании технического объекта всегда имеет место определенный список требований, которым технический объект должен удовлетворять. Это необходимый и достаточный набор требований, при выполнении которых изделие будет иметь допустимую (ожидаемую) работоспособность, эффективность, ремонтпригодность и т.п. Если в таком наборе не будет учтено и выполнено хотя бы одно требование, то в созданном техническом объекте проявится хотя бы один существенный недостаток или он будет неработоспособен. Этим обусловлена важность такого списка требований, который в инженерных разработках составляет ядро технического задания.

Следует отметить, что в процессе разработки и проектирования технического объекта создают и уточняют несколько иерархически взаимосвязанных списков требований, которые соответствуют определенным этапам разработки. При этом каждый последующий список больше предыдущего и включает его в себя.

В общем случае иерархия таких списков приводится в соответствии с выделенными описаниями технического объекта.

Список требований № 1 включает функциональные требования, т.е. перечень количественных показателей производимого действия, количественных показателей объекта (предмета обработки), на который направлено действие технического объекта, количественных показателей особых условий и ограничений, при которых выполняется действие. К таковым в первую очередь относятся надежность, вид и показатели используемой энергии, особые воздействия окружающей среды и т.п.

Список требований № 2 может включать дополнительно перечень потоков веществ, энергии, сигналов на входе и выходе техниче-

ского объекта или перечень требований и условий к выбору таких потоков; значения физических величин, характеризующих потоки; условия и ограничения на потоки, вызванные взаимодействием объекта с надсистемой и окружающей средой; условия и ограничения на потоки, связанные с их преобразованием внутри объекта.

Список требований № 3 включает дополнительно наборы требований, аналогичные № 1 и № 2, но относящиеся к функциональным элементам, из которых состоит технический объект. Уточненный список требований № 3 зависит от принятой функциональной структуры.

Список требований № 4, в дополнение к № 1–3, составляют для каждого выбранного физического принципа действия отдельно. В список требований № 4 входят условия и ограничения, накладываемые на выбор основных материалов, используемых при реализации физико-технических эффектов, а также условия и ограничения, вызванные сопутствующими (дополнительными) воздействиями реализуемых эффектов как на элементы технического объекта, так и на окружающую среду.

Список требований № 5 содержит дополнительно наборы требований и соответствующих количественных показателей по массе, форме, габаритным размерам и компоновке; выбору используемых материалов и комплектующих изделий; способам и средствам соединения и связи элементов между собой; управлению и регулированию; безопасности эксплуатации; патентоспособности; лимитной цене и т.д.

Список требований № 6 включает набор требований по выбору оптимальных параметров технического объекта, запасам прочности, устойчивости, надежности, серийности изготавливаемого объекта, используемому технологическому оборудованию, взаимозаменяемости, стандартизации и унификации, условиям эксплуатации, транспортирования и хранения, сроку окупаемости на разработку и освоение и т.д.

Для техники в целом также существует список требований. Попытку составления такого списка в 1950 г. предпринимал Ф. Кессельринг, который составил список, включающий более 700 требований. Даже для того времени это был неполный список, а за прошедшее время число требований в полном списке увеличилось

в несколько раз. Составление полного списка требований для техники в целом является важной задачей. Однако прежде чем приступить к такой работе, необходимы:

- разработка грамматики и синтаксиса описания требований и выделение их основных типов по форме описания (как это сделано в первом приближении для описания технических функций);
- разработка систематики и классификация требований по их содержанию.

От решения этих задач в большой мере зависит создание эффективных решений для автоматизации начальных стадий проектирования.

Критерии развития, показатели качества и список недостатков технического объекта

Среди параметров и показателей, характеризующих любой технический объект, всегда имеются один или несколько таких, которые на протяжении длительного времени имеют тенденцию монотонного изменения или тенденцию поддержания на определенном уровне при достижении своего предела. Эти показатели осознаются как мера совершенства и прогрессивности, и они оказывают очень сильное влияние на развитие отдельных классов технических объектов и техники в целом. Такие параметры и показатели будем далее называть *критериями развития* технического объекта. К таковым можно отнести степень механизации какого-либо технологического процесса, удельную материалоемкость или энергоемкость, внешний вид и т.д.

Наряду с критериями развития, существуют еще *показатели качества* (критерии качества) технического объекта, к которым в первую очередь относятся критерии развития и некоторые параметры, определенное изменение которых может приводить к улучшению качества и эффективности этого объекта. Кроме того, показатель качества позволяет выбрать из двух альтернативных вариантов технического объекта лучший вариант при равенстве или эквивалентности других показателей.

У любого технического объекта в процессе изготовления и эксплуатации сразу или со временем появляются определенные *недостатки* (дефекты), которые возникают чаще всего по следующим причинам:

- при проектировании некоторые требования были занижены или завышены;

- в список требований не включены какие-либо существенные требования;
- введены лишние требования;
- значения некоторых параметров занижены, т.е. изделие оказалось неконкурентоспособным.

В итоге для каждого используемого технического объекта формируется *список недостатков*, который служит основой для составления списка требований при разработке и проектировании нового поколения технического объекта.

Модель технического объекта позволяет выяснить:

- соответствует ли рассматриваемый технический объект или любое из его описаний (техническая функция, функциональная структура, физический принцип действия, техническое решение или проект) данному требованию;
- какой из двух альтернативных вариантов технического объекта лучше по данному показателю качества.

4.2. Функционально-физический анализ технических объектов

Построение конструктивной функциональной структуры

Для того, чтобы внести требуемые усовершенствования в технический объект, необходимо произвести углубленный анализ его конструкции и структуры. При таком анализе в первую очередь необходимо выяснить следующее:

- какие функции выполняет каждый элемент технического объекта и как элементы функционально связаны между собой;
- какие физические операции выполняет каждый элемент и как они взаимосвязаны между собой;
- на основе каких физико-технических эффектов работает каждый элемент технического объекта.

При выяснении этих вопросов появляется четкое и цельное представление об устройстве технического объекта с функциональной и физической точек зрения. Без такого представления затруднительно заниматься поиском наиболее эффективного нового технического решения.

Построение конструктивной функциональной структуры основывается на законе соответствия между функцией и структурой технического объекта.

В основу анализа функций технического объекта и построения конструктивной функциональной структуры положен принцип выделения и рассмотрения структур с двухуровневой иерархией, т.е. любой технический объект можно разделить на несколько элементов, каждый из которых имеет вполне определенную функцию (или функции) по обеспечению работы технического объекта или его элементов. При этом рассматриваемый объект представляет собой верхний уровень, а выделенные функциональные элементы – нижний.

Если требуется углубить анализ, то каждый из выделенных элементов нижнего уровня рассматривается как самостоятельный технический объект, который также можно разделить на несколько функциональных элементов и т.д. Объединение таких структур с двухуровневой иерархией позволяет получить многоуровневую структуру. Однако, как правило, анализируют в основном двухуровневые структуры, поскольку конструктивные функциональные структуры, построенные на основе многоуровневых структур, получаются сложными и труднообозримыми.

Глубина многоуровневого разделения технического объекта на элементы обычно определяется характером решаемой проектно-конструкторской задачи. Предельное детальное разделение технических объектов возможно до неделимых (в функциональном смысле) элементов.

Неделимым элементом будем называть деталь (или часть детали) с минимальным числом функций (не менее одной) по обеспечению работы других элементов, при любом делении которой появляются элементы, не имеющие самостоятельной функции или с одинаковыми функциями. Примерами таких элементов являются шарик в подшипнике или шариковой авторучке, труба, проводящая жидкость, жидкость в гидроцилиндре, конусная заостренная часть гвоздя и т.п.

Таким образом, любой технический объект (кроме неделимых элементов) может быть разделен на несколько укрупненных функциональных элементов, каждый из которых должен иметь минимальное число (не менее одной) определенных функций. Такое разделение обычно соответствует установившемуся в инженерной практике конструктивному разделению на агрегаты, блоки, узлы, детали, части деталей.

Одновременно с разделением технического объекта на элементы выделяют объекты окружающей среды, с которыми рассматриваемый технический объект находится в функциональном или вынужденном взаимодействии и которые существенно влияют на его конструкцию. В первую очередь к окружающей среде относятся объекты, воспринимающие действие технического объекта, а также подводимая энергия, управляющие сигналы, объекты, на которые действуют отработанные вещества, неблагоприятные излучения и другие воздействия.

Среди всех выделенных элементов технического объекта при проектно-конструкторских разработках особое внимание чаще всего уделяют *главным элементам* (или первичным, исходным элементам), которые можно выделить у большинства объектов. К главным элементам будем относить рабочие органы и другие элементы, которые непосредственно взаимодействуют с предметом обработки и другими объектами окружающей среды. Главные элементы обладают следующими свойствами:

- функция главных элементов, как правило, совпадает с функцией технического объекта или в решающей мере зависит от его функции;
- объекты окружающей среды для главных элементов, как правило, совпадают с объектами, на которые направлено действие технического объекта.

В табл. 4.4 приведены примеры главных элементов и соответствующих им объектов окружающей среды.

Главным элементам присваивают обозначение E_0 (если их несколько, то E_{01} , E_{02}). Остальным элементам присваивают обозначения E_1, E_2 . Объекты окружающей среды, с которыми взаимодействуют технический объект и его элементы, обозначают через V_1, V_2 .

В табл. 4.5 приведены примеры разделения на элементы технического объекта с указанием объектов окружающей среды и главных элементов.

При описании функций элементов целесообразно в скобках дублировать обозначения объектов окружающей среды и других элементов, которые участвуют в описании функции. Сами функции будем обозначать буквами Φ_0, Φ_1 (индексы соответствуют обозначениям элементов).

Результаты разделения технического объекта на элементы и описание их функций оформляют в одной таблице анализа функций.

Таблица 4.4

Примеры главных элементов и объектов окружающей среды

Наименование технического объекта	Объекты окружающей среды V	Главные элементы E	Функция главных элементов
Ручка для письма	Бумага	Перо или шариковый узел	Образует на бумаге непрерывный видимый след произвольной формы
Экскаватор	Грунт	Ковш	Зачерпывает, транспортирует от забоя до от вала и выгружает грунт
Лампа накаливания	Окружающие объекты	Нить накаливания	Освещает окружающие объекты
Двигатель внутреннего сгорания	Вал	Поршни и цилиндры	Вращает вал
Трансформатор	Переменный электрический ток	Первичная и вторичная обмотки и сердечник	Изменяет напряжение переменного электрического тока

Таблица 4.5

Анализ функций шарикоподшипника

Элемент		Функция	
Обозначение	Наименование	Обозначение	Описание
E_0	Шарики	Φ_0	Снижает момент вращения втулки (V_1) вокруг оси (V_2)
E_1	Наружное кольцо	Φ_1	Обеспечивает качение втулки (V_1) по шарикам (E_0)
E_2	Внутреннее кольцо	Φ_2	Обеспечивает качение шариков (E_0) по оси колеса (V_2)
E_3	Сепаратор	Φ_3	Обеспечивает равное удаление шариков (E_0) друг от друга

Конструктивная функциональная структура представляет собой ориентированный граф, вершинами которого являются наименования элементов технического объекта и объектов окружающей среды, а ребрами – функции элементов.

При построении функциональной структуры сначала изображают вершины. Первая сверху вершина – наименование самого технического объекта. Во втором ряду (по горизонтали) предпочтительно располагать вершины-объекты окружающей среды, в третьем ряду вершины-элементы. В вершинах, представляющих собой овалы или прямоугольники, указывают обозначения (в соответствии с табл. 4.5) и наименования объектов окружающей среды и элементов.

После этого строят направленные ребра графа. Ребра выходят из вершин-элементов, чьи функции они описывают, и заканчиваются в вершинах-элементах, работу которых они обеспечивают, или в вершинах-объектах окружающей среды, взаимодействующих с рассматриваемым элементом. Из каждой вершины-элемента выходит столько ребер, сколько функций имеет элемент. Вершины, в которых заканчиваются ребра-функции, указаны в описании функции (в скобках). Конструктивная функциональная структура может иметь ребра двух типов. Первый тип – простые ребра, начинающиеся в одной вершине и заканчивающиеся в другой единственной вершине. Ребра второго типа описывают функции элементов, которые обеспечивают соединение или взаимодействие между другими несколькими элементами и объектами окружающей среды.

Всем ребрам на графе присваивают обозначения, совпадающие с обозначениями соответствующих функций элементов. Вершины графа рекомендуется располагать в таком порядке, чтобы было минимальное число пересечений ребер и чтобы вершины, связанные ребрами, были ближе друг к другу. При этом можно допустить расположение элементов и в четвертом ряду.

На рис. 4.2 изображена конструктивная функциональная структура, построенная по табл. 4.5. Конструктивная функциональная структура позволяет получить более наглядное и цельное представление о техническом объекте с функциональной точки зрения.

Иногда может оказаться целесообразным построение и использование единой конструктивной функциональной структуры для многоуровневого иерархического разделения технического объекта на элементы.

Аналогично анализу функций технического объекта может быть проведен анализ технологических процессов, материалов и веществ. При этом для технологических процессов функциональная структура представляет собой граф, вершинами которого являются обрабатываемые объекты E , а ребрами – элементарные операции Φ с указани-

ем режимов обработки. У материалов к вершинам относятся компоненты E , из которых состоит материал, а ребрами – функции компонентов Φ .

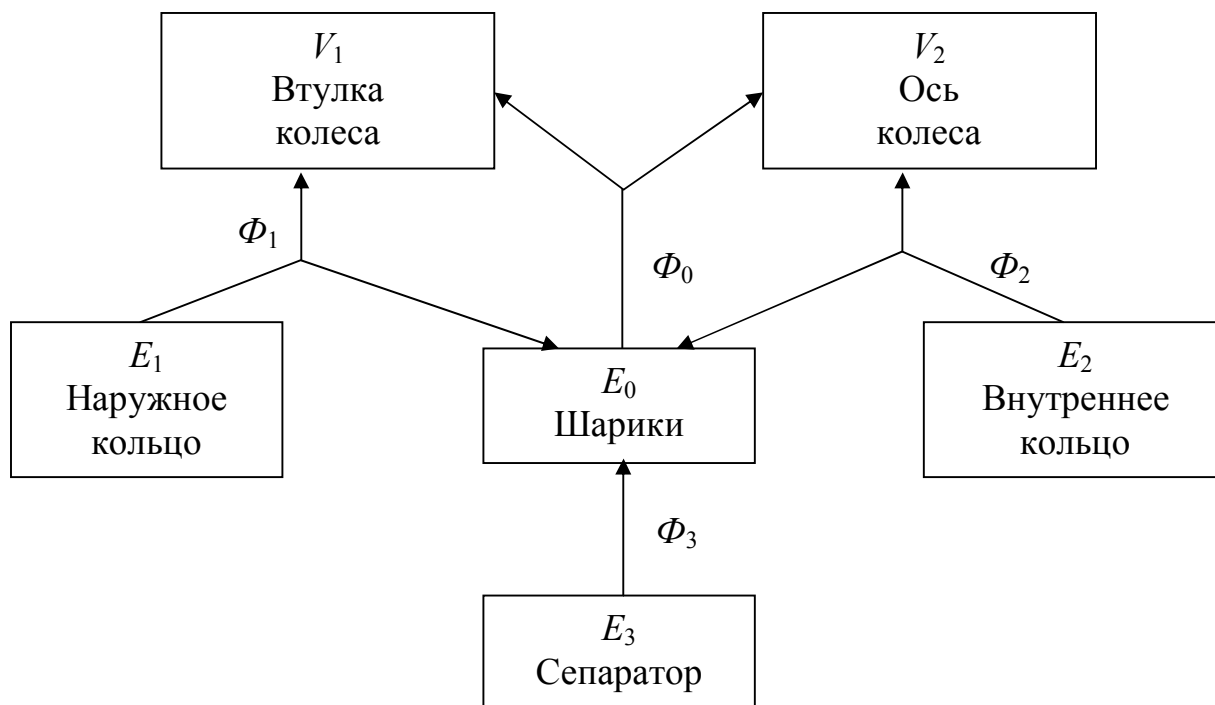


Рис. 4.2. Конструктивная функциональная структура шарикоподшипника

Описание физических операций

При описании физических операций для каждого выделенного элемента необходимо указать компоненты A_T , E , C_T .

Описание входного A_T и выходного C_T потоков или факторов должно содержать следующую информацию:

- а) наименование потоков вещества, энергии или сигналов либо другого фактора;
- б) качественную характеристику потока (фактора), существенно влияющую на техническое решение технического объекта (например, для потока «электрический ток» качественная характеристика может обозначать «переменный», для потока «электромагнитное излучение» – «видимый свет»);
- в) основную физическую величину (величины), характеризующую поток (фактор), ее стандартное обозначение, единицу измерения;

г) количественную характеристику потока (фактора) – значение физических величин, оказывающих существенное влияние на техническое решение. При необходимости указывают диапазоны изменения A_T и C_T .

При описании A_T и C_T используется естественный язык, который позволяет в нескольких словах выражать наименование потока и физической величины, характеризующей поток (например, «температура») или значение физической величины («температура кипения») и т.д. Важно, чтобы описание содержало сведения, указанные в рубриках а) – г).

Компонента E в описании физической операции обозначает действие, производимое над входным потоком (фактором), превращающее A_T в C_T . Р. Коллер предложил 14 пар операций E (табл. 4.6), которые позволяют описывать физические операции любого технического объекта или его элемента независимо от их физического принципа действия.

Таблица 4.6

Список операций Коллера

№ п/п	Наименование прямой операции E	Наименование обратной операции E
Основные операции		
1	Излучение	Поглощение
2	Проводимость	Изолирование
3	Сбор	Рассеяние
4	Проведение	Непроведение
5	Преобразование	Обратное преобразование
6	Увеличение	Уменьшение
7	Изменение направления	
8	Выравнивание	Колебания
9	Связь	Прерывание
10	Соединение	Разъединение
11	Объединение	Разделение
12	Накопление	Выдача
Дополнительные операции		
13	Отображение	Обратное отображение
14	Фиксирование	Расфиксирование

В операциях 10 и 11 может участвовать и более двух компонент. При построении цепочек, комбинирующих различные основные операции, индексы в структурных формулах выбирают исходя из логики преобразования потоков энергии, веществ или сигналов.

Необходимо отметить, что в некоторых случаях невозможно однозначно указать наиболее подходящую операцию Коллера. В этих случаях не следует затруднять себя выбором и обоснованием единственно правильной операции E , а нужно брать ту, которая интуитивно кажется более верной.

Описание физического принципа действия

Введем понятие *элементарной физической операции*, под которой будем понимать только такие физические операции, которые могут быть реализованы с помощью одного физико-технического эффекта.

Для описания физического принципа действия рассматриваемого технического объекта необходимо построить потоковую функциональную структуру, которая состоит только из элементарных физических операций. Построение физического принципа действия выполняют в следующем порядке:

1) строят и описывают абстрагированную потоковую функциональную структуру;

2) проводят анализ потоковой функциональной структуры и выявляют сложные физические операции, которые реализованы с помощью нескольких физико-технических эффектов;

3) для узлов технического объекта, имеющих сложные физические операции, выполняют построение потоковой функциональной структуры, состоящей только из элементарных физических операций.

4) для каждой элементарной физической операции определяется реализующий ее физико-технический эффект. Поскольку имеется соответствие между компонентами A_T и C_T в описании элементарных физических операций и компонентами A , C в описании физико-технического эффекта, то описание физико-технического эффекта составляют на основе описания элементарных физических операций;

5) на основе описания физико-технического эффекта и структуры физических операций изображают физический принцип действия в виде графа, который отличается от структуры элементарных физических операций тем, что в вершинах вместо наименования операций E указывают соответствующие физические объекты B .

После выбора одного или нескольких физико-технических эффектов устанавливаются, какие из выбранных реализуют требуемую физическую операцию.

4.3. Критерии качества технических объектов

Требования к выбору и описанию критериев качества

Критерии развития или критерии качества имеют большое значение при оценке качества технического объекта.

Поскольку любой технический объект, как правило, имеет несколько критериев развития, то поступательное развитие для каждого класса технических объектов заключается в улучшении одних и неухудшении остальных критериев.

Совокупности критериев развития для различных классов технических объектов в значительной степени совпадают, поэтому в целом развитие техники подчинено, можно сказать, единому набору характеристик, включающему следующие четыре группы критериев:

- функциональные критерии, характеризующие важнейшие показатели реализации функции технического объекта;
- технологические критерии, связанные возможностью и простотой изготовления технического объекта;
- экономические критерии, определяющие экономическую целесообразность реализации функции с помощью рассматриваемого технического объекта;
- антропологические критерии, связанные с вопросами взаимодействия человека и технического объекта или влияния положительных и отрицательных факторов, вызванных созданным техническим объектом, на людей и окружающую среду.

Критерии качества для любого класса технических объектов можно выделить с помощью следующих условий.

1) Условие измеримости: за критерии качества могут быть приняты только такие параметры технического объекта, которые допускают возможность количественной оценки по одной из шкал измерений: шкале отношений, шкале интервалов, шкале порядка.

2) Условие сопоставимости: критерий должен иметь такие единицы измерения, которые позволяют сопоставлять технические объекты, созданные в разное время и в разных странах. Для этого

используются безразмерные и удельные величины, с помощью которых можно сопоставлять технические объекты соответственно с различными функциями и с одинаковыми функциями.

3) Условие исключения: за критерии могут быть приняты такие параметры технического объекта, которые в первую очередь характеризуют его эффективность и оказывают определяющее влияние на его развитие.

4) Условие минимальности и независимости: совокупность критериев качества должна содержать только такие, которые не могут быть логически выведены из других критериев или не могут быть их прямым следствием.

Функциональные критерии качества

Для каждого технического объекта функциональные критерии развития представляют собой количественную характеристику основных показателей реализации его функции. Поскольку функции могут характеризоваться самыми различными показателями, то дать исчерпывающий перечень функциональных критериев практически невозможно. В связи с этим рассмотрим только некоторые наиболее часто действующие функциональные критерии. Но среди них можно выделить три критерия, имеющих практически у любого изделия: производительность, точность и надежность.

Критерий производительности всегда может быть измерен или вычислен, но структура формулы для вычисления критерия и единица измерения производительности могут быть самыми различными.

Критерий производительности представляет собой интегральный показатель уровня развития техники, который непосредственно зависит от ряда параметров, определяющим образом влияющих на производительность труда. Эти параметры представляют собой как бы частные функциональные критерии; к ним относятся:

1) скорость обработки объекта (число оборотов или операций в единицу времени, скорость движения рабочих органов машины, транспортной машины, протекания химической реакции и т. п.);

2) физические и химические параметры (температура, давление, напряжение и др.), определяющим образом влияющие на интенсивность обработки объекта (предмета обработки);

3) степень механизации труда

4) степень автоматизации труда;

5) непрерывность процесса обработки.

Критерий механизации равен отношению механической работы, выполняемой только техническим объектом, ко всей механической работе, выполняемой суммарно техническим объектом и человеком.

Критерий автоматизации равен отношению числа управляющих операций, выполняемых только техническим объектом, к общему числу управляющих операций, выполняемых суммарно техническим объектом и человеком.

Критерий непрерывности процесса обработки равен отношению числа операций, выполняемых с использованием непрерывных процессов, к общему числу операций с использованием непрерывных и прерывистых процессов воздействия на предмет обработки. Под непрерывными процессами понимаются вращательное, поступательное и поточное движения без существенного снижения скорости или безостановочная обработка; под прерывистыми процессами – возвратно-поступательное движение, операции с остановками или прерываниями технологического процесса при переходе к следующей операции.

Критерий точности в зависимости от класса технического объекта может принимать вид:

- точности измерения;
- точности попадания в цель;
- точности обработки материала или вещества;
- точности обработки потока энергии;
- точности обработки потока информации.

Критерий надежности включает в себя следующие показатели: безотказность, долговечность, сохраняемость, ремонтпригодность.

Под надежностью технического объекта понимают способность без отказов выполнять свою функцию с заданной вероятностью в течение определенного интервала времени.

Критерии производительности, точности и надежности представляют собой монотонно возрастающие функции.

Технологические критерии качества

Выделяют четыре основных технологических критерия.

Критерий трудоемкости изготовления технического объекта. Критерий равен отношению суммарной трудоемкости T_c проектирования, изготовления и подготовки к эксплуатации изделия к его глав-

ному показателю эффективности Q , т.е. представляет собой удельную трудоемкость изготовления на единицу получаемой эффективности:

$$K_T = \frac{T_c}{Q}.$$

Главный показатель эффективности Q выбирают таким образом, чтобы критерий K_T отражал развитие рассматриваемых технических объектов. Критерий K_T представляет собой монотонно убывающую функцию при условии, что сопоставление различных поколений технического объекта ведется по одному и тому же показателю эффективности Q .

Критерий трудоемкости является одним из самых древних, поскольку он действует и в сильной степени влияет на развитие технических объектов, начиная с каменного века, с первых искусственно изготавливаемых орудий.

Критерии технологических возможностей. Любой технический объект, содержит не более пяти типов элементов (агрегатов, узлов, деталей):

A_C – стандартные или покупные элементы, получаемые в готовом виде;

A_U – унифицированные элементы, заимствованные из существующих технических объектов;

A_{H1} – оригинальные (новые) элементы, изготовление которых не вызывает затруднений (могут быть изготовлены на имеющемся оборудовании), но требует разработки и отработки технологии их изготовления;

A_{H2} – оригинальные элементы, изготовление которых вызывает значительные, но преодолимые трудности (требуется разработка новой технологии с предварительным изготовлением сложной технологической оснастки, приобретение дефицитного оборудования и т.п.);

A_{H3} – оригинальные элементы, изготовление которых вызывает принципиальные, пока непреодолимые трудности (отсутствует в принципе или нельзя приобрести необходимое технологическое оборудование или подходящие материалы, требуется предварительное проведение НИР и т.п.).

Критерий технологических возможностей, который должен отражать простоту и принципиальную возможность изготовления технического объекта, можно определять по формуле

$$K_{m.в} = \varepsilon \frac{k_C A_C + k_Y A_Y + k_{H1} A_{H1} + k_{H2} A_{H2}}{A_C + A_Y + A_{H1} + A_{H2} + A_{H3}}; \quad (4.4)$$

$$\varepsilon = \begin{cases} 1, & \text{если } A_{H3} = 0; \\ 0, & \text{если } A_{H3} > 0. \end{cases}$$

где $k_C; k_Y; k_{H1}; k_{H2}$ – весовые коэффициенты, причем $k_C = 1$; $k_C > k_Y > k_{H1} > k_{H2}$.

Широко используются частные случаи этого обобщенного критерия: критерий стандартизации, критерий унификации.

Критерий технологических возможностей в любой форме представления изменяет свои значения на отрезке $0 < K_{m.в} < 1$. Данный критерий нельзя отнести к монотонно возрастающим функциям, поскольку часто в новых поколениях технических объектов для улучшения более важных критериев приходится ухудшать критерий технологических возможностей.

Критерий технологических возможностей отражает фактор наследственности в технике, аналогичный фактору наследственности в живой природе, определяемому законом Дарвина. При переходе от одного поколения технических объектов к другому он заставляет сохранять и использовать проверенные практикой функциональные элементы, отработанную технологию их изготовления и существующее технологическое оборудование.

Критерий технологических возможностей начал оказывать влияние на развитие техники с конца XVIII века, когда значительно возросла сложность технических объектов и в достаточной степени развилось «машинное производство машин», орудий труда и оружия, выпускаемых большими сериями.

Критерий использования материалов. Для изготовления элементов технических объектов используют различного рода сырье и заготовки. В процессе обработки исходного материала появляются обрезки, стружка и другие отходы, в результате чего масса готовых деталей и, соответственно, технического объекта получается меньше массы израсходованных материалов.

Поскольку доля отходов зависит от технологических процессов и технологического оборудования, действует технологический кри-

терий использования материалов $K_{u..m.}$, равный отношению массы изделия G к массе израсходованных материалов P (при этом покупные комплектующие элементы не учитываются).

В случае, когда в техническом объекте используются материалы, значительно различающиеся по стоимости, при вычислении критерия $K_{u..m.}$ используют следующие зависимости:

$$G_n = \sum_{i=0}^m k_i g_i; P_n = \sum_{i=0}^m k_i p_i, \quad (4.5)$$

где $i = 0, 1, \dots, m$ – номера используемых материалов;

g_i – масса i -го материала, используемого в техническом объекте;

k_i – весовой коэффициент i -го материала;

p_i – масса i -го материала, израсходованного на изготовление элементов технического объекта.

Критерий $K_{u..m.}$ представляет собой монотонно убывающую функцию, которая принимает значения в интервале $0 < K_{u..m.} < 1$. Несмотря на тенденцию монотонного убывания, функция (4.5) иногда имеет ступенчатые (скачкообразные) возрастания, обычно связанные с переходом на новые технологические процессы со значительно большей производительностью или новые более дешевые материалы.

Критерий расчленения технического объекта на элементы. Почти каждый технический объект можно выполнить из существенно меньшего числа элементов (узлов и деталей), чем он изготовлен на самом деле. Например, некоторые простые узлы можно изготовить в виде одной неразъемной детали, отдельные узлы объединить одной станиной и т.п. Такая минимизация числа элементов дает, казалось бы, определенный выигрыш за счет исключения элементов сопряжения и соединения (уменьшается общая масса изделия, повышается его жесткость и надежность, уменьшается трудоемкость механической обработки и сборки и т.д.). Однако такое кажущееся упрощение конструкции, наряду с указанными положительными моментами, часто приносит несоизмеримо большие потери. Дело в том, что большее расчленение часто сокращает время и трудоемкость разработки и доводки изделия в целом, поскольку в каждом новом изделии, как бы хорошо оно ни было спроектировано, имеются более или менее совершенные узлы. Поэтому в процессе разработки и доводки

нового изделия экономичнее и проще устранять недостатки отдельных более простых узлов, чем сложных узлов или изделия в целом. Большое расчленение технического объекта на узлы и детали облегчает и расширяет унификацию и стандартизацию с присущими им преимуществами, позволяет достаточно сложные (с точки зрения изготовления) по конструкции элементы собирать из простых однотипных элементов.

Таким образом, всегда существует *оптимальное расчленение* технического объекта на узлы и детали, которое значительно упрощает технологию разработки, доводки, изготовления, ремонта и модернизации изделий, является основой для унификации и стандартизации.

Критерий K_p расчленения технического объекта на элементы обеспечивает в каждом новом поколении изделий приближение к оптимальному разделению на элементы.

Экономические критерии качества

Критерий расхода материалов. Необходимость уменьшения расхода материала при разработке и изготовлении технического объекта вызвана рядом факторов:

- снижение стоимости технического объекта, поскольку стоимость материалов составляет 25 – 65 % его себестоимости;
- снижение транспортных и погрузочно-разгрузочных расходов при перевозке исходного сырья и материалов для изготовления технического объекта и при транспортировании готовых изделий к месту их использования;
- экономия энергии при эксплуатации (транспортные, обрабатывающие и другие машины и устройства), в которых значительная часть энергии затрачивается на обеспечение поступательного, возвратно-поступательного, вращательного и других видов механического движения.

Критерий расхода материала K_m равен отношению массы технической системы G к ее главному показателю эффективности Q , т.е. представляет собой удельную массу материалов на единицу получаемой эффективности.

Критерий K_m как правило, представляет собой монотонно убывающую функцию при условии, что сопоставление различных поколений технических объектов ведется по одному показателю эффективности Q .

Критерий расхода энергии. При изготовлении и эксплуатации технических объектов, как правило, расходуется определенное количество энергии. Поскольку возрастающие потребности жестко ограничиваются имеющимися энергетическими возможностями, то затраты энергии всегда стремятся свести к минимуму. Критерий расхода энергии равен:

$$K_э = \frac{W_n + E}{TQ}, \quad (4.6)$$

где W_n – полная затрата энергии за время эксплуатации технического объекта;

E – затраты энергии при изготовлении технического объекта;

T – время эксплуатации технического объекта.

Поскольку большинство конструктивных мероприятий по улучшению критерия $K_э$ сводится к повышению доли энергии, используемой непосредственно для выполнения полезной работы, то в инженерной практике широко используют еще одну модификацию критерия расхода энергии, называемую *коэффициентом полезного действия*. Эта модификация критерия равна отношению полезной работы (энергии) W_0 к затраченной работе (энергии) W .

Критерий $K_э$ представляет собой монотонно убывающую во времени функцию при условии, что сравнение различных поколений технических объектов ведется по одному и тому же сопоставимому показателю эффективности Q . Критерий (4.6) является монотонно возрастающей функцией, которая принимает значения в интервале $0 < K_э < 1$, при этом подразумевается сравнение технических объектов с одинаковыми физическими принципами действия. История техники знает немало случаев, когда переход на более перспективный источник энергии происходил со снижением кпд. Примером может служить переход в XVIII веке от водяных колес с кпд порядка 60–70 % к паросиловым установкам с кпд 0,6 – 0,7 %.

Критерий расхода энергии является одним из самых древних, поскольку, начиная с каменного века, люди стремились при получении единицы продукции минимизировать затраты энергии.

Критерий затрат на информационное обеспечение. В последнее время в связи с широким использованием вычислительной техники возрастают затраты на подготовку и обработку информации при

создании и эксплуатации многих технических объектов. Эти затраты становятся сопоставимыми с затратами на материалы и энергию, а прибыли от них быстро возрастают. Критерий затрат на информационное обеспечение равен отношению:

$$K_{u.o.} = \frac{S}{Q}, \quad (4.7)$$

где S – затраты на подготовку и обработку информации, включающие стоимость или эксплуатацию вычислительной техники, разработку или приобретение программного и информационного обеспечения и т.д.

Критерий $K_{u.o.}$ представляет собой монотонно убывающую функцию. Однако критерий может иметь скачки, когда дополнительные значительные затраты S связаны с переходом на принципиально новую перспективную вычислительную технику, которая сразу не дает опережающего повышения эффективности технического объекта.

Критерий габаритных размеров технического объекта. Снижение габаритных размеров технических объектов и их элементов обусловлено следующим:

- уменьшением площади и объема зданий и помещений, в которых постоянно или временно находятся технические объекты;
- уменьшение площади земли, занимаемой непосредственно техническим объектом или зданиями, в которых он находится;
- увеличение полезного объема в технических объектах типа летательных и космических аппаратов, судов, подводных лодок и т.п.;
- сокращение расходов по защите технического объекта (расходы на материал корпуса, кожухи, чехлы, лакокрасочные покрытия и т.п.) и уходу за ним;
- сокращение расходов по транспортированию технического объекта.

Критерий габаритных размеров равен отношению основных габаритных размеров технического объекта V к его эффективности:

$$K_2 = \frac{V}{Q}. \quad (4.8)$$

Критерий K_2 представляет собой монотонно убывающую функцию при условии сопоставления различных поколений технических объектов по одному и тому же сопоставимому показателю эффективности Q .

Критерий K_2 оказывает влияние на развитие подавляющего большинства технических объектов за исключением тех, у которых уменьшение габаритных размеров функционально ограничено, размерами человека, животных или других объектов, имеющих неизменные размеры.

Антропологические критерии качества

Группа антропологических критериев обеспечивает по возможности наибольшее соответствие и приспособленность технического объекта к человеку, снижение или исключение вредных и опасных воздействий технического объекта на человека и окружающую среду.

Критерий эргономичности. Эффективность многих технических объектов в значительной степени зависит от того, насколько они приспособлены к психофизиологическим качествам человека-оператора, использующего этот объект или управляющего им при воздействии на предмет обработки, т.е. насколько в системе «человек-машина» использованы физические, психические и интеллектуальные возможности человека.

Свойство системы «человек-машина» изменять свою эффективность в зависимости от степени использования возможностей человека-оператора называют эргономичностью. Эффективность технического объекта при этом в первую очередь выражается через функциональные критерии качества (производительность, надежность, точность и др.).

Критерий эргономичности для конкретного технического объекта равен отношению реализуемой эффективности системы «человек-машина» к максимально возможной эффективности этой системы. Он представляет собой зависящую от времени монотонно возрастающую функцию, стремящуюся к своему пределу, равному единице.

Критерий эргономичности можно интерпретировать как коэффициент полезного действия человека в системе «человек-машина», тем более что граница и характер изменения значений этого критерия такие же, как у энергетического коэффициента полезного действия.

Критерий безопасности. Многие технические объекты, а также выпускаемая ими продукция и используемое сырье оказывают или могут оказать на работающих и окружающих людей различные вредные или опасные воздействия:

- повреждение или поражение органов, приводящие к временной потере трудоспособности;
- тяжелые повреждения или поражения, приводящие к постоянной потере трудоспособности;
- смертельный исход (исходы).

Критерий безопасности имеет отношение ко всем классам технических объектов, которые своим функционированием, выпускаемой продукцией или используемым сырьем оказывают или могут оказать на окружающих людей вредное или опасное воздействие.

Критерий экологичности. Критерий экологичности или критерий сохранения окружающей среды регулирует взаимоотношения между естественной природой и техническим объектом с точки зрения комфортности и возможности жизни людей.

Критерий экологичности в общем виде можно выразить зависимостью

$$K_{\text{эк}} = \frac{S_n + S_{\text{кр}}}{S_0}, \quad (4.9)$$

где S_n – площадь территории (суши и воды), на которой по одному или нескольким факторам имеются недопустимые (выше нормы, но ниже критических) загрязнения или изменения;

$S_{\text{кр}}$ – площадь территории, на которой по одному или нескольким факторам имеются критические загрязнения и изменения, при которых жизнь человека становится смертельно опасной или невозможной;

S_0 – общая площадь рассматриваемого региона.

К факторам загрязнения и изменения среды относятся:

1) инородные примеси, вносимые в атмосферу, воду и землю в виде новых веществ, физических полей и воздействий; различные газы и пыль, выделяемые заводами и транспортными машинами; загрязнение воды и земли промышленными сбросами, пестицидами; радиоактивное, шумовое и тепловое загрязнение среды и др.;

2) изменения в неживой природе в виде отклонений от естественной нормы концентрации веществ, характеристик физических полей и воздействий, рельефа и структуры поверхности земли и др.;

3) изменения в живой природе в виде отклонений от естественной нормы числа особей существующих видов на единицу площади, исчезновения существующих видов или появления новых.

Необходимость повышения критерия экологичности у технических объектов не подразумевает абсолютного прекращения нежелательных загрязнений и изменений природы. Этот критерий должен влиять на выбор средств минимального воздействия на природу, на серьезное обоснование нормативов загрязнения и изменения среды, нарушение которых приносит несоизмеримо больший вред по сравнению с пользой или вообще недопустимо.

4.4. Конструктивная эволюция технических объектов

Изучение конструктивной эволюции технических объектов

Изучение конструктивной эволюции связано с анализом истории развития интересующего класса технических объектов, имеющих одинаковые или близкие функции. Такое исследование основывается на законе прогрессивной эволюции технических объектов, суть которого состоит в повторении следующего цикла:

- 1) начало изготовления и использования поколения S_i технических объектов;
- 2) накопление в течение времени t_i недостатков у поколения S_i ;
- 3) создание нового поколения S_{i+1} , устраняющего недостатки S_i , и начало его изготовления и использования.

Важнейшие цели проведения анализа конструктивной эволюции:

- 1) При создании нового поколения технических объектов имеется несколько путей их дальнейшего конструктивного изменения и совершенствования. Среди всех альтернативных путей обычно только один бывает наиболее правильным и перспективным. Остальные часто оказываются тупиковыми. Поэтому перед конструктором каждый раз стоит ответственная задача не только изобрести несколько альтернативных улучшенных технических решений, но, главное, *найти единственное наиболее правильное решение.*

Дальнейшее развитие и совершенствование любого технического объекта основывается на всей истории его конструктивной эволю-

ции, изучение которой помогает инженеру *выявить основные устойчивые факторы*, влияющие на его развитие, и наиболее правильно сформулировать тенденции его развития.

2) Знание истории технического объекта часто подсказывает удачные идеи его дальнейшего совершенствования, т.е. «все новое – хорошо забытое старое».

3) Анализ конструктивной эволюции позволяет выявить и кратко описать опыт решения задач инженерного поиска. Такой опыт формируют в виде обобщенных эвристических приемов, подсказывающих получение от прототипа S_i , улучшенного решения S_{i+1} . Ценность таких правил состоит в том, что они для данного класса технических объектов часто срабатывают повторно, т.е. их имеет смысл сознательно использовать, тем более что среди них оказываются и частные закономерности изменения конструкции технического объекта.

4) Конструктор-изобретатель должен осмыслить в деталях процесс получения выдающихся изобретений, прежде всего в своей области. Анализ конструктивной эволюции позволяет углубленно изучать работу и опыт выдающихся конструкторов.

5) Углубленное и всестороннее изучение конструктивной эволюции интересующего класса технических объектов позволяет набрать необходимую сумму фактов для формулирования закономерностей их строения и развития.

Методика описания конструктивной эволюции и анализа технических объектов

Цель анализа конструктивной эволюции технических объектов с одинаковыми или близкими функциями заключается:

- в выявлении устойчивых (постоянно действующих) критериев развития технических объектов и показателей их качества;
- в формулировании закономерностей их строения и развития;
- в формулировании правил получения улучшенных технических решений путем преобразования прототипа.

Аналізу конструктивной эволюции предшествует изучение и описание истории развития интересующего класса объектов, кото-

рую можно представить в виде последовательности преобразований, называемой *эволюционной цепочкой*:

$$S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \dots \rightarrow S_k;$$

$$S_i \rightarrow S_{i+1}, \quad (i = 0, \dots, k),$$

где S_i – технический объект i -го поколения, являющийся прототипом по отношению к улучшенному объекту;

S_{i+1} – технический объект последующего поколения;

S_k – сегодняшнее поколение технического объекта.

При построении эволюционной цепочки и отборе для нее поколений S_i технических объектов руководствуются следующими правилами:

1) взять S_i , лежащие на прямой линейной эволюционной цепочке и построить ее ретроспективно в обратном направлении $\dots \leftarrow S_{k-2} \leftarrow S_{k-1} \leftarrow S_k$, при этом для каждого S_i выбрать основной (базовый) прототип S_{i+1} , на основе которого он был создан;

2) отобрать только, относящиеся к серийно или массово производимым;

3) отобрать только те, которые имеют существенные отличия от прототипов, это требование позволяет очистить эволюционную цепочку от малоинтересных (в смысле конструктивной эволюции) модификаций.

При построении эволюционной цепочки для реального класса технических объектов могут встретиться и более сложные случаи по сравнению с линейными цепочками. Типичным усложнением является ветвление цепочки, а точнее, случай, когда поколение S_{i+1} создавалось на основе нескольких прототипов S'_i, S''_i, \dots . В этих случаях выбирают главный базовый прототип, а остальные относят к дополнительным прототипам.

4.5. Постановка и анализ задачи инженерного поиска

Предварительная постановка задачи

Решение задачи инженерного поиска заключается в улучшении известного устройства, называемого прототипом, путем внесения в него определенных изменений. К этому классу задач не относится

поиск новых потребностей и формулировка новых функций технических объектов, разработка принципиально новых технических решений, не имеющих прототипов, постановка задач поиска новых технических решений как задач математического программирования.

Задачи инженерного поиска, как правило, решаются итерационным путем, т.е. делается несколько приближений к искомому решению на основе полученных результатов. Поэтому постановка задачи инженерного поиска разделяется на два этапа. На первом этапе выполняется поиск с помощью операций 1–5, после чего предпринимаются попытки решения задачи естественным способом «проб и ошибок» или с помощью какого-либо метода. На втором этапе выполняются операции 6–12.

Правильная постановка творческой инженерной задачи – это значительная часть ее решения. Она часто связана с отсечением многих бесперспективных и тупиковых направлений поиска. Нередки случаи, когда решение задачи находят в процессе ее постановки.

Операция 1. Описание проблемной ситуации.

Эта операция представляет собой самую предварительную формулировку задачи, в которой должны содержаться ответы на следующие вопросы:

- а) В чем состоит проблемная ситуация и какова ее предыстория?
- б) Что требуется сделать для устранения проблемной ситуации, т.е. какую потребность нужно удовлетворить?
- в) Что мешает устранению проблемной ситуации или достижению цели?
- г) Какие выгоды принесет решение данной задачи?

Операция 2. Описание функции технического объекта. Описание содержит четкую и краткую характеристику технического средства, с помощью которого можно удовлетворить возникшую потребность. При этом рекомендуется давать сначала качественное, а затем количественное описание функции, которую требуется реализовать с помощью разрабатываемого технического объекта.

Операция 3. Выбор прототипа и составление списка требований. В описании проблемной ситуации часто указывают прототип, который требуется усовершенствовать. Этот исходный прототип обычно приходится брать за основу при поиске улучшенного решения. Кроме этого, рекомендуется выбрать еще 1–2 дополнительных прототипа, имеющих определенные достоинства по сравнению с ис-

ходным. При этом в первую очередь используются существующие на практике передовые и аналогичные технические решения в ведущем классе технического объекта. Ведущий класс по сравнению с рассматриваемым имеет близкую функцию к техническому объекту и более высокий технический уровень. Например, для автомобилестроения ведущим классом может быть авиация, для строительства – машиностроение.

При выборе дополнительных прототипов рекомендуется использовать словари технических функций, МКИ (международную классификацию изобретений), патентные описания за последние 5 – 10 лет (как по рассматриваемому, так и функционально близким классам технических объектов) и т.д.

Список основных требований к прототипу составляют в зависимости от уровня его описания в виде списка требований к принципу действия или техническому решению. Количественное описание функции технического объекта вместе с основными требованиями представляет собой техническое задание на разработку нового поколения технического объекта.

Иногда при выборе прототипа удается найти подходящее решение и тем самым снять проблемную ситуацию. В этом случае при дефиците времени и ресурсов можно прекратить решение задачи поиска улучшенного технического решения. Однако при наличии времени почти всегда имеет смысл и есть возможность улучшить найденное решение и тем самым отодвинуть время возникновения новой проблемной ситуации.

Операция 4. Составление списка недостатков прототипа. Каждый используемый технический объект обычно имеет некоторые недостатки, устранение которых обеспечивает получение новой улучшенной модификации. При выполнении этой операции необходимо стремиться выявить все недостатки прототипа, которые могут быть устранены в новом изделии, т.е. для каждого прототипа следует указать:

- критерии качества технического объекта;
- показатели, не соответствующие сформулированной функции;
- факторы, снижающие эффективность или затрудняющие использование прототипа;
- показатели, которые желательно улучшить.

Для каждого критерия, показателя и фактора следует дать по возможности количественную оценку с перспективой на будущее. Перечень требующих улучшения критериев, показателей и факторов с их количественной оценкой будем называть *списком недостатков прототипа*.

При составлении списка недостатков целесообразно изучить конструктивную эволюцию рассматриваемых технических объектов для более обоснованного выбора критериев развития. Полученный список недостатков необходимо упорядочить по степени важности их устранения и выделить самые важные недостатки, устранение которых будем считать *главными целями решения задачи*.

Операция 5. Предварительная формулировка задачи. Кратко обобщаются результаты, полученные при выполнении операций 1–4. При этом задача традиционно содержит две части: «дано» и «требуется». Такое обобщение дает комплексное и легко обозримое представление о задаче.

Дано:

а) качественное или количественное (в зависимости от характера задачи) описание функций и ограничений;

б) перечень и описание возможных прототипов и требования к ним;

в) списки недостатков прототипов.

Требуется:

в процессе решения задачи так изменить прототип, т.е. найти такое новое техническое решение, которое бы реализовало интересующую функцию и не имело (или имело в меньшей мере) недостатки, присущие прототипу.

Уточненная постановка задачи

Операция 6. Анализ функций прототипа и построение улучшенной конструктивной функциональной структуры. Анализ функций прототипа и построение его конструктивной функциональной структуры выполняется в соответствии с рекомендациями прил. А.

После этого проводят корректировку функциональной структуры, для чего необходимо ответить на вопросы:

а) Какие можно ввести новые функциональные элементы, обеспечивающие устранение недостатков прототипа или существенное повышение эффективности и качества технического объекта?

б) Какие можно исключить элементы для устранения недостатков прототипа или повышения эффективности и качества технического объекта?

в) Какие элементы целесообразно исключить путем передачи их функций другим элементам?

г) Для каких элементов, имеющих несколько функций, целесообразно разделение функций и введение вместо одного двух или более элементов?

После ответа на перечисленные вопросы строится улучшенная конструктивная функциональная структура. При этом возможны ситуации, когда не удастся изменить функциональную структуру прототипа или появляется несколько альтернативных улучшенных.

Операция 7. Анализ функций вышестоящей по иерархии системы. Почти всегда рассматриваемый технический объект можно представить как элемент в другой, более сложной технической системе (например, деталь в узле, узел в машине, машина в технологической линии цеха и т.д.).

Для анализа функций вышестоящей по иерархии системы необходимо:

1) Выделить вышестоящую по иерархии систему, в которой как отдельные элементы (подсистемы) выступают рассматриваемый технический объект и другие смежные с ним объекты (другие технические объекты, окружающая среда, человек и т.д.).

2) Описать функции всех элементов, входящих в выделенную систему, и построить конструктивную функциональную структуру.

3) Выяснить возможность удовлетворения потребности, т.е.:

- можно ли выполнить функцию рассматриваемого технического объекта путем внесения изменений в смежные объекты;
- нельзя ли какому-либо смежному объекту частично или полностью передать выполнение функции рассматриваемого технического объекта;
- что мешает внесению необходимых изменений и нельзя ли устранить мешающие факторы.

4) Сформулировать по аналогии с операцией 5 задачу внесения изменений в смежные объекты. Провести технико-экономическое сравнение первоначальной постановки задачи по операции 5 с задачей внесения изменения в смежные объекты. Если последняя более эффективна, то следует проработать ее по операциям 1–6.

Операция 8. Выявление причин возникновения недостатков. Проводятся более углубленный анализ и изучение задачи в направлении выявления причин возникновения недостатков в прототипе.

Сопоставляется каждый недостаток и причина его возникновения и исследуется, можно ли полностью или частично избавиться от недостатка, исключив причину его возникновения?

Операция 9. Выявление и анализ противоречий развития. Улучшение многих технических объектов связано с преодолением так называемых противоречий развития, которые могут иметь место в следующей типичной ситуации: улучшение какого-либо желаемого показателя приводит к существенному ухудшению одного или нескольких других важных показателей. Возможно и другое противоречие развития, когда улучшение требуемого показателя ограничено некоторым фактором.

При выявлении и анализе противоречий развития выполняют следующие процедуры.

1) Из списка недостатков прототипа, выявленных в операции 4, выбираются недостатки, связанные с улучшением количественных показателей и в первую очередь относящиеся к критериям качества технического объекта.

2) При рассмотрении каждого такого показателя определяют:

- какой показатель технического объекта существенно ухудшается при улучшении рассматриваемого показателя;
- какие факторы (константы, стандарты и т.д.) ограничивают улучшение требуемого показателя.

3) Строится качественный или количественный график зависимости ухудшаемого показателя от показателя, который требуется улучшить.

Операция 10. Уточнение списка прототипов и формирование идеального технического решения. Выявление и анализ недостатков прототипа (операции 4, 8, 9), анализ функций прототипа и вышестоящей системы (операции 6, 7) значительно расширяют представление о задаче и требованиях к прототипу. В связи с этим целесообразно еще раз вернуться к выбору наиболее подходящего прототипа для разработки улучшенного технического объекта и использовать при этом рекомендации, данные в операциях 3, 6, 7. Кроме того, полезно сформулировать и представить идеальное техническое решение.

Любой класс технических объектов имеет вполне определенное направление, так называемую *главную магистраль* развития. В связи с этим все изобретения можно разделить на две группы: прогрессивные (Т1, ..., Т4), которые лежат на главной магистрали, и тупиковые (Т3а, Т4а), уходящие в сторону от главной магистрали. При создании нового технического объекта задача заключается не в поиске вообще новых улучшенных технических решений, а в поиске решений, лежащих на главной магистрали.

К одному из приемов, помогающих выбору нового технического решения на главной магистрали развития, относится формулировка *идеального технического решения*, которое конструкторы и изобретатели называют по-разному: идеальный конечный результат, идеальная машина, предельно совершенное устройство и т.д. Идеальное техническое решение является как бы ориентиром для выбора прототипа и конструирования улучшенного технического объекта.

Определение идеального технического решения (ИТР). Техническое решение считается идеальным, если оно имеет одно или несколько из следующих свойств:

1. В ИТР размеры технического объекта приближаются или совпадают с размерами обрабатываемого или транспортируемого объекта, а чистая масса технического объекта намного меньше массы обрабатываемого объекта.

2. В ИТР масса и размеры технического объекта или его главных функциональных элементов приближаются к нулю, а в предельном случае равны нулю (когда устройства вообще нет, но необходимая функция выполняется).

3. В ИТР время обработки объекта приближается к нулю или равно нулю.

4. В ИТР коэффициент полезного действия приближается к единице или равен единице, а расход энергии приближается к нулю или равен нулю.

5. В ИТР все части технического объекта все время выполняют полезную работу, исходя из своих расчетных возможностей.

6. Технический объект, имеющий ИТР, функционирует бесконечно длительное время без ремонта и остановок.

7. Технический объект, имеющий ИТР, функционирует без человека или при его минимальном участии.

8. Технический объект, имеющий ИТР, не оказывает никакого отрицательного влияния на человека и окружающую природную среду.

Важность формулировки ИТР заключается в том, что оно позволяет в пространстве поиска выделить (определить) достаточно малый угол поиска β , который обеспечивает более целенаправленную работу и концентрирует интуицию в наиболее перспективном направлении. Это помогает предотвратить выбор тупиковых технических решений (аналогичных Т3а, Т4а) и, как правило, в пространстве этого угла между ИТР и прототипом Т4 лежит искомое решение Т5.

В соответствии с рекомендациями операции 3 определяются требования для уточненного списка прототипов. При этом для прототипов, которые были выбраны ранее, уточняются требования.

Операция 11. Улучшение других показателей технического объекта. При разработке новой модели или нового поколения технических объектов стремятся получить изделия, которые не только бы устраняли главные видимые недостатки, но и имели значительные преимущества перед существующими изделиями по комплексу всех существенных показателей. Поэтому по отношению к выбранным в операции 10 прототипам рекомендуется провести анализ и ответить на вопросы: какие еще можно устранить недостатки в прототипе; какие показатели могут быть дополнительно улучшены.

При ответе на эти вопросы следует рассмотреть возможности улучшения средств выполнения функций, сформулированных в операциях 6, 7; устранения недостатков, выявленных в операциях 8, 9; приближения к ИТР.

Операция 12. Уточненная постановка задачи. По форме она излагается, как и предварительная постановка задачи (операция 5). При этом к исходным данным относятся:

- качественное и количественное описание функции технического объекта;
- перечень и краткое описание прототипов, к которым могут быть отнесены улучшенные функциональные структуры и определение идеального технического решения, и списки основных требований к прототипам;
- главные недостатки прототипов с указанием причин возникновения недостатков;
- дополнительные недостатки и показатели, которые желательно улучшить;
- формулировка противоречий развития прототипов.

4.6. Метод эвристических приемов

Эвристический прием

Существующее орудие труда, станок, машина или любое другое изделие рано или поздно перестают удовлетворять новым требованиям или имеют нетерпимые недостатки, которые требовалось исключить. Человек (конструктор) пытается найти улучшенное техническое решение путем логического анализа недостатков и их устранения или путем поиска и приспособления аналогичного решения в природе либо в другой области техники, или путем случайных изменений прототипа [3, 9, 10].

Такие не систематизированные попытки поиска улучшенного решения называют методом «проб и ошибок». На основе этого древнего способа в 40–50-х годах возник метод эвристических приемов.

Рассмотрим сначала метод «проб и ошибок» на одном из многочисленных примеров решения задачи таким образом.

При успешном решении творческой инженерной задачи начинающий изобретатель получает два вида результатов: методический результат (изобретение способа решения интересующей его инженерной задачи) и искомое техническое решение, полученное с помощью изобретенного способа.

Когда изобретатель встречается с новой инженерной задачей, то в первую очередь пытается ее решить с помощью изобретенного им способа. Если это не удастся (поскольку встретился другой тип задачи), то он снова вынужден искать решение методом «проб и ошибок». При успешном решении он открывает для себя второй способ решения изобретательских задач. Так постепенно у человека формируется свой набор способов.

Такие способы или правила решения инженерных задач называют *эвристическими приемами*, в которых содержится краткое указание, «как преобразовать» имеющийся прототип или «в каком направлении нужно искать», чтобы получить искомое решение. Эвристический прием обычно не содержит прямого однозначного указания, как преобразовать прототип. Если эвристический прием имеет отношение к рассматриваемой инженерной задаче, то он содержит «подсказку», которая облегчает получение искомого решения, однако не гарантирует его нахождения.

Рассмотрим пример решения инженерной задачи с помощью эвристического приема.

***Задача.** В опытном образце прецизионного станка имеется винтовая пара подачи инструмента. При имеющихся размерах и усилиях для вращения вала подачи требуется момент 118 Н·м. Такое усилие вращения вызывает недопустимые деформации, и точность обработки деталей не выдерживается. Для обеспечения необходимой точности требуется в 3–4 раза снизить вращающий момент. Принцип подачи инструмента изменять нежелательно.*

Используется эвристический прием: «Заменить трение скольжения трением качения».

Решение. На валу и гайке делают винтовые пазы, которые заполняют шариками. Винтовая пара превращается в подшипник качения.

Многие эвристические приемы могут быть успешно использованы в самых различных областях техники. Они со временем морально не стареют и оказываются полезными для других изобретателей. На этих свойствах эвристических приемов основывается *метод эвристических приемов*, который интегрирует в методически доступной форме опыт многих изобретателей.

Фонд эвристических приемов

Метод эвристических приемов основывается на межотраслевом фонде эвристических приемов. Этот фонд содержит описания 180 отдельных приемов, которые разделены на 12 групп (табл. 4.7).

Межотраслевой фонд эвристических приемов имеет универсальный характер, т.е. ориентирован на самые различные области техники, поэтому сами приемы имеют обобщенное описание. В них под «объектами» подразумеваются ручные орудия и инструменты, станки, приборы, машины, аппараты, технологические процессы, комплексы станков и приборов и т.д., а также их детали, узлы, технологические операции и т.д. В некоторых эвристических приемах наряду с объектом имеет смысл выделять части объекта, которые называют «элементами». К ним могут относиться детали, узлы, блоки, агрегаты, технологические операции и другие части объекта.

В любом межотраслевом или специализированном фонде эвристических приемов после описания приема должно даваться 2–3 примера решения инженерных задач с помощью этого приема.

Если опытный конструктор познакомится с межотраслевым фондом эвристических приемов, то у него может создаться впечатле-

ние, что большинство приемов ему известно, и они ничего нового не дают. Однако вся сила фонда эвристических приемов заключается в системном охвате проблемы или задачи. Опытному конструктору потребуется гораздо больше времени, чтобы вспомнить или додуматься до большинства приемов и подсказанных ими решений.

Таблица 4.7

Группы эвристических приемов

Номер группы	Наименование группы	Число ЭП
1	Преобразование формы	16
2	Преобразование структуры	19
3	Преобразования в пространстве	16
4	Преобразования во времени	8
5	Преобразование движения и силы	14
6	Преобразование материала и вещества	23
7	Приемы дифференциации	12
8	Количественные изменения	12
9	Использование профилактических мер	22
10	Использование резервов	13
11	Преобразования по аналогии	9
12	Повышение технологичности	16
Всего		180

Наряду с этим можно утверждать, что при ограниченном времени решения инженерной задачи некоторые эвристические приемы так и не попадут в его поле зрения, т.е. фонд эвристических приемов полезен не только для начинающих, но и для опытных изобретателей.

Постановка задачи инженерного поиска и ее решение методом эвристических приемов

Можно выделить следующие шесть последовательных этапов в постановке и решении инженерной задачи методом эвристических приемов.

1) При использовании метода эвристических приемов можно ограничиться предварительной формулировкой задачи, изложенной в прил. А. Более глубокий и плодотворный поиск решения осуществляют на основе *уточненной постановки задачи*, изложенной в прил. А.

2) Решение задачи начинается с выбора подходящих эвристических приемов. Исходной информацией для этого являются:

- конкретный прототип, который требуется улучшить;
- главный недостаток прототипа, который необходимо устранить;
- главное противоречие развития прототипа, которое требуется устранить.

Исходя из этой информации, просматривают в табл. 4.7 наименования групп эвристических приемов и отбирают наиболее подходящие группы. В каждой из этих групп просматривают все приемы и выбирают интуитивно те эвристические приемы, которые представляют интерес для рассматриваемой задачи.

В методе эвристических приемов не имеет смысла давать какие-либо формальные или полужформальные правила выбора наиболее подходящих эвристических приемов для конкретной задачи. Если смотреть глубже, то выбор приема – это в принципе не формализуемая процедура.

3) Преобразование прототипа начинают с помощью выбранных приемов. При этом фиксируют идеи улучшенных технических решений в виде короткого описания или упрощенной схемы.

Следует заметить, что у фонда эвристических приемов есть одно полезное свойство, называемое *эвристической избыточностью*. Отметим две разновидности этого свойства. Во-первых, многие задачи могут быть решены независимо разными приемами. Вторая разновидность эвристической избыточности состоит в том, что одновременное использование двух и более эвристических приемов приводит к их взаимному усилению.

Таким образом, с помощью отдельных приемов и их наборов получают множество улучшенных допустимых технических решений. Если при этом не удастся получить удовлетворительного улучшенного решения, то рекомендуется наиболее перспективный из найденных вариантов принять за прототип и снова повторить его обработку с помощью подходящих приемов.

4) Следует напомнить, что множество улучшенных допустимых технических решений получено только с учетом главного недостатка или главного противоречия развития. В дальнейшем эти решения используются как прототипы для поиска новых улучшенных техниче-

ских решений, учитывающих другие недостатки и противоречия развития. В результате получают новое множество улучшенных допустимых технических решений.

5) Для найденных технических решений проводят анализ их совместимости со смежными и вышестоящими по иерархии техническими объектами.

Сопоставительный анализ таких таблиц для разных улучшенных технических решений позволяет обоснованно выбрать наиболее эффективное из них. Для особо перспективных вариантов делаются попытки устранить нетерпимые отрицательные последствия.

6) Работа выполняется для всех прототипов, рекомендуемых в постановке задачи. В результате формируется достаточно полное множество улучшенных технических решений, из которого предстоит выбрать перспективные варианты для дальнейшей проработки. Такой выбор производится с учетом главных критериев развития и показателей, а также с точки зрения патентоспособности.

Следует отметить, что метод эвристических приемов только повышает возможность получения допустимого улучшенного технического решения, но не гарантирует нахождение такового. И у разных пользователей этого метода (как и других эвристических методов) часто получаются разные результаты, что в большой мере зависит от приобретенных навыков и природных способностей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альтшуллер, Г.С. Творчество как точная наука / Г.С. Альтшуллер. – М.: Сов. радио, 1979. – 184 с.
2. Инженерная эвристика / Н.Н. Латыпов, С.В. Ёлкин, Д.А. Гаврилов. – М.: Астрель, 2012. – 320 с.
3. Методология инженерного поиска: учебное пособие / С.И. Брусов, Ю.С. Степанов, А.С. Тарапанов, Г.А. Харламов. – М.: Машиностроение-1, 2005. – 216 с.
4. Мюллер, И. Эвристические методы в инженерных разработках / И. Мюллер. – М.: Радио и связь, 1984. – 144 с.
5. Научная и педагогическая подготовка магистров техники и технологии: учебное пособие / А.Н. Афонин, Ю.С. Степанов, А.И. Киричек, А.С. Тарапанов. – М.: Машиностроение, 2009. – 256 с.
6. Некрасов, Ю.Н. Проектирование и технология производства спортивной женской одежды: монография / Ю.Н. Некрасов, А.А. Тарапанов. – СПб.: СПКУДТ, 2004. – 176 с.
7. Основы научно-технического творчества, изобретательской и рационализаторской работы: учеб. пособие / А.И. Фурсенко, С.В. Романовский, Д.М. Бернштейн. – М.: Высш. шк., 1987. – 190 с.
8. Одрин, В.М. Морфологический анализ систем / В.М. Одрин, С.С. Кратавов. – Киев: Наукова думка, 1977. – 183 с.
9. Половинкин, А.Н. Основы инженерного творчества / А.Н. Половинкин. – М.: Машиностроение, 1988. – 368 с.
10. Степанов, Ю.С. Эвристические методы в технологии машиностроения: альбом типовых приемов: учебное пособие для вузов / Ю.С. Степанов, А.Е. Щукин, Б.И. Афанасьев. – М.: Машиностроение, 1996. – 128 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Методы и примеры устранения технических противоречий

1. Дробление

1.1. Разделить объект на независимые (однородные) части.

1.2. Выполнить объект разборным.

1.3. Увеличить степень дробления (измельчения) объекта.

Примеры: «Разрезная кондукторная втулка, состоящая из двух частей, отличающаяся тем, что, с целью облегчения отвода стружки путем раскрытия втулки после выталкивания стружкой из кондуктора, обе части ее соединены шарнирно» (а.с. № 161203).

На рис. П.А.1 изображена кондукторная втулка, вид сверху.

Втулка состоит из двух частей 1 и 2, шарнирно соединенных винтами 3. Предлагаемая втулка предназначена для направления режущих инструментов и позволяет облегчить освобождение стружки при ее заклинивании.

«Инструмент для упрочняющей обработки внутренних цилиндрических поверхностей по а.с. № 645825, отличающийся тем, что, с целью повышения качества обработки, скосы на вкладыше и оправке выполнены ступенчатыми» (а.с. № 854696).

На рис. П.А.2 схематически изображен инструмент для упрочняющей обработки внутренних цилиндрических поверхностей, установленный в упрочняемое отверстие, общий вид (положение инструмента соответствует началу процесса упрочнения).

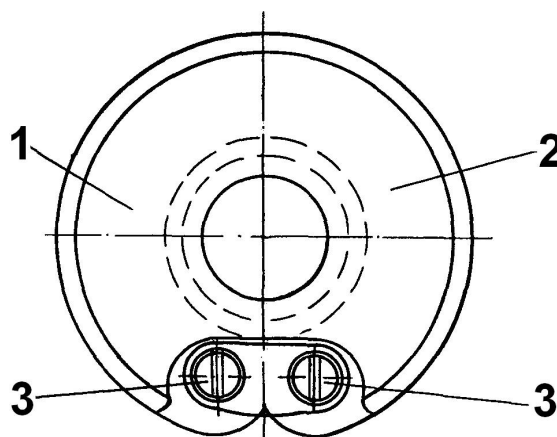


Рис. П.А.1. Разрезная кондукторная втулка

Предлагаемый инструмент выполнен в виде цилиндрического вкладыша 1 с буртиком на конце и цилиндрической оправки 2

с фланцем. На вкладыше и оправке выполнены ступенчато расположенные скосы 3, образующие клиновую пару. Угол наклона скосов 3 к продольным осям вкладыша и оправки выполнен на 1-2 градуса больше угла самоторможения. Длина скосов и угол наклона их поверхности на каждой ступени равны между собой, а величины и количество ступеней определяются длиной отверстия, величиной его диаметра и условием превышения угла наклона скосов над углом самоторможения.

Использование инструмента для упрочнения внутренних цилиндрических поверхностей в деталях повышает качество упрочнения стенок глубоких отверстий. Количество брака при этом снижается на 80 % по сравнению с использованием известного инструмента.

«Подающая цанга, во втулке которой установлен упругий элемент, отличающейся тем, что, с целью расширения технологических возможностей, упругий элемент выполнен в виде набора П-образных пружин, концы которых направлены внутрь втулки под углом, меньшим 90 градусов к направлению подачи прутка и имеют разную длину, а на втулке закреплена обойма» (а.с. № 643235).

«Устройство для притирки пакета поршневых колец, содержащих оправку с подвижными элементами, установленными с возможностью взаимодействия с эластичной втулкой, предназначенной для размещения на ней пакета поршневых колец, и привод вращения оправки, отличающееся тем, что, с целью интенсификации процесса обработки путем дополнительного прижима рабочей поверхности колец к инструменту, устройство снабжено закрепленной на оправке крестовиной, на которой размещены подвижные элементы, выполненные в виде набора кулачков (рис. П.А.2), установленных с возможностью радиального перемещения» (а.с. № 1496993).

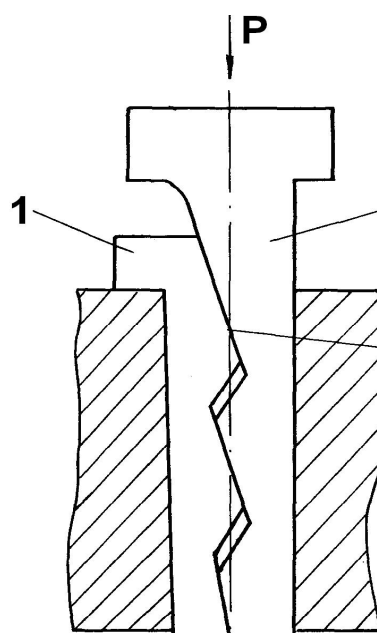


Рис. П.А.2. Инструмент для упрочняющей обработки отверстий

2. Вынесение

Отделить от объекта «мешающую» часть («мешающее» свойство) или, наоборот, выделить единственную нужную часть (нужное свойство).

Раньше тяжелое и громоздкое снаряжение горноспасателя помещалось в ранце, закрепляемом на спине. С целью уменьшения массы газотеплозащитного костюма, увеличения маневренности горноспасателя и общей холодопроизводительности оборудования предложено последнее размещать в отдельном контейнере, соединенном с костюмом при помощи шланга (а.с. № 257301). Контейнер (чемодан) можно поставить на землю.

Чтобы при рентгенографии легких избежать облучения других органов предложена диафрагма, выделяющая из потока лучей только ту часть, которая соответствует форме легких (а.с. № 187933).

«Способ охлаждения зоны резания при абразивной обработке, при которой осуществляют подачу СОТС в зону обработки и отсекают воздушную пленку от периферии абразивного инструмента, отличающийся тем, что, с целью интенсификации охлаждения, воздушную пленку отсекают путем введения ролика из эластичного материала в постоянный контакт с абразивным инструментом перед обработкой» (а.с. № 1114534).

Способ осуществляют следующим образом. В зону резания между шлифовальным кругом 1 (рис. П.А.3) и деталью 2 из сопла подается струя СОТС 4. К шлифовальному кругу подводится ролик 5 из эластичного материала, который, находясь в постоянном контакте с шлифовальным кругом, прижимается к нему с некоторым усилием.

При вращении шлифовального круга 1 вокруг него образуется воздушная пленка 6, которая располагается на периферии круга, включая поры и пазухи последнего. Эта пленка, попадая в зону обработки, препятствует проникновению СОТС в зону резания.

Ролик из эластичного материала, введенный в постоянный контакт с кругом, обеспечивает заполнение пор и пазух шлифовального круга, в результате чего повышается эффективность охлаждения зоны резания.

Предлагаемый способ опробован при шлифовании кулачков распределительных валов. Обрезиненный ролик с наружным диаметром 100 мм, длиной 30 мм, с толщиной эластичного материала 5 мм установлен на рычаге с плечом 300 мм. При этом ролик обкатывает шлифовальный круг диаметром 600 мм. Применение этого ролика

позволило при шлифовании кулачков распределительных валов, упрочненных износостойкими материалами, увеличить поперечную подачу на 30 % без появления прижогов.

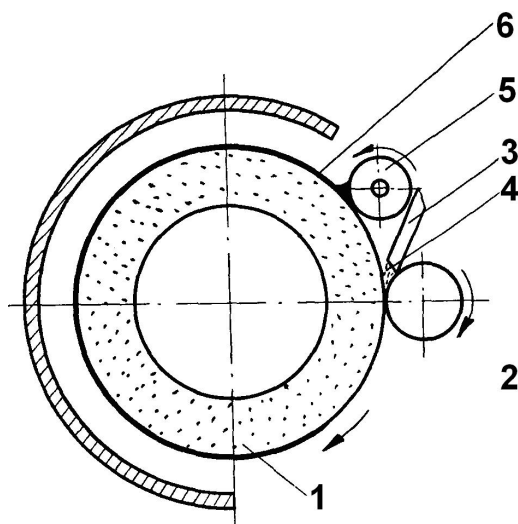


Рис. П.А.3. Способ охлаждения при абразивной обработке

Преимущество предлагаемого способа состоит в том, что он полностью предотвращает попадание воздушной пленки в зону резания, а также значительно проще и дешевле известных.

3. Асимметрия

3.1. Перейти от симметричной формы объекта к асимметричной.

3.2. Если объект уже асимметричен, увеличить степень асимметрии.

«Способ обработки поверхности трения, при котором образуют частично регулярный микрорельеф вибронакатыванием, отличающийся тем, что, с целью повышения долговечности за счет улучшения антифрикционных свойств поверхности трения путем создания плавного перехода от несущей поверхности ко дну углублений. Частично регулярный микрорельеф выполняют асимметричного профиля в направлении скольжения, при этом участки между углублениями микрорельефа подвергают дополнительной упрочняющей обработке» (а.с. № 1581569). На рис. П.А.4 изображена поверхность трения с частично регулярным микрорельефом (ЧРМР). Способ осуществляется следующим образом. На поверхности трения одной из деталей узла трения скольжения создают микроуглубления поверхностным пла-

стическим деформированием, например вибронакатыванием, т.е. создают частично регулярный микрорельеф. Затем проводят упрочняюще-чистовую обработку участков между углублениями микрорельефа, например выглаживание сферическим индентором.

Поверхность трения *1* с ЧРМР контактирует с сопряженной деталью *2*. Контакт происходит по участкам несущей поверхности *3*. Смазка *4* находится в микроуглублениях *5*. Поскольку несущая поверхность *3* имеет смачиваемость выше, чем дно микроуглубления *5*, то смазка *4* стремится в зазор между несущей поверхностью *3* и сопряженной деталью *2*. В процессе трения микроуглубления *5* заполняются смазкой полностью и за счет асимметричности профиля возникает гидродинамическое давление.

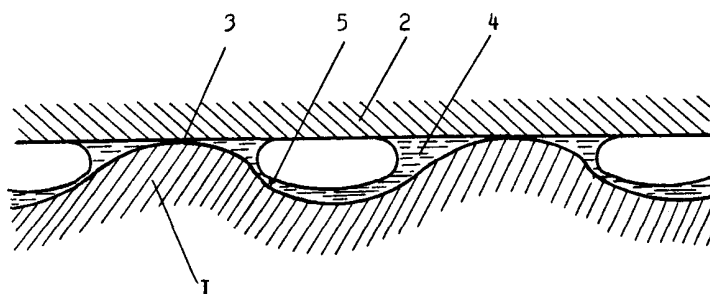


Рис. П.А.4. Поверхность трения с частично регулярным микрорельефом

Рассмотрим следующую формулу изобретения.

«Способ обработки отверстия, заключающийся в том, что ось вращающегося инструмента располагают эксцентрично относительно оси обрабатываемого отверстия, отличающийся тем, что, с целью повышения качества обработка осуществляется за два прохода, при первом из которых радиус инструмента выбирают равным половине разности диаметра обрабатываемого отверстия и припуска, а эксцентриситет равным половине величины припуска, при втором проходе радиус инструмента равен радиусу отверстия, а ось инструмента совмещают с осью обрабатываемого отверстия» (а.с. № 1004011).

На первом проходе обработку отверстия *1* (рис. П.А.5, *а*) осуществляют инструментом *2*, радиус r которого равен половине разности диаметра d обрабатываемого отверстия и припуска h . Ось $O-O$ инструмента *2* смещают параллельно оси $O-O$ обрабатываемого отверстия *1* на величину, равную половине припуска h . Вращающемуся ин-

струменту 2 и заготовке 3 сообщают относительное осевое перемещение. При этом снимаемый припуск плавно изменяется от 0 в точке «а» до h и от h до 0. В точке «а» стружка прерывается.

При втором проходе обработку осуществляют инструментом 2 (рис. П.А.5, б) радиус r которого равен радиусу обрабатываемого отверстия. Оси инструмента 2 и отверстия 1 совмещают. Вращающемуся инструменту 2 и заготовке 3 сообщают относительное осевое перемещение. При этом припуск изменяется так же, как и при обработке первого прохода и стружка прерывается в точке «б».

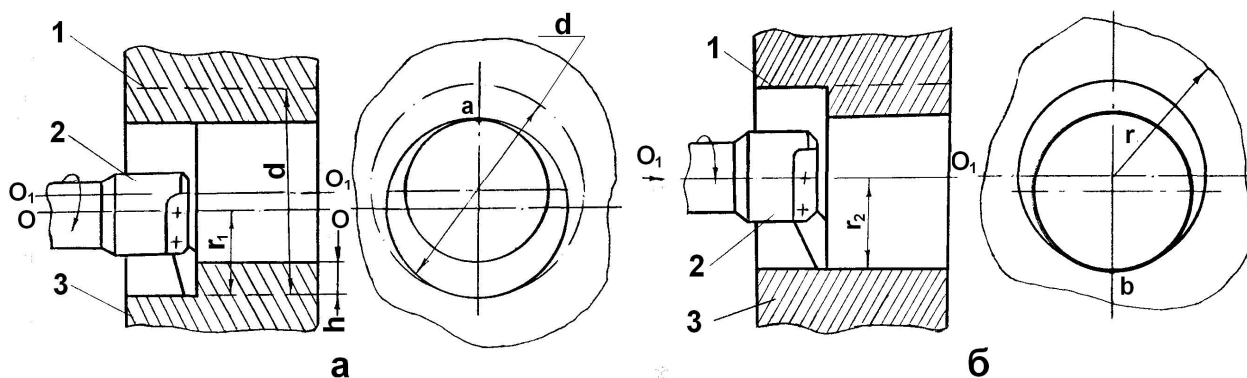


Рис. П.А.5. Схема обработки отверстия:
а – первый проход, б – второй проход

Таким образом, прерывистость припуска обеспечивает дробление стружки, что позволяет исключить задиры обработанной поверхности и способствует автоматизации процесса обработки отверстия, так как, в отличие от сливной, удаление дробленой стружки из зоны обработки не вызывает трудностей и может быть осуществлено, например, путем вымывания стружки струёй эмульсии.

Переменность нагрузки на инструмент, вызванная колебаниями припуска, практически не приводит к заметной погрешности обработки, так как припуск изменяется плавно. Кроме того, для получения отверстия повышенной точности амплитудное значение припуска может быть уменьшено до любой сколько угодно малой величины и выбирается из общетехнологических соображений.

Еще одно изобретение – способ абразивной обработки и очистки (а.с. № 1465267).

Инструмент 1 (рис. П.А.6) выполнен в виде тела цилиндрической формы. Расстояние между осью симметрии А–А и осью вращения В–В равно e . Держатель 2 детали шарнирно закреплен на оси С–С. Обрабатываемая деталь 3 зафиксирована на конце держателя 2.

В положении, показанном на рис. П.А.7, а, точке T соответствует самое ближнее к оси поворота держателя (точка C) положение линии касания поверхности инструмента l и обрабатываемой поверхности детали 3 . При этом точки A , B и C лежат на одной прямой.

Для обеспечения обработки поверхности ход линии касания детали и поверхности инструмента должен быть равен или больше h (рис. П.А.7, б), откуда для расстояния e между осью симметрии и осью вращения рабочего элемента должно выполняться требование:

$$e \geq \frac{Hh}{2L}.$$

Способ осуществляется следующим образом. К свободному концу держателя детали крепят деталь обрабатываемой поверхностью, обращенной к рабочей поверхности инструмента. На его рабочей поверхности нанесен абразивный слой для шлифования, полирования, или очистки обрабатываемой детали. Очистку поверхности можно проводить и без абразивного материала. Деталь, прикрепленную к держателю, опускают на рабочую поверхность инструмента. При вращении последнего происходит сьем материала со всей обрабатываемой поверхности за счет возвратно-поступательного перемещения линии касания детали и рабочей поверхности.

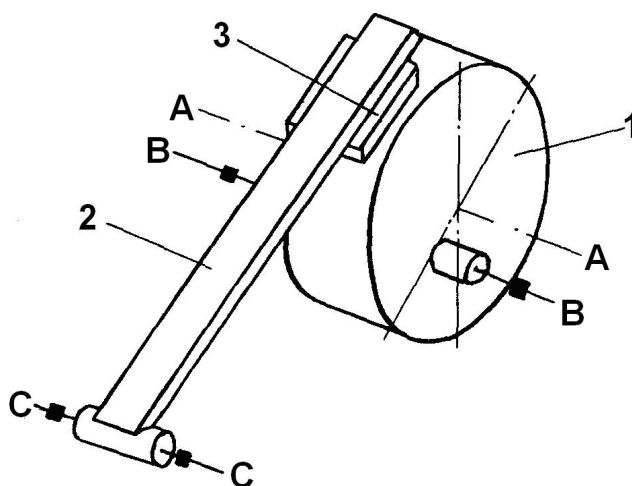


Рис. П.А.6. Реализация способа абразивной обработки

В конкретном исполнении инструмент представляет собой тело цилиндрической формы диаметром 100 мм и шириной рабочей поверхности 25 мм. Расстояние между осью симметрии и осью вращения 20 мм, расстояние от оси поворота держателя детали до оси вра-

щения инструмента 190 мм, а длина участка держателя от оси поворота до середины детали 178 мм. На периферии инструмента закрепляют полировальный слой, на который наносят полировальную пасту АОМ 2/1.

Способ обеспечивает равномерный сьем материала по всей обрабатываемой поверхности. Участие оператора заключается в установке и съеме обработанной детали. Таким образом, применение способа снижает трудоемкость процесса обработки. Способ позволяет обрабатывать как плоские, так и выпуклые или вогнутые поверхности детали, что расширяет его технологические возможности.

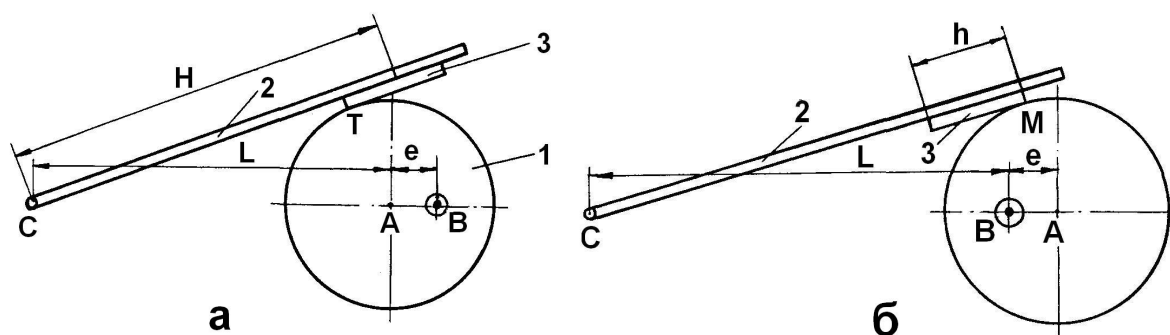


Рис. П.А.7. Схема обработки по способу а.с. № 1465267:
а – в крайней точке *T*, б – в крайней точке *M*

Формула данного изобретения имеет следующий вид.

«Способ абразивной обработки и очистки, при котором инструмент вращают, а деталь поворачивают относительно оси, параллельно оси вращения инструмента, отличающийся тем, что, с целью расширения технологических возможностей за счет обработки плоских и фасонных поверхностей, берут инструмент с периферийной рабочей поверхностью, а вращение инструмента осуществляют вокруг оси, параллельно его оси симметрии и отстоящей от нее на расстояние *e*, которое определяют из условия

$$e \geq \frac{H h}{2L},$$

где *H* – расстояние от оси поворота детали до середины обрабатываемой поверхности детали;

h – размер обрабатываемой поверхности в направлении смещения линии касания детали и рабочей поверхности инструмента;

L – расстояние от оси поворота детали до оси вращения инструмента.

4. Объединение

4.1. Соединить однородные или предназначенные для смежной операции объекты.

4.2. Объединить во времени однородные или смежные операции.

Прием совмещения функций – изобретен автомобильный кузов, в котором во время транспортировки просушивается и очищается зерно. Делается это с помощью встроенных в днище шнеков (а.с. № 846344); антиподом предыдущего является прием разделения функций – спаренный велосипед (а.с. № 846371) управляется с помощью одного руля, поэтому один из велосипедистов может лишь крутить педали, а следить за дорогой будет другой; оснащение станков – обрабатывающих центров комплектом различных формообразующих инструментов также основано на этом принципе.

Прием дублирования (удвоение рабочих органов, технологических процессов) – изобретатель Абеле предложил граммофонную иглу с двумя заостренными концами; Леонардо да Винчи путем дублирования веретен изобрел двухверетенную самопрялку. Известно много технических решений, в основе которых лежит прием дублирования. Вот некоторые из них.

«Устройство для обработки движущегося длинномерного материала инструментами, например, шлифовальными кругами, установленными перекрытием вдоль его оси, отличающееся тем, что, с целью обработки тонкостенного материала, инструменты установлены парами один против другого» (а.с. № 386751).

«Устройство для снятия заусенцев (рис. П.А.8), содержащее проволоку с алмазным покрытием, отличающееся тем, что, с целью автоматизации производства, повышения эксплуатационной надежности, оно снабжено тремя парами роликов, выполненными с винтовой насечкой и, наружной цилиндрической поверхности, между которыми установлена проволока 1, при этом каждая пара имеет ведущий 2 и подпружиненный ведомый 3 ролики, а сами пары смонтированы со смещением относительно друг друга» (а.с. № 781029).

«Накладное контрольное устройство, содержащее основание с двумя опорами, предназначенными для установки на контролируемом объекте, и измерительную головку, отличающееся тем, что, с целью повышения производительности и точности контроля, оно снабжено вторым основанием, соединенным с первым с помощью соединительного звена с двумя двухстепенными шарнирами, имеющего длину, равную удвоенному расстоянию между опорами, и второй из-

мерительной головкой, установленной вместе с первой на соединительном звене на расстояниях от соответствующих осей шарниров, равных половине расстояния между опорами» (а.с. № 1415028).

«Способ ленточного шлифования, при котором обработку ведут двумя ветвями ленты, перемещаемыми в зоне шлифования в противоположные стороны, а обрабатываемому изделию и инструменту сообщают относительные перемещения, отличающийся тем, что, с целью повышения производительности шлифования путем обеспечения знакопеременных сдвиговых деформаций на обрабатываемой поверхности, относительные перемещения сообщают из условия введения в контакт обрабатываемого изделия сначала с ветвью шлифовальной ленты, перемещаемой в одну сторону, затем с ветвью, перемещаемой в другую сторону» (а.с. № 1465276).

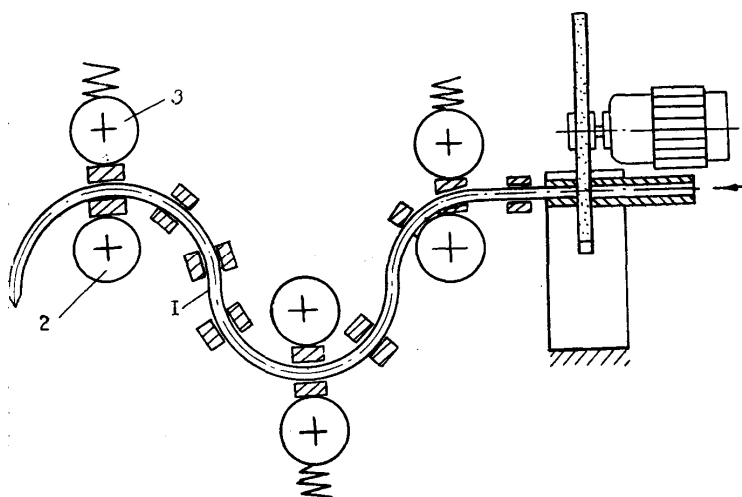


Рис. П.А.8. Устройство для снятия заусенцев

Для осуществления способа абразивную ленту, склеенную в кольцо, устанавливают на лентопротяжный механизм, состоящий из ведущего 1 (рис. П.А.9 и П.А.10), натяжного 2 и контактных 3, 4 роликов.

При этом перекрещивающиеся ветви 5 и 6 абразивной ленты разворачивают на 180 градусов. Контактные ролики 3 и 4 устанавливают на заданную глубину шлифования t , включают вращение ленты и, задавая обрабатываемой детали 7 движение подачи s , вводят ее в контакт с роликами 3 и 4. При резании глубина шлифования t автоматически распределяется между роликами 3 и 4 за счет упругих отжатий в технологической системе и, таким образом, каждая из ветвей срезает свою часть припуска: ветвь 6 – t_1 , ветвь 5 – t_2 . При этом ветвь

6, снимая стружку с поверхности 8, формирует текстуру поверхностного слоя 9, а ветвь 5 снимает стружку с поверхностного слоя 9, в котором направление предшествующих сдвиговых деформаций от воздействия ветви 6 противоположно векторам скорости и формирует текстуру поверхностного слоя 10.

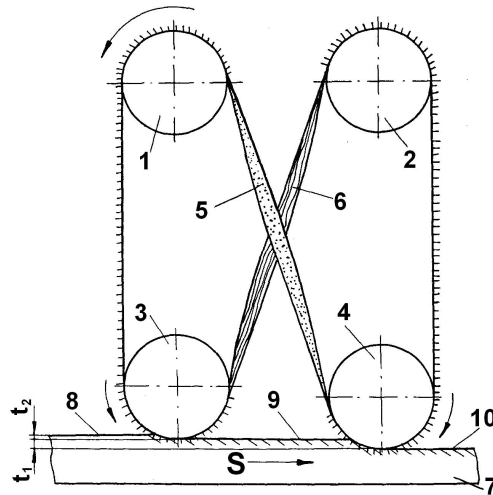


Рис. П.А.9. Схема ленточного шлифования плоскостей

Так, при обычном шлифовании съём покрытия составил 0,1598 г, а при шлифовании по рассмотренному способу – 0,2294 г, что соответствует его увеличению в 1,44 раза.

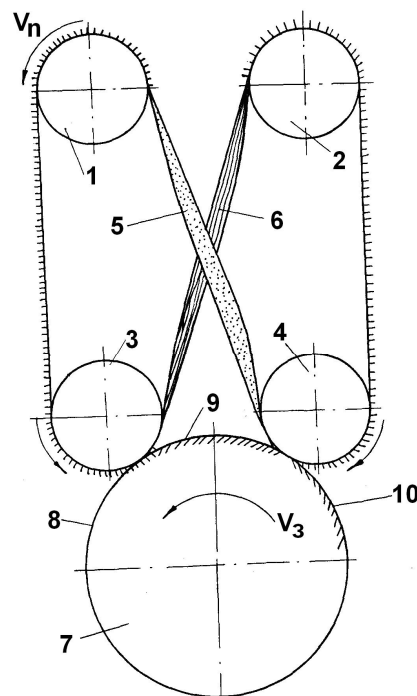


Рис. П.А.10. Схема ленточного шлифования валов

5. Универсальность

Объект выполняет несколько разных функций, благодаря чему отпадает необходимость в других объектах.

«Тиски для металлообрабатывающих станков, содержащие основание, зажимные губки, одна из которых соединена с основанием винтовой парой, и силовой привод, включающий два цилиндра, один из которых гидравлический, и перемещающиеся в них поршни со штоками, отличающиеся тем, что, с целью повышения производительности, второй цилиндр выполнен также гидравлическим, в качестве зажимных губок используются корпуса обоих гидроцилиндров, поршни выполнены с разными диаметрами, а штоки их взаимодействуют с основанием» (а.с. № 476154).

Известен способ подачи СОТС, при котором ее подают поливом из сопла, охватывающего круг и расположенного в непосредственной близости к зоне резания, причем сопло выбирается с открытыми торцами и имеет в продольном сечении форму дуги окружности, переходящей в прямую, а подают СОТС на боковые стенки сопла из условия образования пристеночного потока жидкости (а.с. № 1286400).

Недостаток способа – снижение интенсивности охлаждения за счет неэффективного использования охлаждающей способности СОТС в порах периферийной рабочей поверхности круга, а также снижение равномерности охлаждения в зависимости от глубины обработки.

Известен также способ подачи СОТС при шлифовании периферией круга, согласно которому на периферийную поверхность подают СОТС и создают гидроклин в зоне шлифования, а параллельно торцовым поверхностям круга дополнительно подают два плоских потока СОТС со скоростью, равной или большей скорости подачи СОТС на периферию круга (а.с. № 1576296).

Недостаток этого способа – снижение омывающей и очищающей способности СОТС в порах круга, что обусловлено ухудшением условий удаления стружки из пор круга из-за ее налипания и скопления в порах, в результате чего происходит засаливание рабочей поверхности.

Предлагается следующее техническое решение:

1. Способ подачи СОТС при шлифовании периферией круга, согласно которому СОТС подают на периферийную поверхность и параллельно торцовым нерабочим поверхностям круга, отличающийся тем, что, с целью повышения эффективности охлаждения, берут круг

с полостями на торцовых нерабочих поверхностях из условия образования жидкостных ванн, в которые подают дополнительные потоки СОТС.

2. Способ по п.1, отличающийся тем, что дополнительные потоки СОТС подают параллельно торцовым поверхностям круга (патент РФ № 1809–801).

Сущность изобретения поясняется чертежами, где на рис. П.А.11 приведена схема устройства для осуществления способа и дано сечение А–А на рис. П.А.12.

Устройство для осуществления способа содержит щелевое сопло 1 для подачи СОТС на периферию 2 круга 3 и два щелевых сопла 4 и 5, расположенных параллельно торцам 6 и 7 круга 3.

Устройство дополнительно содержит, два сопла 8 и 9, а шлифовальный круг содержит полости 10 и 11 соответственно на торцах 6 и 7, которые располагают в нерабочей зоне круга 3 и выполняют из условия образования внутриполостных жидкостных ванн СОТС.

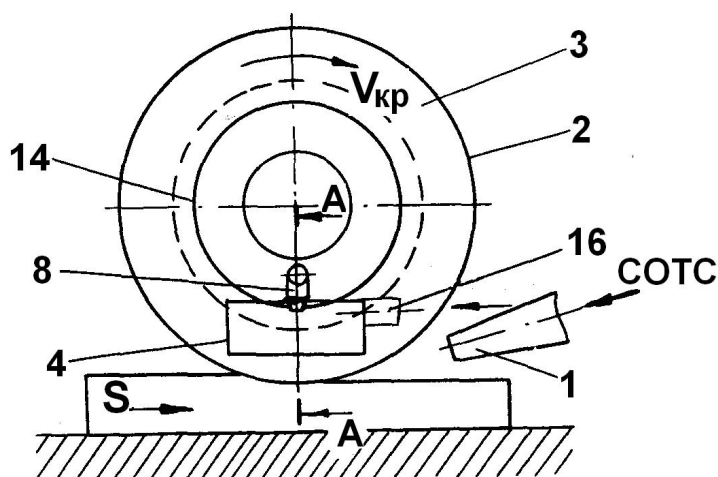


Рис. П.А.11. Способ подачи СОТС при шлифовании периферией круга

Выходные каналы дополнительных сопел 8 и 9 размещают в плоскостях полостей 10 и 11 параллельно торцовым поверхностям 6 и 7 круга 3. Кроме того, изображены также основания полостей 12 и 13, которые содержат буртики 14 и 15, патрубки 16 и 17 для подачи СОТС соответственно к двум щелевым соплам 4 и 5 и двум дополнительным соплам 8 и 9.

Способ осуществляется следующим образом.

При шлифовании детали 18 периферией 2 круга 3 на периферию круга в зону шлифования подают СОТС из сопла 1, а из сопел 4 и 5

вдоль торцов 6 и 7 круга 3 подают два плоских потока СОТС, которые препятствуют растеканию потока СОТС из сопла 1.

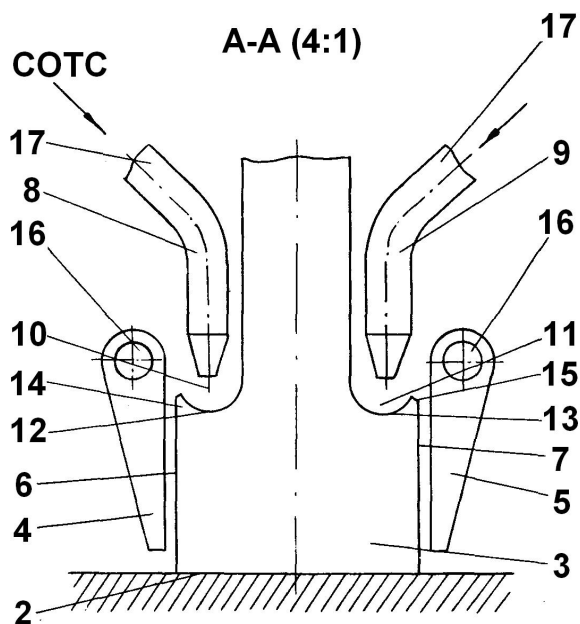


Рис. П.А.12. Способ подачи СОТС при шлифовании периферией круга (сечение А-А на рис. П.А.11)

Одновременно, через сопла 8 и 9, параллельно торцовым поверхностям 6 и 7 круга 3 подают два дополнительных потока СОТС внутрь полостей 10 и 11, которые размещены на торцах 6 и 7 в нерабочей зоне круга 3 и выполнены из условия образования внутриполостных жидкостных ванн, откуда СОТС, под действием центробежных сил, через поры абразивного круга достигает его периферии.

Данный способ позволяет существенно упростить подачу СОТС по сравнению с известными способами подачи со стороны посадочного отверстия, внутренних замкнутых полостей или каналов, т.е. через планшайбу.

Предлагаемый способ улучшает смачиваемость инструмента в зоне резания, улучшает способность круга к самозатачиванию, препятствует забиванию пор отходами шлифования, способствует уменьшению засаливания и затупления круга частицами металла и абразивным шламом, улучшает условия выноса продуктов разрушения из зоны резания, препятствует их концентрации и слипанию в порах круга, способствует образованию прочных смазочных пленок на периферии круга. Все это, в свою очередь, повышает эффективность охлаждения, усиливает смазочное и моющее действие СОТС, снижает частоту правок, обеспечивает возможность повышения износостойкости круга.

Таким образом, наличие внутриволостных жидкостных ванн в волостях, расположенных на торцах круга, куда подают дополнительные потоки СОТС параллельно торцовым поверхностям круга и откуда СОТС, под действием центробежных сил достигает периферии круга, способствует увеличению количества СОТС, попадающей в зону контакта круга и шлифуемой заготовки и, в конечном итоге, позволяет увеличить производительность обработки, интенсифицировать режимы резания, улучшить качество шлифованных деталей и повысить эффективность охлаждения.

Использование изобретения позволяет увеличить производительность и качество обработки, повысить эффективность охлаждения за счет повышения технологической эффективности СОТС, связанной с увеличением количества СОТС, проходящей через зону контакта круга с заготовкой в единицу времени.

6. «Матрешка»

6.1. Один объект размещен внутри другого, который, в свою очередь находится внутри третьего и т.д.

6.2. Один объект проходит сквозь полость в другом объекте.

«Устройство для подачи СОТС через поры шлифовального круга, включающее воронку и патрубков, отличающееся тем, что, с целью повышения надежности устройства путем устранения дисбаланса круга, воронка выполнена из установленных одно в другом колец тарельчатой формы из синтетического материала, при этом внутреннее кольцо выполнено с внутренними ребрами» (а.с. № 850366).

Известен способ абразивной обработки с подачей СОТС в зону резания свободно падающей струей (поливом).

Технологическую эффективность СОТС, подаваемой поливом, в принципе можно существенно повысить путем насыщения ее газом, способным создать на поверхности металла шлифуемой заготовки достаточно прочные защитные пленки, снижающие интенсивность износа, затупления и засаливания шлифовального круга и обеспечивающие тем самым повышение его стойкости и режущей способности.

Недостатком этого способа является то, что окружающие и торцовые воздушные потоки, создаваемые вращающимся кругом, воздействуют на поток (струю) воздушно-жидкостной смеси и рассеивают газ в атмосферу еще до зоны обработки. В результате эффективность насыщения СОТС газом сводится к нулю.

Рассмотрим следующее изобретение (а.с. № 1030150). «Способ абразивной обработки, при котором СОТС подают в зону резания свободно падающей струёй, отличающийся тем, что, с целью повышения стойкости шлифовального круга, в зону резания дополнительно подают струю газа, которую располагают центрально в струе СОТС» (рис. П.А.13).

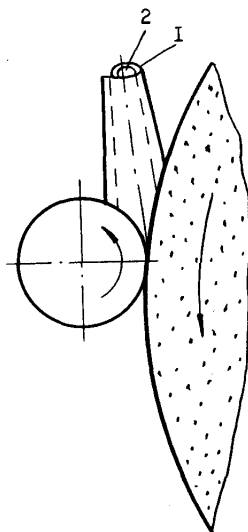


Рис. П.А.13. Схема абразивной обработки

Данный способ осуществляется следующим образом. СОТС по-прежнему производит охлаждающее и моющее действие, но, кроме того, обеспечивает защиту газа от рассеивания, создавая вокруг него гидравлический (жидкостный) заслон. Газ, например, кислород, поступающий в зону обработки, способствует повышению эффективности шлифования за счет образования на поверхности обрабатываемой заготовки окисных пленок. Пленки уменьшают трение в зоне контакта «шлифовальный круг – заготовка» и предотвращают адгезионное взаимодействие последних. В свою очередь, это приводит к снижению сил резания, уменьшению износа и затупления шлифовального круга и шероховатости обработанной поверхности. В итоге повышается стойкость шлифовального круга или при той же стойкости обеспечивается возможность повышения производительности обработки шлифованием.

Были проведены испытания, при которых шлифовали детали типа колец подшипников при одновременной подаче СОТС и кислорода по предлагаемому способу. Расход СОТС 0,8 дм³/мин, расход кислорода 0,16 дм³/мин на 1 мм длины обрабатываемой поверхности.

Состав СОТС: кальцинированная сода – 1,0 %; нитрит натрия – 0,2 %; вода – 98,8 %.

Шлифовальный круг 24А10СМ17К5 ПП 400х203х15.

Обрабатываемый материал – сталь ШХ15, закаленная, HRC₉62...64.

Диаметр заготовки 65 мм, ширина 14 мм.

Оборудование – круглошлифовальный станок мод. ЗБ153.

Режимы шлифования: окружная скорость заготовки $V_3=30$ м/мин; поперечная подача $S_n = 0,4$ мм/мин.

Результаты испытаний показали, что износ шлифовального круга снижается на 30 – 40 %, шероховатость обработанной поверхности уменьшается на 15 – 30 % (по критерию R_a) по сравнению с известным способом. Таким образом, предлагаемый способ абразивной обработки имеет заметные преимущества по сравнению со шлифованием при поливе СОТС свободно падающей струей, т.е. это приводит к повышению производительности при повышении стойкости шлифовального круга и уменьшению шероховатости.

«Виброустойчивая расточная оправка, содержащая корпус с резцом и внутренним коническим отверстием, стержень с наружной конической поверхностью, установленный в отверстии корпуса с возможностью осевого перемещения от винтового механизма, и вязкоупругий элемент, размещенный между поверхностями корпуса и стержня, отличающийся тем, что, с целью повышения жесткости, оправка снабжена дополнительным стержнем, установленным соосно с основным стержнем в выполненном в нем отверстии с возможностью перемещения и взаимодействия с дном конического отверстия корпуса» (а.с. № 1493389).

Элемент конструкции оправки (без регулировочного устройства) изображен на рис. П.А.14.

Виброустойчивая расточная оправка содержит корпус 1, в отверстии которого установлен основной стержень 2 с отверстием, несущим дополнительный стержень 3 с возможностью изменения фиксации их относительно друг друга. В корпусе 1 и на стержне 2 выполнены разной конусности конические поверхности 4 и 5, образующие регулируемый конический зазор, заполненный вязкоупругим материалом 6 переменной толщины по длине.

Вязкоупругий материал 6 приклеен клеем к коническим поверхностям 4 и 5 корпуса 1 и основного стержня 2.

Оправка работает следующим образом. В процессе работы обрабатываемая деталь жестко закреплена в патроне, а оправка вращается с определенным числом оборотов. В результате резонанса, наступающего при совпадении частоты собственных колебаний оправки с частотой вынужденных колебаний, вызываемых процессом резания, возникают вибрации.

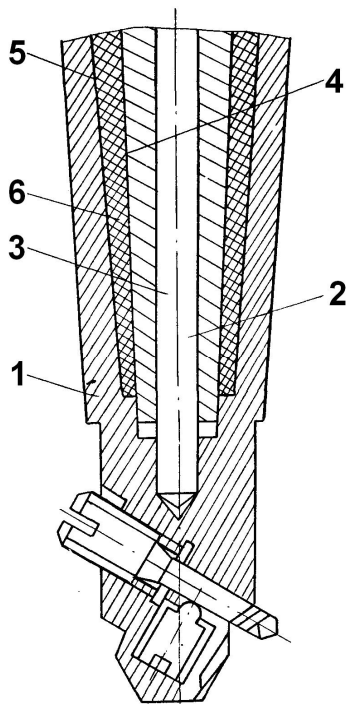


Рис. П.А.14. Виброустойчивая расточная оправка

Снижение вибрации в предложенной оправке достигается повышением частоты собственных колебаний системы за счет нагружения корпуса *1* и дополнительного стержня *3*, соответственно растягивающими и сжимающими усилиями и распределением массы вязкоупругого материала *6* по длине оправки в кольцевом зазоре между коническими поверхностями *4* и *5* корпуса *1* и стержня *2*.

«Ультразвуковая головка, содержащая преобразователь с концентратором, установленные в корпусе, рабочий инструмент и фланец для крепления головки со станком, отличающаяся тем, что, с целью повышения точности обработки, головка снабжена направляющим устройством, выполненным в виде двух цилиндров, установленных один в другом с возможностью относительного перемещения, при этом наружный цилиндр установлен неподвижно, а внутренний цилиндр жестко соединен с корпусом головки» (а.с. № 872203).

7. Антидействие

Если по условиям задачи необходимо совершить какое-то действие, надо заранее совершить антидействие.

«Способ резания чашечным резцом, вращающимся вокруг своей геометрической оси в процессе резания, отличающийся тем, что с целью предотвращения возникновения вибрации чашечный резец предварительно нагружают усилиями, близкими по величине и выправленными противоположно усилиям, возникающим в процессе резания» (а.с. № 536866).

С целью уменьшения коробления композиционного материала последний при изготовлении и сушке изгибают в сторону, противоположную приклеиваемому покровному слою (а.с. № 241290).

Если при навивке пружины одновременно закручивать вокруг своей оси и проволоку, то полученная таким образом предварительно напряженная пружина «двойной» закрутки по своим механическим показателям намного превосходит изготовленные обычным способом (а.с. № 316509).

Останкинская телебашня под ветровой нагрузкой испытывает изгиб, при этом с наветренной стороны возникают растягивающие напряжения, а с подветренной – сжимающие. Как известно, бетон плохо выдерживает растягивающие напряжения. Поэтому при строительстве башня была сжата тросами, пропущенными через нее и уходящими к силовым механизмам подвала.

Для получения сжимающих усилий, например, в заготовках турбинных дисков, последние после нагрева ставят остывать на вращающийся стол. Когда заготовка остынет, то в ней появляются сжимающие усилия.

Известен следующий способ шлифования (а.с. № 1449325). Цель изобретения – повышение качества обработки за счет снижения глубины дефектного слоя. Кругу сообщают вращение и радиальную подачу. Деталь сжимают в направлении плоскости вращения круга и в плоскости, перпендикулярной действию указанной сжимающей нагрузки, и сообщают поступательное перемещение. Величины сжимающих нагрузок определяют соответственно из соотношений:

$$\sigma_Z = \frac{0,95 \sigma_Y}{\sqrt{\frac{P_Z^2 + P_X^2}{P_Z^2}}}, \quad \sigma_X = \sigma_Z \frac{P_X}{P_Z},$$

где σ_Y – предел упругости обрабатываемого материала;

σ_X, σ_Z – нагрузки, сжимающие деталь во взаимно перпендикулярных плоскостях;

P_Z, P_X – составляющие силы резания.

Формула изобретения имеет следующий вид: «Способ шлифования, при котором кругу сообщают вращение и радиальную подачу, а деталь сжимают в направлении плоскости вращения круга и сообщают поступательное перемещение, отличающийся тем, что, с целью повышения качества обработки, деталь дополнительно сжимают в плоскости, перпендикулярной действию указанной сжимающей нагрузки».

8. «Наоборот»

8.1. Вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие.

8.2. Сделать движущуюся часть объекта или внешней среды неподвижной, а неподвижную – движущейся.

8.3. Перевернуть объект «вверх ногами», вывернуть его.

Процесс вибрационной очистки металлических изделий в абразивной среде упрощается, если вибрационное движение сообщить не среде, а обрабатываемой детали (а.с. № 184649).

«Способ обработки твердых материалов по а.с. № 931387, отличающийся тем, что, с целью повышения качества обработки поверхности и износостойкости шлифовальных кругов, на этапе выхаживания изменяют направления вращения шлифовального круга и планшайбы с пластинами на противоположные тем, которые были на этапе шлифования» (а.с. № 1256928).

На рис. П.А.15 представлена схема реализации способа при шлифовании; на рис. П.А.16 – то же, при выхаживании.

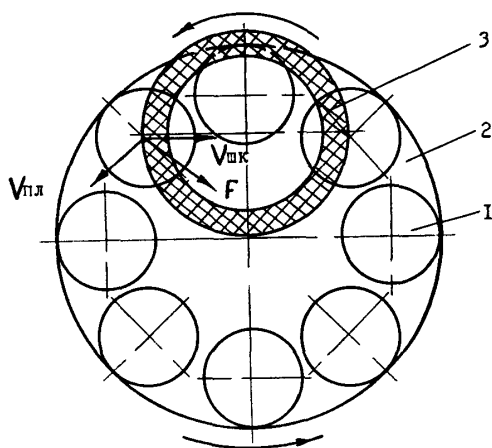


Рис. П.А.15. Схема шлифования по а.с. № 1256928

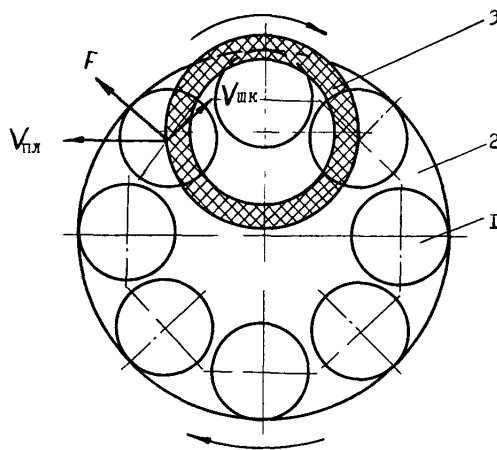


Рис. П.А.16. Схема выхаживания по а.с. № 1256928

Обработку деталей 1, закрепленных на планшайбе 2, осуществляют шлифовальным кругом 3. На операции шлифования сила резания F , является результирующей линейных скоростей вращения круга $V_{шк}$ и планшайбы $V_{пл}$ с пластинами, имеет направление, указанное на рис. П.А.19. Выхаживание поверхностей производят кругом 1 без внешней нагрузки.

При этом в зону резания подают суспензию, содержащую абразив с размером зерен, равным размеру выступающей части зерен связанного абразива шлифовального круга 3. Кроме того, на этапе выхаживания путем изменения направления вращения верхнего и нижнего шпинделей станка на противоположные, изменяют направление силы резания F на обратное тому, которое имеет место при шлифовании.

При изменении направления силы резания на этапе выхаживания с применением свободного абразива ее действие на дефекты, введенные при шлифовке, будет противоположным тому, которое обуславливает возникновение этих дефектов. Например, если при шлифовке введены положительные по отношению к ориентации силы резания дислокации, скользящие вглубь материала, то при смене ориентации силы резания на противоположную эти дислокации оказываются отрицательными и стремятся выйти из кристалла. При этом частично снимаются механические напряжения, локализованные вблизи дислокационных скоплений, что снижает вероятность трещинообразования и распространения дефектов вглубь материала.

Смена направления вращения планшайбы и шлифовального круга приводит также к тому, что зерна свободного абразива, содержащиеся в суспензии, проскальзывают между частицами связанного абразива и оказывают давление на них в направлении, обратном тому, при котором происходит забивание межзеренного пространства режущей кромкой шлифовального круга продуктами шлифования. Очищение межзеренного пространства повышает срок работы шлифовальных кругов.

Данный способ обработки позволяет примерно на 30 % повысить качество поверхности образцов и в несколько раз увеличить износостойкость шлифовальных кругов.

«Способ электрохимической обработки в тонкостенных заготовках, при котором обрабатываемую заготовку размещают между двумя трафаретами, имеющими зеркальное отображение один относительно другого, и процесс обработки осуществляют одновременно с двух сторон с прокачкой электролита, отличающийся тем, что, с це-

лью повышения производительности и точности обработки путем обеспечения одинакового времени прошивки отверстий на всем протяжении заготовки, прокачку электролита вдоль каждой обрабатываемой стороны заготовки производят в противоположных направлениях» (а.с. № 1484502).

9. Переход в другое измерение

9.1. Трудности, связанные с движением (или размещением) объекта по линии, устраняются, если объект приобретает возможность перемещаться в двух измерениях (т.е. на плоскости). Соответственно задачи, связанные с движением (или размещением) объектов в одной плоскости, устраняются при переходе к пространству трех измерений.

9.2. Использовать многоэтажную компоновку объектов вместо одноэтажной.

9.3. Наклонить объект или положить его «набок».

9.4. Использовать обратную сторону данной площади.

9.5. Использовать оптические потоки, падающие на соседнюю площадь или на обратную сторону имеющейся площади.

«Способ шлифования, при котором кругу сообщают вращение и радиальную подачу, а деталь сжимают в направлении плоскости вращения круга и сообщают поступательное перемещение, отличающийся тем, что с целью повышения качества обработки, деталь дополнительно сжимают в плоскости, перпендикулярной действию указанной сжимающей нагрузки...» (а.с. № 1449325).

«Амортизирующая прокладка под листовую прокат для его финишной обработки (шлифования, полирования) абразивными инструментами, отличающаяся тем, что, с целью обеспечения эластичного контакта в рабочей зоне, прокладка выполнена многослойной в виде последовательно уложенных по всей площади стола слоев, например, резиновой пластины, пружинно-проволочной металлической сетки, гигроскопической прокладки, поролон и для предотвращения от механических повреждений дерматинового чехла» (а.с. № 307886).

Изобретение поясняется чертежом (рис. П.А.17).

Обрабатываемый лист проката *1* укладывают на амортизирующую прокладку, которая содержит резиновую пластину *2*, наклеиваемую на стол *3* и предварительно шлифуемую для достижения такого состояния, когда опорная поверхность стола и ось абразивного круга окажутся в строго параллельных плоскостях, пружинно-прово-

лочную металлическую сетку 4, матерчатую гигроскопическую прокладку 5, поролон 6 и дерматиновый чехол 7 для предотвращения от механических повреждений.

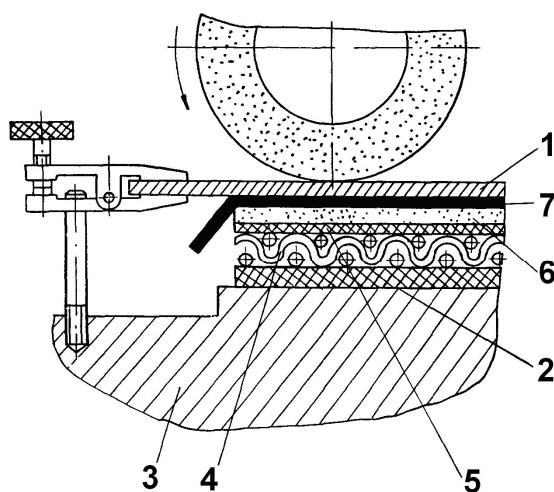


Рис. П.А.17. Амортизирующая прокладка под листовой прокат

Листы амортизирующей прокладки укладываются друг на друга свободно без предварительного скрепления. Обработка абразивного листа происходит при обильном охлаждении. Благодаря применению амортизирующей прокладки в рабочей зоне обеспечиваются стабильно-равномерное распределение давления абразивного инструмента по всей ширине обрабатываемого листа и постоянный упруго-эластичный контур в рабочей зоне, в результате чего полностью предотвращается появление таких дефектов, как грубые риски, неравномерная обработка, коробление, прижоги и т.п., обычных для шлифования больших плоскостей.

«Абразивный круг, содержащий корпус со скосами на торцовых поверхностях и установленные на них в шахматном порядке абразивные элементы, отличающийся тем, что, с целью повышения качества шлифования при двусторонней обработке кромок деталей, абразивные элементы установлены с вылетом, обеспечивающим переkreщение с образованием рабочей поверхности в виде двугранного угла» (а.с. № 878558).

На рис. П.А.18 изображен этот абразивный круг.

Абразивный круг включает корпус 1 и абразивные элементы на этой основе, выполненные в виде лепестков 2. Лепестки 2 закреплены консольно с двух сторон корпуса 1 на его периферийной части таким

образом, что каждый из лепестков одной стороны корпуса, перекрещиваясь с двумя смежными ему лепестками другой стороны корпуса, образует по периферии круга двугранный угол с внутренними прерывистыми абразивосодержащими поверхностями.

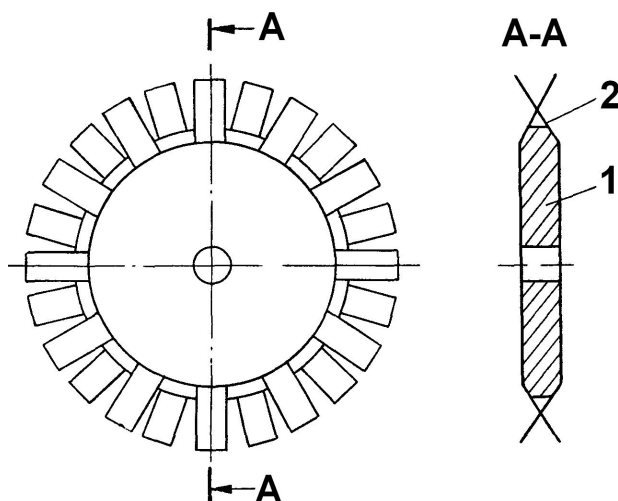


Рис. П.А.18. Абразивный круг

Консольное крепление лепестков 2 с двух сторон корпуса 1 на его периферийной части осуществляется одним из известных способов.

Круг работает следующим образом.

Абразивный круг приводится во вращение. Плоская деталь вводится в пространство, образованное двугранным углом до соприкосновения каждой из кромок со своей гранью. Затем осуществляется радиальная подача детали на необходимую величину обработки кромки, после чего осуществляется перемещение детали вдоль кромки до полной обработки на всей их длине.

Благодаря такой конструкции абразивного круга усилие резания абразивных зерен при шлифовании определяется упругостью лепестков, что дает возможность исключить сколы на обрабатываемой поверхности и, следовательно, улучшить качество обрабатываемых деталей.

«Лепестковый полировальный круг, выполненный в виде корпуса, в пазах которого закреплены лепестки абразивной шкурки, отличающийся тем, что, с целью повышения производительности при обработке деталей типа тел вращения путем увеличения плотности лепестков последние закреплены на внутренней части корпуса и направлены к центру круга» (а.с. № 1207738).

На рис. П.А.19 показан описываемый лепестковый круг.

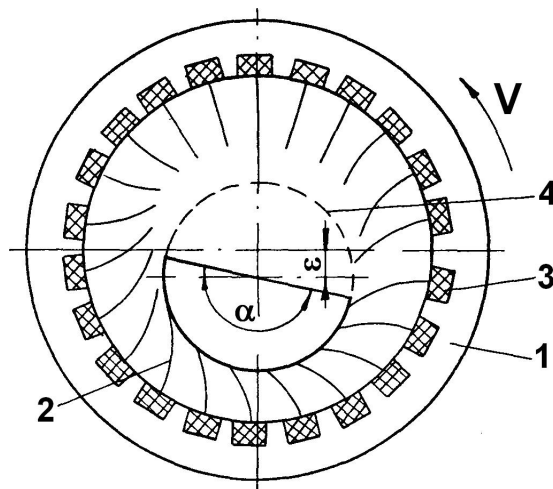


Рис. П.А.19. Лепестковый
полировальный круг

Лепестковый полировальный круг содержит корпус *1*, абразивные лепестки *2*, закрепленные в пазах *3*, выполненных на внутренней части корпуса *1*. Лепестки направлены к центру круга. При работе круг приводится во вращение со скоростью *V*, например, путем закрепления в трехкулачковом патроне, деталь *4* вводят вовнутрь круга и смещают в направлении от центра корпуса *1*, при этом лепестки *2* охватывают и огибают обрабатываемую деталь. Крепление лепестков *2* в направлении *3* осуществляют, например, при помощи эпоксидной композиции. Деталь *4* при обработке вращается в сторону, противоположную вращению круга.

«Устройство для шлифования, содержащее приводной и прижимной ролики, на которые установлен гибкий кольцевой шлифовальный ремень, выполненный из склеенной в кольцо с перевернутой ветвью основы с поперечным сечением в виде правильного многоугольника, на гранях которого нанесено абразивное покрытие, отличающееся тем, что, с целью повышения долговечности, ветвь основы перевернута на две грани, а число граней *N* определяется из формулы:

$$N = 6 + 4(n - 1),$$

где *n* – натуральное число, при этом абразивное покрытие расположено на гранях через одну и ремень установлен на ролики с возможностью взаимодействия с ними безабразивными гранями» (а.с. № 1199603).

Устройство содержит приводной 1 (рис. П.А.20) и прижимной 2 ролики, на которые установлен ремень 3. Ремень выполнен из основы 4, поперечное сечение которой имеет форму правильного многоугольника.

Ветвь ремня перевернута на две грани. Абразивное покрытие 5 нанесено на грани через одну. Ремень установлен на ролики так, что с ними взаимодействуют грани, не покрытые абразивом. Количество граней многоугольника определено по формуле $N = 6 + 4(n - 1)$, где n – натуральное число.

В начальный момент времени расположение граней сечений соответственно А–А и Б–Б приведено на рис. П.А.20, из которого видно, что сечение Б–Б повернуто относительно А–А на две стороны, а расположение абразива одно и то же. Наружная поверхность кольца абразивная, а диаметрально противоположная по сечению внутренняя, соприкасающаяся с элементами устройства, – безабразивная.

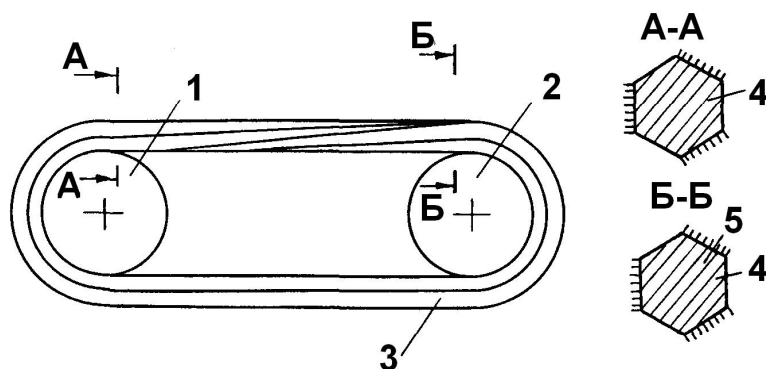


Рис. П.А.20. Гибкий кольцевой шлифовальный ремень

Предлагаемый шлифовальный ремень работает следующим образом. При вращении кольца переворот на две грани между А–А и Б–Б приводит к тому, что внутри все время находится безабразивная часть поверхности. После совершения кольцом $N/2$ (N – число сторон сечения) оборотов оно возвращается в исходное положение. Все это время безабразивная сторона находится внутри, а абразивная – снаружи кольца. Таким образом, данное выполнение шлифовального ремня позволяет устранить взаимодействие абразива с элементами устройства и тем самым повысить его долговечность.

10. Периодическое действие

10.1. Перейти от непрерывного действия к периодическому (импульсному).

10.2. Если действие уже осуществляется периодически, изменить периодичность.

10.3. Использовать паузы между импульсами для действия.

«Способ автоматического управления термическим циклом контактной точечной сварки, преимущественно деталей малых толщин, основанный на измерении термо-эдс, отличающийся тем, что с целью повышения точности управления при сварке импульсами повышенной частоты измеряют термо-эдс в паузах между импульсами сварочного тока» (а.с. № 336120).

«Способ шлифования, согласно которому вращающийся абразивный круг перемещают вдоль обрабатываемой поверхности, а нормальное давление циклически изменяют, отличающийся тем, что, с целью уменьшения энергоемкости при плоском шлифовании торцом круга, перемещение круга осуществляют в промежутках между максимальными значениями давления на величину, равную одной трети диаметра круга» (а.с. № 1291368).

«Способ шлифования многоступенчатых деталей, при котором шлифование всех ступеней детали производят одновременно несколькими соосно установленными шлифовальными кругами, имеющими диаметры, перепады которых соответствуют перепадам обрабатываемых ступеней детали, отличающийся тем, что, с целью повышения точности обрабатываемых ступеней детали, применяют шлифовальные круги с прерывистыми рабочими поверхностями, при этом отношение длины рабочей поверхности шлифовального круга к длине взаимодействующей с ней поверхностей обрабатываемой ступени постоянно» (а.с. № 795889).

«Устройство для упрочняюще-чистовой обработки валов, содержащее расположенные друг напротив друга цилиндры, на штоке одного из которых закреплена головка с двумя деформирующими роликами, на штоке второго установлен деформирующий ролик, отличающееся тем, что, с целью интенсификации процесса упрочнения, оно снабжено гидравлическим механизмом импульсного воздействия на шток деформирующего ролика, установленном на его цилиндре» (а.с. № 1031720).

«Устройство для чистовой и упрочняющей обработки отверстий, содержащее корпус с центральной камерой, заполненной упругим элементом и деформирующими шариками, опирающимися на

этот элемент, отличающееся тем, что, с целью интенсификации обработки оно снабжено расположенным в центральной камере приводом импульсного действия, состоящим из аккумулятора с поршнем и корпуса с управляющим и импульсным клапанами, при этом между корпусом и поршнем образована камера повышенного давления, а управляющий клапан кинематически связан с поршнем» (а.с. № 931423).

Основным преимуществом предлагаемого раскатника являются большие технологические возможности за счет регулирования усилия раскатывания и величин ударных импульсов, что особенно важно при разнообразной номенклатуре обрабатываемых деталей. Комбинированное статикоимпульсное воздействие деформирующих элементов на обрабатываемую поверхность позволяет в 1,8–2,8 раза снизить усилие раскатывания и значительно повысить эксплуатационные качества обрабатываемой поверхности.

«Способ поверхностного упрочнения изделий из железоуглеродистых сплавов шлифованием на режимах $t \geq 0,15$ мм, $V \leq 1,5$ м/мин, отличающийся тем, что, с целью увеличения толщины закаленного слоя, обработку ведут с контактной температурой, изменяющейся циклически с частотой 250–1000 Гц, шлифовальным кругом с прерывистой рабочей поверхностью» (а.с. № 818823).

Так, при шлифовании прерывистым кругом 24A25CT25K5, имеющим 10 впадин длиной 20 мм по периферии круга на плоскошлифовальном станке ЗГ71 стали 45 при окружной скорости круга 35 м/с, скорости стола 0,25 м/мин, глубине резания 0,35 мм без поперечной подачи, толщина упрочненного слоя достигла 2,0 мм. При шлифовании сплошным кругом при тех же условиях толщина упрочненного слоя достигала 1,3 мм.

11. «Обратить вред в пользу»

11.1. Использовать вредные факторы (в частности, вредное воздействие среды) для получения положительного эффекта.

11.2. Устранить вредный фактор за счет сложения с другими вредными факторами.

11.3. Усилить вредный фактор до такой степени, чтобы он перестал быть вредным.

Примеры: При сварке металлов нагревается стол, сборочное приспособление и даже колпак вытяжного устройства. Предложено (патент Германии № 2946491) встраивать в стол и колпак трубы теплообменников, чтобы в них нагревать воду для бытовых нужд.

«Способ механической обработки деталей, при котором металлический инструмент с гладкой поверхностью подают к детали и сообщают ему перемещение со скоростью резания, отличающийся тем что, с целью повышения качества обработки деталей, поверхность инструмента подвергают непрерывной электроэрозионной обработке, причем в качестве материала электрода используют твердый сплав, высокоуглеродистые сплавы железа или графит» (а.с. № 878503).

«Способ шлифования абразивным кругом на полимерной связке, отличающийся тем, что, с целью повышения качества обрабатываемой поверхности, рабочую поверхность круга разогревают до температуры перехода связки в эластичное состояние» (а.с. № 779023).

«Способ шлифования деталей из углеродистых и легированных, сплавов с одновременной поверхностной закалкой, при котором детали перемещают вдоль оси шлифовального круга, отличающийся тем, что с целью предотвращения снижения твердости упрочненной поверхности на участках стыка последовательных проходов обработки перед шлифованием производят засаливание и затупление шлифовального круга, после чего ведут шлифование при продольной подаче в пределах 1–3 м/мин и глубине резания 0,1–0,15 мм» (а.с. № 916247).

Так, например, шлифование цилиндра диаметром 60 мм, протяженностью 70 мм из отожженной стали 45 засаленным и затупленным абразивным кругом 24A12И2K5 диаметром 600 мм на режиме: окружная скорость детали $V=1$ м/мин, глубина резания $t=0,15$ мм при величине подачи вдоль оси шлифовального круга $B=7$ мм приводит к образованию на цилиндрической поверхности образца равномерно распределенного слоя закалки со стабильными значениями твердости поверхности HRC 63.

Шлифование на режиме $V=3$ мм/мин, $t=0,1$ мм приводит к образованию на поверхности детали равномерно распределенного упрочненного слоя толщиной 0,2 мм с твердостью HRC 64.

12. Обратная связь

12.1. Ввести обратную связь.

12.2. Если обратная связь есть, изменить ее.

Примеры: «Способ шлифования плоских поверхностей, включающий в себя быстрый подвод шлифовального круга, черновое и чистовое снятие припуска, а также выхаживание, отличающийся тем, что, с целью повышения точности обработки, в процессе выхаживания

живания измеряют величину деформации детали и периодически подают шлифовальный круг на глубину, равную измеренной величине деформации» (а.с. № 948626).

По центру и краю детали 1 (рис. П.А.21) устанавливают индуктивные или пневматические датчики 2 и 3, соединенные соответственно с показывающими приборами 4 и 5.

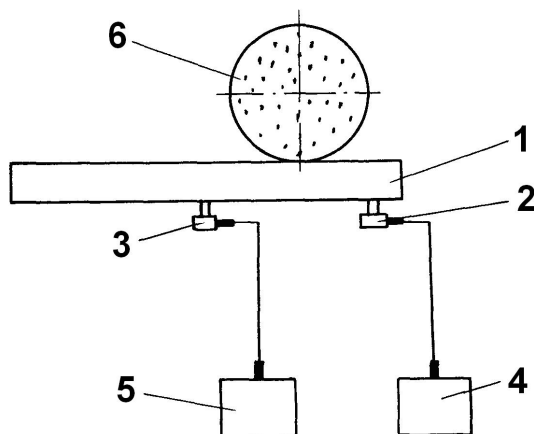


Рис. П.А.21. Схема шлифования плоских поверхностей

Датчиками 2 и 3 измеряют величину прогиба детали 1, происходящую после чистового шлифования в ходе выхаживания и соответствующую деформации профиля в центре или по краям. Перед началом очередного рабочего хода стола шлифовальный круг 6 подают на глубину резания, равную измеренной величине деформации профиля.

Способ позволяет улучшить чистоту обрабатываемой поверхности, повысить стабильность качества поверхности, увеличить точность формы, а также обеспечить более высокую точность размера. Повышение производительности труда обеспечивается за счет сокращения времени на доводочные операции при обработке высокоточных деталей.

«Способ плоского шлифования, при котором деталь закрепляют на столе станка и обработку ведут с подачей круга на глубину в соответствии с величиной деформации детали, отличающийся тем, что с целью исключения влияния на точность обработки погрешности закрепления, деформацию установочной поверхности детали измеряют при ее закреплении на станке, а подачу круга на глубину меняют постоянно на величину, равную деформации при закреплении детали в точке, находящейся под шлифовальным кругом» (а.с. № 1178566).

На рис. П.А.22 показана принципиальная схема устройства, реализующего предлагаемый способ.

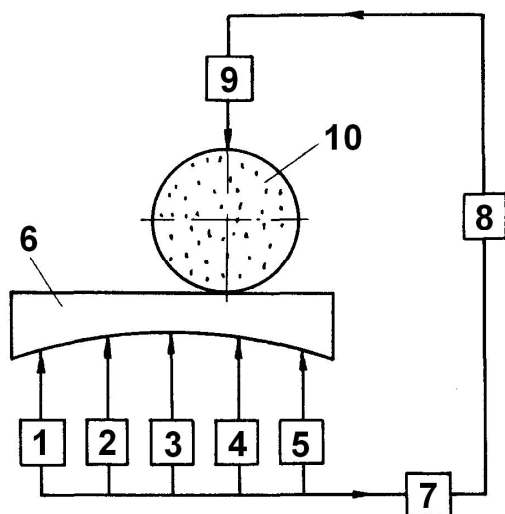


Рис. П.А.22. Схема плоского шлифования по а.с. № 1178566

Способ включает следующие операции: устанавливают обрабатываемую деталь на установочную поверхность приспособления, например, магнитную плиту; закрепляют деталь, регистрируют деформацию установочной поверхности детали при ее закреплении в нескольких точках по длине детали, быстро подводят шлифовальный круг к обрабатываемой детали, снимают припуск при черновой подаче шлифовального круга на глубину, производят промежуточную выдержку после снятия припуска на черновой подаче, осуществляют съем припуска при чистовой подаче круга, при этом подают круг на глубину в зависимости от положения детали со столом на величину, равную деформации при закреплении детали в точке, находящейся под шлифовальным кругом; прекращают чистовое шлифование и переходят к выхаживанию; прекращают выхаживание, отводят шлифовальный круг.

Датчики 1–5 контактируют с установочной поверхностью детали и соединены с командным блоком 7, который через усилитель 8 связан с исполнительным механизмом 9 подачи шлифовального круга 10. Датчиками 1–5 измеряют величину деформации установочной поверхности детали при ее закреплении на станке. При снятии припуска подают шлифовальный круг 10 на глубину в зависимости от положения детали, равную деформации при закреплении детали в точке, находящейся под шлифовальным кругом.

13. Копирование

13.1. Вместо недоступного, сложного, дорогостоящего, неудобного или хрупкого объекта использовать его упрощенные и дешевые копии.

13.2. Заменить объект или систему объектов их оптическими копиями (изображениями). Использовать при этом изменение, масштаба (увеличить или уменьшить копии).

13.3. Если используются видимые оптические копии, перейти к копиям инфракрасным или ультрафиолетовым.

Примеры: Для исследования тепловых явлений в твердых, жидких и газообразных средах используют фотоснимки нагретого предмета или среды, отснятые на негативную пленку или пластинки, чувствительные к инфракрасным лучам (а.с. № 947734).

При контроле поверхности внутренних полостей сферических деталей в деталь наливают слабоотражающую жидкость и, последовательно меняя ее уровень, фотографируют на один и тот же кадр цветной пленки (а.с. № 180829). Полученные на снимке концентрические окружности сравнивают с теоретическими линиями чертежа.

«Внутришлифовальный станок, включающий станину с направляющими для перемещения продольного стола, шлифовальную бабку с кругом и бабку изделия, отличающийся тем, что с целью осуществления визуального наблюдения за осевым положением круга в обрабатываемом отверстии детали, станок снабжен установленным на продольном столе имитатором-указателем осевого положения режущей кромки круга и оптическим проектором, дающим изображение имитатора-отражателя на экране с нанесенным на нем чертежом детали.

Станок, отличающийся тем, что, с целью повышения точности обработки, имитатор-указатель выполнен регулируемым» (а.с. № 536939).

14. Отброс и регенерация частей

14.1. Выполнившая свое назначение или ставшая ненужной часть объекта должна быть отброшена или видоизменена непосредственно в ходе работы.

14.2. Расходуемые части объекта должны быть восстановлены непосредственно в ходе работы.

Примеры: «Способ исследования высокотемпературных зон, преимущественно сварочных процессов, при котором в исследуемую зону вводят зонд-световод, отличаются тем, что с целью возможности

исследования высокотемпературных зон при дуговой и электрошлаковой сварке используют плавящийся зонд-световод, который непрерывно подают в исследуемую зону со скоростью не менее скорости его плавления» (а.с. № 433397).

«Винтовые микропружины навивают на оправку из эластичного материала, которую затем удаляют, погружая вместе с пружиной в состав, растворяющий эластичный материал» (а.с. № 222322).

«Прокатный валок, который в процессе прокатки изнашивается, можно восстановить непосредственно при его работе путем анодно-гидравлической обработки с использованием в качестве электролита воды, охлаждающей валок» (а.с. № 566857).

Учебное издание

Степанов Юрий Сергеевич
Тарпанов Александр Сергеевич
Харламов Геннадий Андреевич

**ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ИНЖЕНЕРНОМ ДЕЛЕ**

Учебное пособие

Редактор И.А. Хлюпина
Технический редактор Т.П. Прокудина

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
«Государственный университет - учебно-научно-
производственный комплекс

Подписано к печати 19.02.2014 г. Формат 60×90 1/16.

Усл. печ. л. 11,3. Тираж 100 экз.

Заказ № _____.

Отпечатано с готового оригинал-макета
на полиграфической базе ФГБОУ ВПО «Госуниверситет-УНПК»,
302030, г. Орел, ул. Московская, 65.