



Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

В.В. Точилкин
О.А. Филатова

СОЗДАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН

*Утверждено Редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия*

Магнитогорск
2021

УДК 658.512.2
ББК: 30у; 34.42

Рецензенты:

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой металлургических технологий и оборудования,
Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»

А.Н. Шаповалов

заместитель главного механика ООО «СКС»,
ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат»

В.А. Головин

Точилкин, В.В., Филатова О.А.

Создание и проектирование технологических машин [Электронный ресурс]: учебное пособие / Виктор Васильевич Точилкин, Ольга Анатольевна Филатова ; ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова». – Электрон. текстовые дан. (1,60 Мб). – Магнитогорск : ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», 2021. – 1 электрон. опт. диск (CD-R). – Систем. требования : IBM PC, любой, более 1 GHz ; 512 Мб RAM ; 10 Мб HDD ; MS Windows XP и выше ; Adobe Reader 8.0 и выше ; CD/DVD-ROM дисковод ; мышь. – Загл. с титул. экрана.

ISBN 978-5-9967-2297-6

Способность самостоятельно решать задачи по совершенствованию технологических процессов и машин является одним из главных требований, предъявляемых к инженеру. С этих позиций в учебном пособии рассматриваются вопросы повышения творческой активности специалистов и студентов при решении ими различных технических задач. В работе приведены основные положения о технических системах и теории решения изобретательских задач. Описан алгоритм решения изобретательских задач.

Издание предназначено для студентов специальности 15.05.01 «Проектирование технологических машин и комплексов» и направления 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» (очной и заочной форм обучения по дисциплинам «Проектная деятельность», «Основы проектирования», «Проектирование технологических машин и оборудования»).

Пособие соответствует учебным программам, а также требованиям квалификационной характеристики выпускника согласно ФГОС ВО 3++.

УДК 658.512.2
ББК: 30у; 34.42

ISBN 978-5-9967-2297-6 © Точилкин, В.В., Филатова О.А., 2021
© ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова», 2021

Список сокращений

ГП – гидравлический привод;
ГПФ - главная полезная функция;
ММ – металлургическая машина;
МПиО - метод проб и ошибок;
ИКР - идеальное конечное решение;
СЦ – сталеплавильный цех;
ККЦ – кислородно-конвертерный цех;
МНЛЗ – машина непрерывного литья заготовки;
ОНРС – отделение непрерывной разливки стали;
ПК – промежуточный ковш;
ПМ – полезная модель;
ПС – проблемная ситуация;
ПП – пневматический привод;
ТРИЗ – теория решения изобретательских задач;
ТС – техническая система;
ТП - техническое противоречие;
ЭСПЦ – электросталеплавильный цех.

Содержание

ВВЕДЕНИЕ.....	6
1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ.....	7
1.1. Истоки изобретательства.....	7
1.2. Утерянные секреты.....	8
1.3. Опыт и воображение.....	9
1.4. Психологические барьеры.....	11
1.5. Прототипы и аналогии.....	13
2. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА.....	15
2.1. Изобретательство – техническое творчество.....	15
2.2. Системный подход в техническом творчестве.....	15
2.3. Диалектика развития ТС.....	17
2.4. Методология творческой деятельности.....	17
2.5. Объекты технического творчества.....	18
2.6. Виды задач.....	18
2.7. Уровни технического творчества.....	21
2.8. Определение изобретения.....	25
3. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ.....	26
3.1. Принципы проектирования оборудования.....	26
3.2. Этапы проектирования оборудования.....	30
3.3. Конструкторская документация.....	34
3.4. Научная документация. Научно-исследовательский отчет.....	39
3.5. Автоматизация оформления документации.....	41
3.6. Основные направления повышения качества машин.....	42
4. МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ МАШИН.....	44
4.1. Эвристические методы.....	45
4.2. Экспериментальные методы.....	56
4.3. Формализованные методы.....	57
4.4. Конструктивный подход к созданию машин.....	58
5. ТЕОРИЯ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ.....	62
5.1. Основные этапы развития технических систем.....	62
5.2. Структура ТРИЗ.....	64
5.3. Постановка задачи. Производственная ситуация.....	65
5.4. Классификация изобретательских задач.....	66
5.5. Виды противоречий в задачах.....	67
5.6. Изобретательские ситуации.....	69
5.7. Формулировка мини-задачи.....	70
5.8. Анализ мини-задачи.....	70

5.9. Модель задачи.....	71
5.10. Вепольный анализ	72
5.11. Вещественно–полевые ресурсы	79
5.12. Идеальное конечное решение	80
5.13. Мобилизация ВПР	81
5.14. Алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ)	82
5.15. Применение информационного фонда.....	85
6. ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	91
6.1. Структура ЗРТС	91
6.2. Законы.....	91
Закон неравномерного развития частей	94
6.3. Практическая реализация ЗРТС	96
7. РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН	99
7.1. Манипуляторы для отсечки конвертерного шлака при разливке	99
7.2. Устройства для защиты струи металла	103
7.3. Преодолевая психологические барьеры.....	104
7.4. Используя приемы при создании элементов машин	105
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК.....	113
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	115
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	117
ПРИЛОЖЕНИЕ 3	121

«...Для того чтобы достичь познания вещей, нужно рассмотреть только два рода объектов, а именно, нас, познающих, и сами подлежащие познанию вещи. Мы обладаем лишь четырьмя способностями для этой цели, а именно, интеллектом, воображением, чувствами и памятью. Конечно только один интеллект способен познавать истину, хотя он и должен прибегать к помощи воображения, чувств и памяти, чтобы не оставлять без употребления ни одно из средств, находящихся в нашем распоряжении. Что же касается предметов познания, то достаточно рассмотреть их тройко: а именно, сначала то, что обнаруживается для нас само собой, затем, как познается одна вещь через другую, и наконец, какие выводы можно сделать из каждой вещи...»

Рене Декарт «Правила для руководства ума» [1]

ВВЕДЕНИЕ

Общепризнанно, что уровень развития общества определяется основным рабочим материалом эпохи. Каменный век - бронзовый век - железный век... Человек много выиграл, сменив камень на медь и бронзу (медный нож в 10 раз эффективнее каменного), а триумфальное шествие изделий из железа и его сплавов после открытия сравнительно дешевых способов выплавки, продолжается. Благодаря своим выдающимся качествам металлы попали в число важнейших объектов исследования, изучения и применения. Появились тысячи новых изделий, голову и руки к которым приложили люди творческие, инициативные, изобретательные. Но мир не стоит на месте. Уровень сложности задач повышается, а число их растет с геометрической прогрессией.

Чтобы творчески использовать новейшие достижения науки и техники в производственной деятельности, совершенствовать производственные процессы, создавать новое оборудование, обеспечивающее высокое качество изделий, повышать производительность труда, необходимо знать основные особенности их развития и закономерности эвристической деятельности человека.

На производстве и в повседневном быту нам часто приходится решать разнообразные задачи. Одни решаются довольно легко. Другие же могут отнять у нас массу времени и усилий. Что же делает одни задачи легкими, а другие такими трудными? Как заранее, еще до решения задачи определить – трудная она или легкая? Можно ли активизировать свои потенциальные возможности в решении практических задач? Можно ли развить свои творческие способности? Успехи теории решения изобретательских задач (ТРИЗ) сегодня таковы [2, 3], что мы с твердой уверенностью можем отвечать положительно на эти вопросы. Все это позволяет сделать освоение изобретательского творчества более простым и решать разнообразные задачи, относящиеся к различным отраслям техники с большей эффективностью, чем ранее [4].

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

1.1. Истоки изобретательства

История засвидетельствовала [5] как в III веке до нашей эры перед Архимедом была поставлена задача определить из чистого золота или из сплава золота и серебра выполнена корона, принадлежащая царю Герону. И вот решая эту задачу, Архимед пошел в баню и, сядя в ванну, заметил, что чем глубже он погружался в нее своим телом, тем больше через край вытекает воды. Это указало ему способ решения задачи. Он выскочил из ванны и бросился к себе домой, громко крича, что нашел, что искал; так как на бегу он то и дело восклицал: «Эврика, эврика!». С того давнего времени зародилась такая наука как «Эвристика» и были разработаны различные эвристические методы решения изобретательских задач.

Основная гипотеза Архимеда — о линейной связи удельного веса и состава сплавов золота с серебром была проверена спустя более двух тысячелетий к середине XIX века. И она оказалась верной!

Если бы предположение Архимеда было неверным, то не удалось бы точно определить состав сплава. Но в любом случае по удельному весу изделия можно было судить, чистое ли золото пошло на его изготовление или было подмешано серебро.

История замечательных открытий часто начинается с пустяка. Но ведь на него еще надо обратить внимание!

Профессор химии Роберт Бунзен изучал горение некоторых веществ. Он заметил, что соли металлов окрашивают пламя в различные цвета. И до Бунзена эффект этот был известен, однако другие имена в истории не задержались. Эксперименты большой изобретательности не требовали. Бунзен подносил к горелке образцы разных веществ и записывал цвет язычка пламени. Отчетливо выявилась закономерность. Один и тот же металл всегда окрашивал пламя в определенный цвет, независимо от того, в каком виде сжигался. Например, от бария пламя зеленело, а от натрия желтело.

Бунзен сразу понял значение своего открытия. Его можно было использовать для определения элементов, присутствовавших в образце. Однако практический путь реализации проекта был не ясен. Ведь если образец состоит из нескольких компонентов, то цвет у пламени получается сложный: всех нюансов не различишь. Нужна была еще одна идея, чтобы данное свойство могло быть использовано. Ее подал и реализовал знаменитый немецкий физик Густав Кирхгоф. Вместо самого пламени следовало рассматривать его спектр, где каждому цвету была отведена своя отдельная «территория». Все оттенки пламени оказывались разделенными и наблюдались без малейших усилий. Кроме того, Кирхгоф из подручных средств сам сконструировал прибор — спектроскоп, который позволял разложить пламя на составные части и наблюдать их.

Спектр каждого элемента состоял из специфически расположенных линий разного цвета. Например, для натрия самыми характерными были две яркие желтые линии, которые Кирхгоф быстро заметил в свой прибор. Они появля-

лись всегда, в каком бы виде ни сжигался натрий. Спектры двух различных элементов спутать было невозможно. Поэтому для определения химического состава оставалось только составить карты по цветам и расположению основных линий спектра всех известных элементов, с которыми впоследствии следовало сравнивать спектр исследуемого образца.

1.2. Утерянные секреты

К сожалению, мы не знаем, как много секретов древних мастеров кануло в лету [4, 5]. Чудесные изобретения древности либо потеряны, либо забыты. И зачастую нам приходится изобретать их заново.

Мало сохранилось сведений об этрусках, древнем народе, некогда заселявшем большую часть современной Италии. Примерно к середине первого тысячелетия до нашей эры их цивилизация достигла культурного и экономического расцвета. Грозную силу представляли собой этрусские города и в военном отношении. Но после изгнания в 510 году до нашей эры этрусских царей из Рима у этрусков в Италии появились в лице римлян опасные соперники. Длительные войны закончились через несколько столетий покорением этрусков, и в начале нашей эры они полностью растворились в пестрой массе народов Римской империи. От них остались лишь немногочисленные надписи, отдельные памятники выдающегося развития ремесел и искусств, и скупые сообщения римских авторов...

При раскопках городов Этрурии археологам удалось найти самые разнообразные свидетельства высокого уровня развития угасшей цивилизации. Всеобщее восхищение вызвали ювелирные изделия этрусков, и среди них в первую очередь — так называемые гранулированные украшения, шедевры безымянных мастеров. Они представляли собой медные пластинки со сложными узорами; выложенными тысячами мельчайших (диаметром около 0,2 мм) золотых шариков. Ни у кого до тех пор гранулированные изделия не достигали такой высокой степени совершенства.

К концу I тысячелетия нашей эры искусство изготовления подобных украшений было окончательно забыто. Только в XIX веке исследователи предприняли попытки восстановить секреты техники, но безрезультатно. Долгое время никто не мог объяснить, как можно прикрепить золотую крупинку к медному основанию, не расплавляя ее при этом. Если бы крупинка расплавилась, капля жидкого золота растеклась бы по меди. При охлаждении растекшаяся капелька приварилась бы «намертво», но был бы утрачен изысканный внешний вид изделия.

Секрет был раскрыт только в 1933 году. Технология оказалась не простой. Прежде чем ее объяснить, вспомним описанный в школьном курсе один довольно интересный опыт. Его в 1896 году выполнил английский металлург Робертс-Остен. Он прижал друг к другу золотой диск и свинцовый цилиндр и поместил их на 10 дней в печь, где поддерживалась температура 200 °С. Когда печь открыли, разъединить диск и цилиндр оказалось невозможно. За счет диффузии золото и свинец словно «проросли» друг в друга. При контакте раз-

ных веществ тепловое движение атомов приводит к их перемешиванию. Этим и объясняется диффузия. Чем выше температура, тем более активным становится атомное движение и тем проще наблюдать результаты диффузии.

Сегодня технология соединения деталей по способу Робертса-Остена хорошо известна и носит название диффузионной сварки. Так, может быть, именно этим способом этруски крепили золотые шарики к медным пластинкам. От этого предположения мы вынуждены сразу отказаться. Во-первых, диффузионную сварку следует проводить в вакууме, так как иначе содержащийся в воздухе кислород успеет окислить медь и изделие покроется слоем черной окалины. Во-вторых, диффузионная сварка требует довольно долгой выдержки при высоких температурах. Обеспечить выполнение всех этих условий на тот период времени этруски не могли.

К раскрытию этрусского секрета следует подходить с другого конца. Надо найти в справочнике фазовую диаграмму систем медь — золото. Именно ее характерный вид позволил этрускам создавать свои шедевры!

Наиболее правдоподобной представляется такая версия этрусской технологии: сначала узор из золотых шариков приклеивали к листу папируса, который затем накладывался на медную основу шариками вниз. Затем драгоценный «бутерброд» постепенно нагревали. Во время нагрева успевала произойти незначительная диффузия золота в медь и наоборот. В результате в чрезвычайно узкой зоне контакта шарика и пластины образовывался медно-золотой сплав. Температура плавления чистого золота равна 1063°C , чистой меди 1083°C , а сплавы золота с медью плавятся при более низких температурах. Например, сплав, состоящий из равного количества атомов золота и меди, плавится уже при 910°C . Именно это обстоятельство, является ключевым для разгадки секрета ювелиров. Они повышали температуру до тех пор, пока расплавлялась только зона образовавшегося сплава, а сами золото и медь оставались в твердом состоянии. При последующем охлаждении расплав затвердевал, и золотая крупинка, практически не потеряв своей сферической формы, приваривалась к основанию из меди. Этот процесс одновременно происходил во всех крупинках, и весь приклеенный к папирусу узор оказывался как бы «сведенным» (по аналогии с переводными картинками) на медь. Папирус при столь высокой температуре сгорал дотла, и изделие было готово. Медь окислиться не успевала, так как процесс происходил достаточно быстро и значительную часть кислорода принимал на себя при сгорании папирус.

Древние ювелирные секреты и сегодня разгаданы не до конца. Остается неясным, например, как этрускам удавалось изготавливать мельчайшие золотые шарики. Но более всего удивляет то, как вообще сумели мастера далекого прошлого выработать столь изощренную технологию. Какой удивительной комбинации случая, опыта и прозрения обязаны этруски своему открытию?

1.3. Опыт и воображение

В середине XVII века ученому Роберту Бойлю садовник поставил в углу корзину [б] с великолепными темно-фиолетовыми фиалками Ученый, захватив

с собой букетик цветов, направился в химическую лабораторию, где проводились опыты по получению концентрированной соляной кислоты. Бойль попросил сотрудника отлить из бутылки немного соляной кислоты, доставленной из Амстердама в колбу. Едкие пары повалили из горла бутылки и медленно расползлись по столу, на который Роберт Бойль положил букетик фиалок. Выходя из лаборатории, он заметил, что фиалки как бы слегка дымились - на них попали пары кислоты. Чтобы их промыть, Бойль опустил цветы в стакан с водой, и через некоторое время не поверил своим глазам - фиалки стали красными.

Воскликнув: "Эврика? Я нашел", Бойль через некоторое время с помощью бумажки, пропитанной фиолетовым раствором лакмусового лишайника, определял уже не только кислый, но и щелочной раствор. Эту бумажку мы хорошо знаем со школы. Так, как будто случайно, был открыт в химии первый индикатор. Но как Роберт Бойль сумел разгадать секрет изменения цвета фиалок?

Мыслительные способности человека раскрываются только в творческой деятельности, в процессе, в котором осуществляется поиск нового способа действия. В процессе решения таких задач, в которых «решающий» не может подойти с готовым рецептом, с готовым алгоритмом творческое мышление сопровождается приобретением знаний.

Вначале решающий задачу старается воссоздать объект по такому его образу, какой он хорошо знает из своего предыдущего опыта. Тип такого мышления называется репродуктивным. При репродуктивном мышлении новые способы действия для решающего задачу не появляются.

В поиске новых действий, в творческой деятельности человека ориентир или ориентирующий знак имеет решающее значение. Характер ориентира приобретает какой-либо объект или явление, которые до этого никоим образом не привлекали внимания.

Здесь большое значение имеет воображение - создание в процессе мышления новых образов на основе прошлых восприятий и имеющихся - понятий. С помощью воображения мы можем представить в своем сознании не только знакомые образы, но и те, которых фактически нет, и никогда не было.

Таким образом, мы переходим от репродуктивного к эвристическому (творческому) воображению. При репродуктивном воображении образ создается только в рамках предыдущего опыта личности. При творческом воображении могут создаваться совершенно новые образы, выходящие за пределы рамок, связанных с индивидуальным опытом.

Репродуктивное и творческое воображения тесно взаимосвязаны. Талантливый ученый или конструктор исходит из каких-то уже установленных истин, а любой учащийся, воссоздающий образ какого-либо предмета совершает пусть элементарный, но творческий акт.

Уровень творчества зависит от соотношения репродуктивной и продуктивной (творческой) деятельности. Самый высокий творческий уровень достигается тогда, когда субъект создает новый, оригинальный для себя продукт мышления. Воображение ученого открывает явление новое для всех.

Таким образом, творчество немислимо без воображения. Именно научный опыт Бойля и его воображение дали возможность определить причину изменения цвета фиалок и позволили решить множество других задач.

1.4. Психологические барьеры

В истории науки есть много фактов, когда ученые, открывая новое явление, не сумели понять его сущности, не увидели проявляющейся закономерности, не заметили за единичным общее и поэтому не смогли своим открытием внести весомый вклад в науку [5, 6].

В чем же причина этого явления? Одной из причин научной "слепоты" ученого, столкнувшегося с новым явлением природы, является психологический барьер, возникающий благодаря уже накопленным знаниям и сформировавшимся на их основе установкам.

Люди могут сталкиваться с различными типами психологических барьеров: барьером трафаретного пути мышления, барьером узкой специализации, авторитетных заявлений, барьером предвзятого отрицания возможности решения задачи и другими. Примером преодоления барьера трафаретного пути мышления может являться известная задача Д. Ландау: "Впишите недостающую букву: "О, Д, Т, ..., П". В отличие от простой задачи: "Впишите цифру: "1, 2, 3, ..., 5" в задаче Ландау необходимо преодолеть психологический барьер — здесь цифры даны начальными буквами (один, два, три ... пять). Если барьер трафаретного мышления преодолен, то легко заметить, что пропущенная буква Ч (четыре).

Великий авторитет естествоиспытателей древности Аристотель написал в одном из своих сочинений, что у мухи восемь лапок. Этому верили почти две тысячи лет, пока кто-то из естествоиспытателей не удосужился пересчитать лапки у насекомого. Их оказалось шесть ...

Психологические барьеры часто проявлялись при оценке новых открытий или изобретений, противоречащих привычным представлениям людей. Так, например, в свое время был отвергнут французскими учеными открытый американским ученым Франклином громоотвод. Франклина чуть ли не объявили авантюристом. Только опустошающий пожар от грозы во Французском посольстве, единственном доме без громоотвода в Вашингтоне, убедил французов в их ошибке. Но и сам Франклин тоже не сумел преодолеть аналогичный психологический барьер. Он не поверил в противооспенную сыворотку и запретил сделать прививку сыну, который впоследствии заболел оспой и погиб.

Открытия и изобретения обязательно связаны с преодолением многих психологических барьеров. Когда известный физик Вольта получил электрическую дугу, образующуюся при прохождении тока между двумя угольными электродами, он понял, что высокую температуру дуги можно использовать для технических целей, например, для плавления металлов и сплавов. Но угольные электроды, расположенные по одной линии, быстро обгорали, и дуга гасла. Как же сделать так, чтобы дуга долго горела? Сегодня эту простую задачу решают даже школьники младших классов. Между тем физик Вольта долгое время не мог ее

решить. Дело было в том, что у Вольта сформировался психологический барьер: "Дуга должна гореть между угольными электродами, расположенными по прямой линии" и решение искалось в соответствии с этой установкой.

В конце концов, взгляд ученого случайно упал на два карандаша, лежащих на письменном столе. Карандаши составляли две параллельные прямые ... И все стало сразу ясно - электроды надо поставить параллельно, и дуга будет гореть долго!

Когда же серьезные психологические барьеры почему-либо отсутствуют, творческая личность достаточно быстро находит необходимые способы решения задачи.

Ярким примером этого явления может служить открытие дешевого способа получения кислорода выдающимся ученым академиком П.Л. Капицей. В начале сороковых годов в промышленности накопился большой опыт интенсификации металлургических процессов с помощью кислорода. Например, академик И.П. Бардин доказал, что если добавлять достаточно кислорода в доменное дутье, то производительность домы намного увеличится. Применение кислорода в сталеплавильных процессах позволяет значительно увеличить производство стали в тех же агрегатах, сократить рабочую силу, автоматизировать металлургические процессы.

Еще большее значение приобрел кислород для сварки металлов и сплавов. Благодаря своевременной организации получения большого количества кислорода нашим машиностроителям удалось во время войны обеспечить производство необходимой военной техники.

Когда решение проблемы получения кислорода было поручено академику П.Л. Капице, он до этого практически не занимался данным вопросом. Кислород тогда для промышленных целей получали в холодильной поршневой машине, которая называется детандером. Сжатый воздух поступает в ее цилиндр, расширяясь, производит работу и охлаждается. Из жидкого воздуха легко получить кислород, поскольку температура его испарения выше, чем у жидкого азота. Коэффициент полезного действия поршневого детандера довольно низкий, что с одной стороны ограничивало получение кислорода в больших объемах, а с другой - делало этот процесс довольно дорогим.

Между тем, ученые давно доказали, что для получения жидкого воздуха в больших масштабах следует использовать вместо поршневого компрессора турбину. Еще в начале XX века английский физик Рэлей предложил применить турбину для получения жидкого воздуха. С тех пор ученые в Англии и других странах упорно работали над созданием турбинного детандера, но значительных успехов не добились.

Общий ход рассуждений западных ученых был примерно такой. Для того чтобы получить холод, строили поршневые детандеры, и чтобы поднять их коэффициент полезного действия, прибегали к высоким давлениям. По аналогии с энергетикой, где для получения больших мощностей паровую машину заменили паровой турбиной, для холодильных установок стали применять в качестве детандеров общепринятые типы паровых турбин. На практике оказалось, что

турбинные детандеры такого типа работали с низким коэффициентом полезного действия.

Дело было в том, что конструкторы турбинных детандеров были специалисты по тепловым машинам и не сумели преодолеть элементарный психологический барьер. Совершенно не учитывался тот факт, что воздух благодаря большой сжимаемости при низких температурах становится настолько плотным, что по своим физическим свойствам приближается к жидкости. А раз так, то детандер для сжижения воздуха надо строить не по образцу паровых, а по образцу водяных турбин ...

П.Л. Капица, который никогда не занимался тепловыми турбинами, это сразу понял. Уже первый построенный им детандер по типу гидротурбины показал очень высокий коэффициент полезного действия и доказал полную возможность этого метода обеспечивать большим количеством дешевого кислорода промышленность. Этот турбодетандер для сжижения кислорода получил признание за рубежом.

1.5. Прототипы и аналогии

Многие слышали о легендарных свойствах булатной стали. Эта узорчатая сталь обладала прямо противоположными свойствами: высокой твердостью и пластичностью, прочностью и упругостью, но самое главное, она обладала режущими свойствами и способностью самозатачиваться.

Чем объяснить способность булата самозатачиваться? Нельзя ли эти свойства придать ножам косилки или резцам токарного станка? Над этими вопросами часто задумывался изобретатель Александр Михайлович Игнатьев (1882-1936).

Однажды, обратив внимание на когти животных, он задал себе вопрос: "А почему когти и зубы грызунов и хищников никогда не тупятся, в чем секрет их "самозатачиваемости". Изобретатель решил, что именно здесь и следует искать секрет самозатачиваемости материала.

Действительно, зубы грызунов настолько остры, что их называют "резцами". Бобр своими резцами подтачивает дерево и валит его. Как же самозатачиваются его зубы? Может быть, живой организм все время восстанавливает роговое вещество на когтях и эмаль на зубах? Но если это так, то "мертвые" зубы должны быстро затупиться, и Игнатьев ставит такой эксперимент. Он сооружает приспособление, в которое вставляет две пары резцов молодого бобра. Эти мертвые зубы, вставленные в стальные челюсти, с помощью специального механизма, "грызут" деревянные щепки и доски. Изобретатель специально «тупит» напильником резцы, но они самозатачиваются. Теперь все ясно, секрет - в строении самих резцов. Они состоят из мягких внешних слоев и твердых внутренних. На затупленных напильником концах мягкие слои подвергались большей нагрузке и истирались быстрее твердых. Когда же восстанавливается естественный угол заострения: мягкие слои испытывают уже меньшую нагрузку, а твердые – большую. В дальнейшем износ осуществляется равномерно. При этом угол заточки остается постоянным.

В 1926 году А.М. Игнатъев изобретает самозатачивающиеся токарные резцы. Каждый резец состоит из нескольких металлических слоев разной твердости. Уникальный режущий инструмент был в свое время запатентован в США, Англии, Франции и многих других странах. «Сегодня многослойные стали широко используются для производства различного инструмента: промышленных ножей, пил, лемехов и луцильников, тракторных плугов и других изделий.

2. ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ТВОРЧЕСТВА

2.1. Изобретательство – техническое творчество

Рост потребностей человека не ограничен. Удовлетворяются потребности разнообразными искусственными техническими системами. С каждым годом увеличивается число таких систем. Повышается их качество. Но одновременно возрастает их сложность [2]. Для того чтобы успешно разрабатывать новые устройства и машины, современному инженеру недостаточно лишь изучить дисциплины по выбранной специальности, но также необходимо знать законы развития технических систем и овладеть современными методами технического творчества.

В каждой новой оригинальной вещи лежит изобретение. Под изобретением понимается творческий процесс, связанный с нахождением оригинальной идеи и ее воплощением.

Творческая сущность изобретения определяется процессом перехода к новому конструктивному принципу, не очевидному исходя из известных идей путем логических построений.

Объектом работы изобретателя являются всевозможные технические системы. Следовательно, изобретательство есть техническое творчество.

2.2. Системный подход в техническом творчестве

Любая машина содержит в себе разнообразные механизмы и узлы, которые, в свою очередь, состоят из отдельных частей и элементов. Но в то же время и сама машина является элементом, который вместе с другими машинами образует надсистему в виде производственного участка, цеха и т.п.

В зависимости от поставленной задачи мы можем рассматривать более или менее детализированную структуру исследуемого объекта.

Абстрагируясь от конкретных объектов, мы можем ввести понятие системы как некоторой структурной модели любого искусственного объекта [7].

Техническая система – совокупность взаимосвязанных элементов, организованных для выполнения определенной функции (см. ниже таблицу, предложенную Г.С. Альтшуллером). Системность – одно из важнейших свойств строения объективного мира. Мир состоит из систем, которые включают в себя подсистемы.

Подсистемы включают в себя подподсистемы и т.д. Каждый уровень рассмотрения представляет собой ранг [2, 3].

Иерархия технических систем

Ранг	Название системы	Пример	Аналоги в природе
1	Техносфера	Техника + люди + ресурсы + система потребления	Биосфера
2	Техника	Все отрасли техники	Фауна
3	Отрасль	Транспорт, все виды	Тип
4	Объединение	Аэрофлот, автотранспорт, железнодорожный транспорт	Класс
5	Предприятие	Завод, метро, аэропорт	Организм
6	Агрегат	Поезд, рельсовый путь	Органы тела: легкие, сердце и т.д.
7	Машина	Кран, автомобиль, самолет	Клетка
8	Неоднородный механизм	Двигатель внутреннего сгорания	Молекулы ДНК, РНК, АТФ
9	Однородный механизм	Винтовой домкрат, часы, бинокль	Молекула гемоглобина, способная транспортировать кислород
10	Узел	Ось и два колеса	Сложные молекулы, полимеры
11	Пара деталей	Винт и гайка, ось и колесо	Молекула, образованная разными радикалами
12	Неоднородная деталь	Винт, гвоздь	Несимметричная углеводородная цепь
13	Однородная деталь	Проволока, ось, балка	Углеводородная цепь
14	Неоднородное вещество	Сталь	Смеси, растворы, воздух
15	Однородное вещество	Химически чистое железо	Простое вещество, кислород, азот

Техническая система (ТС) имеет ряд важных признаков:

1. **Функциональность.** Это способность ТС изменять свои свойства в соответствии с требованиями преобразования предметов труда.

2. Структура. Совокупность элементов и связей между ними, которые определяются физическими принципами осуществления требуемой полезной функции.
3. Организация. Алгоритм совместного функционирования элементов системы в пространстве и времени.
4. Системное качество. Новые свойства системы, не сводящиеся к свойствам отдельных элементов, из которых образована ТС.

Системный подход предусматривает рассмотрение любого искусственного объекта как системы взаимосвязанных элементов, образующих единое целое.

2.3. Диалектика развития ТС

Развитие техники, как и развитие любой материи, включает основные формы ее движения – механическую, физическую, химическую, биологическую и т.д.

Появление техники обусловлено законами природы и деятельностью человека.

Законы природы, познание которых определяется естествознанием, материализуются в технике через специфические законы технического знания. Взаимосвязь научного и технического знаний способствует формированию объективной картины мира, на основе которой возникает, функционирует и развивается техника.

Движущей силой развития ТС является противоречие между объективной необходимостью максимального удовлетворения непрерывно растущих материальных и духовных потребностей членов общества при неуклонном снижении общественно необходимого труда.

Непосредственным источником развития техники служит противоречие между выявившимися возможностями передачи ей определенных трудовых функций и недостаточным уровнем развития имеющихся технических систем.

2.4. Методология творческой деятельности

Техническое творчество, как процесс создания нового, подчиняется объективным законам развития ТС и технической деятельности. Эти законы можно познать и сознательно использовать для решения технических задач.

Техническая деятельность включает процессы мышления, которые позволяют совершенствовать или создавать новые ТС.

Для процесса технического творчества характерно наличие проблемной ситуации. Мыслительной деятельностью изобретатель осознает и перерабатывает эту ситуацию, превращая ее в познавательную творческую задачу.

При решении задачи в мышлении взаимодействует осознанное с интуитивным на основе логических и психических процессов воображения, фантазии, переживаний и т.д.

Правильная организация творческого процесса обеспечивает максимальное использование сильных сторон человеческого мышления: интуиции, вооб-

ражения и др. Но при этом необходимо учитывать и слабые стороны мышления, например, психологическую инерцию. Активизация творческой деятельности инженера в настоящее время предполагает обязательное овладение современными средствами поиска новых технических решений

2.5. Объекты технического творчества

Объектом технического творчества инженера и изобретателя является многообразный мир техники. Только благодаря постоянному развитию и модернизации этих объектов мы видим мир таким, каков он есть. Нет предела совершенствованию. Это мы видим всякий раз, когда рассматриваем пути развития отдельных бытовых устройств, производственных агрегатов, машин и любой другой техники в течение даже небольшого промежутка времени. Итак, различного рода машины, устройства, приборы и т.д., которые мы можем определить, как технические системы, являются теми объектами, над которыми работает изобретатель.

Вообще-то, кроме технических систем объектами технического творчества выступают и различные способы изготовления, измерения, преобразования и т.д., которые можно определить, как технологические процессы. Технические системы и технологические процессы тесно взаимосвязаны между собой.

Развитие технической системы определяет развитие технологического процесса, а совершенствование технологии ведет к модернизации технических систем.

2.6. Виды задач

Если рассматривать задачи с точки зрения их условий и целей, то можно легко увидеть отличия одних задач от других. Так, задачи, с которыми мы встречались в школе, имеют необходимые и достаточные условия для их решения. Цели в них, как правило, определены. Зачастую известен и алгоритм их решения. Решение получается однозначным. Сравните для примера и решите такие задачи:

Задача 1

Имеются два наполненных стакана. В одном вода, а в другом спирт. Из стакана с водой взяли полную чайную ложку и вылили в стакан со спиртом. Затем из стакана со спиртом взяли полную ложку и вылили в стакан с водой. Так сделали пять раз. Спрашивается, где чего больше? Воды в спирте или спирта в воде?

Задача 2

На полке стоит семь томов книг в таком порядке: 7-1-5-3-6-2-4. Требуется за минимальное число перестановок расставить все тома по порядку. Разрешается брать из любого места, но только сразу две книги. Ставить же можно лишь в начало или конец ряда.

Задача 3

В подъемных машинах применяют зажим для каната, представляющий собой клиновидную обойму, в которую вставляется клин, огибаемый канатом. Такое устройство хорошо держит канат, но при необходимости разобрать его очень трудно. Предложите устройство для крепления каната, лишенное данного недостатка.

Задача 4

При изготовлении турбинных лопаток на координатно-фрезерных станках приходится тратить много времени на перестановку люнета (опоры). Без люнета тонкая лопатка деформируется и получается брак. Как быть?

Задача 5

На заводе, где делают лампочки, проверка давления внутри баллона производят так. Разбивают лампу в сосуде с водой и замеряют объем газа в мерном сосуде. Чем лучше работает ОТК, тем меньше выпускается ламп с завода. Что делать?

С первой задачей нет никаких трудностей. Заглянем в справочник и вспомним, как работать с прогрессией. Теперь составим алгоритм расчета и все. Ответ готов.

Со второй задачей намного сложнее. С чего начать? Может, просто перебирая различные варианты, мы наткнемся на требуемый результат? Правда, трудно ожидать быстрого результата. Если считать, что потребуется пять перестановок, то возможных комбинаций из начального условия будет 1024. Перспектива нерадостная. Этот так называемый метод проб и ошибок (МПиО) часто применяют и для решения задач технических. И там он работает с той же эффективностью, что и в нашем случае. А нет ли другого способа? Да, есть! Попробуйте отыскать его сами. А мы продолжим сравнение приведенных выше задач.

Две первые из них математические. Требуется определить количественные соотношения. Задача под номером три – задача техническая. В этой задаче нас больше интересуют соотношения или, вернее, преобразования физические. Все просто. Но если для первых двух задач мы хорошо знаем, что от нас требуется, то для третьей задачи — это не так. Возможно, нас удовлетворит решение, основанное на другом конструктивном принципе, например, закреплять канат болтами. Это позволит легко при необходимости разобрать крепление. Но как надежно оно будет удерживать канат? Утверждать, что-либо здесь мы не можем. Нет критериев для сравнения. В этом кроется первое различие рассматриваемых задач.

Другое отличие заключается в том, что если для первых двух задач для решения вполне достаточно тех сведений, что были даны в условии, то для третьей задачи этого явно недостаточно. Необходимы дополнительные сведения. Это может быть информация из области физики, техники, технологии и т.д.

Так, для легко разбираемого клинового устройства предложено клин снабдить легкоплавкой прокладкой, которая в нужный момент может быть расплавлена и таким образом освобождает клин.

Решение основано на преобразовании технической системы. Добавлено новое вещество с низкой температурой плавления, о котором в условии задачи и не упоминалось вовсе, а, следовательно, о нем мы и не могли подумать. Более того, мы не знали, а можно ли вообще вводить в данную техническую систему какой-либо новый элемент.

Таким образом, решение производственных задач определяется как внутренними возможностями технической системы, так и внешними условиями, свойствами и особенностями охватывающего нашу техническую систему окружения. Но все это в условии задачи определено быть не может. Следовательно, в самой постановке технических задач всегда существует некоторая неопределенность.

Четвертая задача связана с усовершенствованием технологии обработки турбинных лопаток. Где искать решение? Перейти на другую технологию обработки? Изменить станок или искать внутренние резервы, обеспечивающие стойкость турбинной лопатки к деформированию фрезой? Что дополнительно может быть использовано для решения задачи? Что имеется в охватывающем данную техническую систему окружении?

Существует много вопросов, на которые условие задачи не дает ответа!

Последняя из рассматриваемых задач – задача не на модернизацию или синтез технической системы, а на измерение. Необходимо измерить давление в колбе лампы, не нарушая её целостности. Как приступить к этой задаче? Опять много неясного. Не совсем ясна цель. Как и в вышерассмотренных задачах, не определено, что разрешается менять в системе, а что нет. Что уже имеется в существующей технической системе, а что мы можем ввести. Ну и, конечно, непонятно, а как же её решать.

Все, что мы только что отметили, является общим для технических задач. Но мы упустили самую главную их особенность. Если внимательно посмотреть на приведенные задачи, то можно видеть, что все они содержат внутри себя технические противоречия [2]. А именно, для третьей задачи оно звучит так. Чем сильнее клин поджимает канат к обойме, тем конструкция надежнее удерживает канат, но, одновременно с этим, тем труднее будет разобрать клиновой захват. Мы должны построить такую конструкцию, которая бы позволила, не снижая надежности захвата, обеспечить ей легкую разборку.

В задаче четыре указано, что для достижения высокой точности обработки турбинной лопатки необходимо применять люнет. Однако люнет требует больших затрат на его перестановку. Требуется разработать такую конструкцию, чтобы люнет не только предохранял турбинную лопатку от деформации при обработке, но и одновременно не мешал фрезе вести обработку. Чтобы заготовка не деформировалась в процессе обработки – должен быть люнет, а чтобы обработка фрезой шла без помех – люнета не должно быть.

И последняя, пятая задача. Чтобы замерить давление в колбе лампы, необходимо нарушить её целостность, а чтобы лампа оставалась лампой –

необходимо не нарушать её целостности при измерении давления. Итак, мы проанализировали предложенные задачи. Отметим общие особенности в их определении, характере их задания и рассмотрения. Также мы выявили определенные типы задач, с которыми нам придется встретиться в дальнейшем.

А теперь давайте в целом дадим классификацию технических решений, предложенную Г.С. Альтшуллером [2, 3].

2.7. Уровни технического творчества

Одна и та же задача может иметь много разных решений. Это мы выяснили из предыдущего анализа. Из этих решений отдельные могут быть очевидными для многих, тривиальными, а другие, напротив, для многих неочевидны и отличаются оригинальностью своего исполнения.

Рассмотрим сказанное на примере такой задачи.

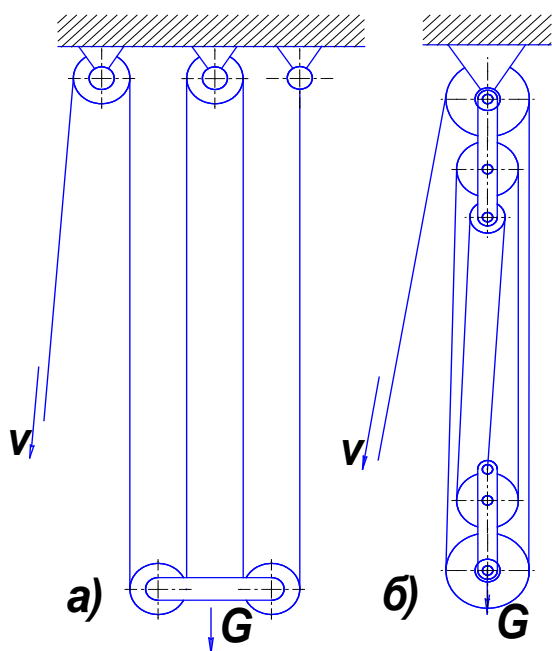


Рис. 1. Ленточный полиспаст

Известны конструкции полиспаста (рис.1), представляющие собой систему подвижных и неподвижных блоков, огибаемых гибким тяговым органом, например, канатом [7]. Известно также о возможности использования в качестве тягового органа для подъёмных машин и механизмов гибкой стальной ленты. Конструкция полиспаста с ленточным тяговым органом практически аналогична конструкции канатного полиспаста. Лишь форму канавки на блоке для каната необходимо изменить на форму, пригодную для применения тонкой ленты. Она, кстати, получается более простой.

Разработка конструкции такого полиспаста не носит творческого характера. Это задача конструкторская. Система претерпевает минимальные изменения. Такое решение относят [2] к первому уровню.

Итак, имеем систему подвижных и неподвижных блоков, огибаемых теперь уже гибкой стальной лентой. Требуется уменьшить в несколько раз габариты, например, неподвижной обоймы полиспаста при сохранении его качественных характеристик.

Рассмотрим внимательно схему обоймы полиспаста, представленную на рисунке 1, б, и выявим ресурсы, за счет которых мы смогли бы выполнить необходимое требование.

Как видно из рисунка, функционально важной частью всех блоков является лишь верхняя часть. На неё непосредственно опирается лента. Нижняя же часть блоков играет в каждый момент времени вспомогательную роль. Но именно нижняя часть блока мешает нам приблизить блоки друг к другу. Таким

образом, мы имеем в наличии пространственный ресурс, и задача состоит лишь в том, а как же им воспользоваться.

Вот одно из возможных предложений. Чтобы сократить габариты обоймы полиспада, необходимо просто разместить блоки меньшего диаметра в блоках большего диаметра! Но в этом случае внутренние ветви ленты должны будут пересекать цилиндрическую поверхность внешних блоков. И что же получилось? Наш полиспаст не работоспособен! Налицо противоречие! Чтобы сократить габариты, необходимо вставить блоки друг в друга, а чтобы полиспаст работал нормально, вставлять нельзя! Как же быть?

Переформулируем выявленное противоречие, отнеся его к основному действующему объекту – блоку. Блок должен иметь обод для удержания ленты,

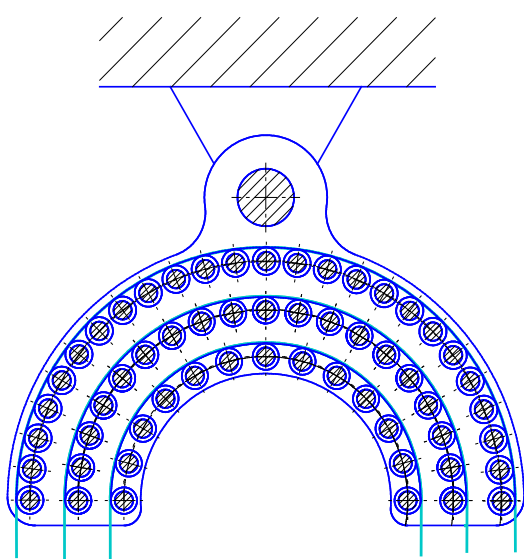


Рис. 2. Ленточный полиспаст

и блок не должен иметь обода, чтобы не мешать ленте выходить из полиспада! После того, как мы составили противоречие, решение задачи становится очевидным. Необходимо убрать нижнюю часть блоков, а верхнюю их часть сделать в виде полуколец, концентрично расположенных друг относительно друга. Очевидно, что сами полукольца должны взаимодействовать с витками лент при минимальном трении. Как это сделать? Выполним полукольца из роликов (рис. 2), насаженных на оси и огибаемых лентой [8].

Дальнейшая модернизация полиспада может идти по пути, например, снижения потерь на трение при перемещении ленты по концентрично расположенным роликам. Попробуйте сами составить противоречие, выявить основной «противоречивый объект» и выйти на конкретное конструктивное решение. Можно и далее проделать такую же операцию для полученной конструкции и т.д. Таким образом, получим линию развития ТС полиспада в виде последовательных конструктивных схем.

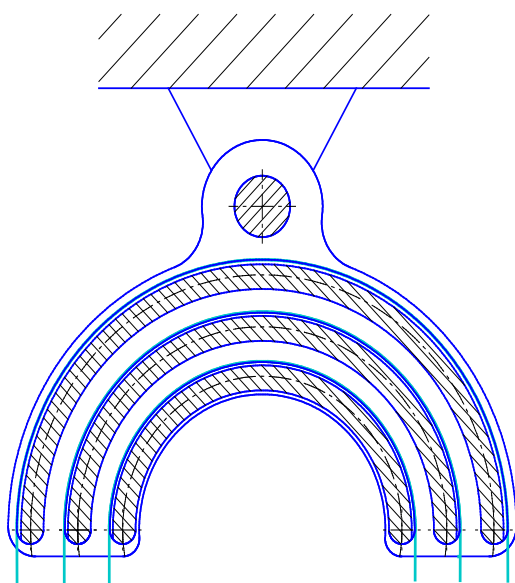


Рис. 3. Полиспаст с полукольцами

Полученные решения уже отличаются конструкторской новизной и потребовали бы от нас больших усилий, если бы мы применяли метод проб и ошибок.

Указанное решение мы можем классифицировать как решение второго уровня [2].

Продолжим работу над совершенствованием конструкции ленточного полиспаста в следующем направлении. Допустим, что полученное решение не удовлетворяет нас из-за сложности конструкции. Как же упростить конструкцию?

Сложность, в первую очередь, (см. рис. 2) будет определяться большим числом роликов, применяемых в предложенной конструкции полиспаста. Составим вновь противоречие, возникающее при рассмотрении данной задачи. Оно может выглядеть так. Число роликов должно быть большим, чтобы вся нижняя поверхность ленты имела опору и таким образом чувствовала себя в благоприятных условиях, и число роликов должно быть, как можно меньше, чтобы не усложнять системы. При увеличении числа роликов мы в пределе можем прийти к тому, что роликов у нас огромное количество, но сами они ввиду ограниченности пространства уменьшились до молекул. То есть мы будем иметь полукольцо, поверхность которого представляет собой молекулы, играющие роль роликов. Техническая реализация такой конструкции ленточного полиспаста представлена на рис. 3, а само решение мы можем классифицировать как решение третьего уровня. Данное решение существенно отличается как от найденного решения первого уровня, так и от решения второго уровня. Если в предыдущих конструкциях лента перемещалась совместно с опорной поверхностью, то в полученном решении лента должна скользить по ней. Для этого рабочая поверхность полукольца должна быть покрыта скользким материалом. Существуют, например, пластмассы, содержащие в своих внутренних порах капельки масла. О таком материале говорят «скользкий как лед». Если покрыть полукольцо таким материалом, то конструкция, в конечном счете, станет довольно простой. Кроме того, уменьшается «вредное» влияние изгибных напряжений на ленту от большого числа роликов. Правда коэффициент полезного действия такого полиспаста будет все же низок из-за того, что сцепление ленты с опорной поверхностью не будет бесконечно малым, а будет иметь конкретную конечную величину.

Отсюда следующая задача! Как повысить коэффициент полезного действия полиспаста (см. рис. 3), сохранив простоту конструкции, малые габариты, компактность, то есть все полезное, что мы приобрели в ходе решения задачи? Составим следующее противоречие. Чтобы коэффициент полезного действия полиспаста был высоким, трение между лентой и опорной поверхностью должно быть исключено (то есть должно отсутствовать взаимодействие), а чтобы ветви полиспаста держали нагрузку, лента должна взаимодействовать с опорной поверхностью. А где механическое взаимодействие – там и трение. Как быть?

Решением такой задачи может служить следующая конструкция (рис. 4). Полукольца выполнены полыми и соединены посредством трубопровода с источником повышенного давления. По рабочей поверхности полукольца распределены отверстия, сообщающиеся с внутренней полостью. Теперь при работе полиспаста лента непосредственно не контактирует с рабочей поверхностью полукольца, а опирается на нее через воздушную подушку. При этом трение снижается в сотни раз и, следовательно, снижаются потери, связанные с трением, повышается коэффициент полезного действия полиспаста.

Итак, мы применили воздушную подушку. Она используется в технике (всевозможные подвижные опоры, суда на воздушной подушке и т.д.) и работает эффективно [3].

Следующее решение этой же задачи может быть основано на использовании электромагнитных полей [2]. Мы знаем, что одноименные полюса электромагнитов отталкиваются друг от друга, а разноименные, наоборот, притягиваются. Если в ленте индуктировать бегущее электромагнитное поле, то можно

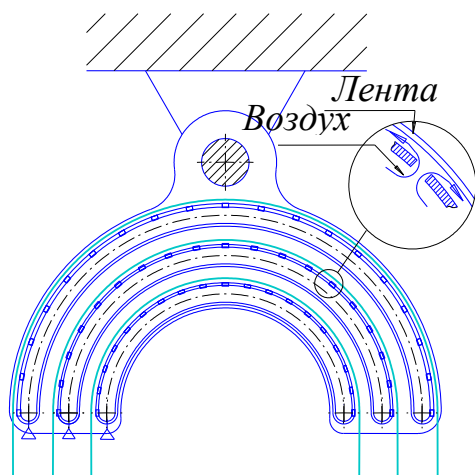


Рис. 4. Полиспасть с воздушной подушкой

заставить взаимодействовать его с внешним магнитным полем. Для этого полукольца обоймы полиспаста (рис. 5) должны представлять собой как бы развернутый статор электродвигателя. Бегущее электромагнитное поле создает в стальной ленте токи, благодаря которым лента удерживается над рабочей поверхностью полукольца, непосредственно не соприкасаясь с ним.

Два последних решения существенно изменяют конструкцию полиспаста, повышают его сложность, но одновременно позволяют получить дополнительный эффект или новое свойство.

Так, например, первое решение позволяет при небольших дополнениях повысить безопасность эксплуатации полиспаста при обрыве ленты. Необходимо только снабдить предложенный полиспасть датчиком контроля целостности ленты и связать его с исполнительным элементом, переключающим пневмосистему с нагнетания воздушного потока на вакуумирование. Сцепление стальной ленты с рабочей поверхностью полуколец возрастет в тысячи раз, и лента будет удерживаться в обойме.

Второе решение позволяет совместить одновременно с неподвижной обоймой полиспаста и его привод. Стальная лента удерживается на магнитной подушке и одновременно перемещается посредством магнитного поля. Скорость перемещения ленты определяется частотой электрического поля в широком диапазоне. Вплоть до полной остановки и удержания ее в таком состоянии в течение некоторого времени.

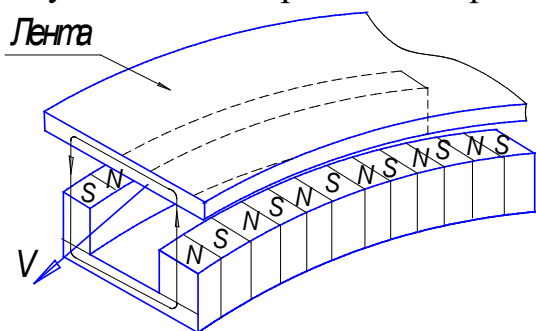


Рис. 5. Фрагмент полиспаста с поперечным магнитным потоком

Данные решения можно условно отнести к решениям четвертого уровня. Для их нахождения требуется перебор десятков тысяч вариантов. Решения строятся на сравнительно далеких к исходному модернизируемому объекту физических законах и эффектах. И, наконец, решения пятого уровня. Они, как правило, основываются на самых последних открытиях в области физики, химии и других наук. Их реализация

Их реализация

связана с появлением новых отраслей науки и техники. Телевизор – телевидение, компьютер – компьютерная техника, ракета – космонавтика и так далее. Возвращаясь к нашему примеру, решением пятого уровня будет некая конструкция, позволяющая перемещать грузы без механического воздействия на сам груз. Будет ли она реализована на основе действия электромагнитных сил или сил гравитационных – практика науки пока ответить не может. Но то, что это когда-то будет – в этом мы можем быть твердо уверены.

2.8. Определение изобретения

Под изобретением, как уже говорилось, можно понимать либо процесс нахождения нового технического решения, либо результат такого решения, либо и то и другое вместе. Нас, в первую очередь, будет интересовать первое. Всегда, когда мы решаем какую-либо задачу, ответ на которую не очевиден – мы изобретаем. Задача при этом может относиться к различным областям человеческой деятельности. Здесь же нас, в первую очередь, будут интересовать решение задач, связанных с техническими системами. Однако не всякое решение и, следовательно, процесс поиска этого решения можно, как мы это раньше определили, считать изобретением. Когда к решению задачи нельзя подойти посредством логических построений, а требуется некий скачок в нашем сознании, только тогда мы можем считать наше решение изобретением. Следовательно, решение должно отличаться оригинальностью исполнения (иметь изобретательский уровень) и новизной (быть новым, не известным из существующего уровня техники). Кроме перечисленных требований в определении изобретения по российскому законодательству необходимо добавить еще и наличие промышленной применимости.

Выше мы уже отмечали, что при решении задач от второго до пятого уровня необходимо обязательно преодолеть некое техническое противоречие. Наличие этого противоречия требует от нас применения таких методов решения, которые бы позволили удовлетворить сразу два противоположных требования. Логика здесь не помогает. Приходится полагаться на интуицию. То есть переходить от рациональных приемов к иррациональным. В каких случаях можно искать решения с помощью логики, а где необходимо призвать в помощь интуицию? Как управлять интуицией? Что, наконец, такое интуиция? И много, много других вопросов, с которыми нам предстоит столкнуться далее и которые возникают при решении трудных задач.

3. МЕТОДОЛОГИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

3.1. Принципы проектирования оборудования

Одним из основных принципов проектирования [9] оборудования является принцип системного подхода, применение которого связано с другими методологическими принципами [10]: принципом максимальной эффективности, принципом типовых решений, принципом обеспечения развития создаваемого объекта и др.

Под *системным подходом* понимают совокупность методологических средств, используемых для подготовки и обоснования решений по сложным проблемам научно-технического характера. Роль системного подхода особенно возрастает при анализе и проектировании сложного оборудования, так как процесс конструирования является многоэтапным и обычно проходит на основе предварительного изучения всего объема исходных данных. *Система* — это совокупность множества взаимосвязанных элементов предназначенных для выполнения заданной функции. Важнейшими системными принципами являются целостность, структурность, взаимозависимость системы и среды, иерархичность, множественность.

Под *целостностью* понимают принципиальную несводимость свойств системы к сумме свойств составляющих ее элементов. Любое оборудование не может рассматриваться как простая сумма входящих в нее агрегатов, так как благодаря целостности и возможности оперативного управления оно позволяет производить изделия принципиально нового качества.

Принцип структурности говорит о возможности описания системы через установление ее структуры (т.е. сети связей и отношений системы) и обусловленности поведения системы в целом поведением ее отдельных элементов и свойствами ее структуры.

Взаимозависимость системы и среды означает, что система формирует и проявляет свои свойства в процессе взаимодействия со средой, и поэтому любая система имеет входы и выходы. Например, входами являются климатические условия (температура, влажность), размеры территории на которой будет располагаться создаваемое оборудование, требуемая производительность т.д.

Множественность описания любой системы обусловлена тем, что в силу принципиальной сложности системы ее адекватное познание требует построения множества различных моделей, каждая из которых описывает только определенный аспект системы. Так, можно рассматривать модели прокатного стана, связанные с точностью геометрических размеров, качеством поверхности, производительностью и т. д.

Привлечение системного подхода к проектированию оборудования является необходимым потому, что процесс принятия решений осуществляется в условиях неопределенности, которая обусловлена наличием факторов, не имеющих строгой количественной оценки. К характерной особенности системного подхода относится то, что он не является конкретным методом проектирования. Его методическая специфика состоит в том, что он нацеливает разработчика на

раскрытие целостности изучаемого объекта, выявление многообразных связей объекта и построение единой теоретической картины. Методы системного анализа направлены на выдвижение альтернативных вариантов поставленной задачи, определения степени неопределенности по каждому из вариантов и сопоставление вариантов по различным критериям эффективности. В то же время окончательное принятие решения остается в компетенции соответствующего должностного лица.

Основными особенностями системного анализа являются:

1. процесс принятия решения должен начинаться с выявления и четкого формирования конечных целей;
2. всю проблему необходимо рассматривать как единое целое и выявлять все последствия и взаимосвязи каждого частного решения;
3. на каждом этапе следует выявлять и анализировать возможные альтернативные пути достижения цели;
4. цели отдельных элементов системы не должны противоречить конечным целям решаемой проблемы.

Одной из главных задач системного анализа является построение обобщенной модели, отображающей реальную систему и позволяющей прогнозировать ее функциональные характеристики. При этом для описания модели конструкции могут использоваться разнообразные математические методы. Так, если удастся достаточно четко сформулировать единственную цель, степень достижения которой можно определить с помощью одного критерия, то применяют методы математического программирования. Когда степень достижения единственной цели оценивается на основе нескольких критериев, используют аппарат теории полезности и т. д.

Разработка и проектирование оборудования должны базироваться на системном анализе технологических процессов, в результате которого разработчик получает ответ на три основных вопроса:

1. оценка целесообразности создания оборудования;
2. четкая формулировка целей создаваемого оборудования;
3. сбор, подготовка и упорядочивание исходных данных для проектирования.

При оценке целесообразности создания оборудования необходимо учитывать две группы критериев:

- важность создания, определяемая расширением выходных параметров и функций;
- полезность, учитывающая в основном технико-экономические показатели и условия работы на нем.

В основе принципа максимальной эффективности системы лежит соотношение (или разность) между показателями ценности результатов (полезным эффектом), получаемых в процессе функционирования системы, и показателями затрат на ее создание. Оборудование должно быть технически совершенным и выполнять возложенные на него функции при минимальных затратах на создание и эксплуатацию. Отсюда вытекают требования максимальной производительности, заданного качества готовой продукции, психологического ком-

форта оператора (достигается за счет правильного выбора соответствующих средств отображения информации и обеспечения работы оборудования в автоматическом режиме).

Принцип принятия типовых решений при проектировании и создании оборудования должен выполняться как в отношении технических средств, так и всех видов обеспечения системы (математического, информационного, организационного и др.). В соответствии с этим принципом реализация проекта должна быть основана на широком использовании комплекса типовых унифицированных технических средств, применение которых не только значительно сокращает трудоемкость создания оборудования, но и упрощает вопросы его наладки, эксплуатации и ремонта. Одним из прогрессивных способов является агрегатно-модульное построение оборудования. Использование принципа принятия типовых решений позволяет сосредоточить основное внимание на решении тех проблем, которые характерны только для данного вида оборудования, и тем самым значительно сократить затраты на проектирование и внедрение в целом.

Обеспечение возможности развития системы позволяет осуществить перестройку ее структуры и организации после ввода в эксплуатацию, что необходимо в связи с изменением числа и сложности решаемых задач, повышением требований к точности геометрических размеров, увеличением производительности и т. д.

Для определения оптимальных конструктивно-компоновочных и технологических решений можно рекомендовать придерживаться следующих основных принципов:

1. **принцип наибольшей эксплуатационной производительности**, для обеспечения которого целесообразно закладывать в конструкцию предпосылки интенсификации использования машины за счет ее универсальности;
2. **принцип наименьшей стоимости производства и эксплуатации**, для реализации которого следует обеспечивать максимальную технологичность составных частей машины и последовательно выдерживать агрегатно-модульный принцип, конструировать сборочные единицы машины в виде независимых агрегатов, устанавливаемых на машинах в собранном виде;
3. **принцип наименьшей материалоемкости и энергоемкости**, требующий применять современные методы расчета машин и агрегатов на прочность и износостойкость, чтобы исключить завышенные запасы, которые могут привести к перерасходу конструкционных материалов;
4. **принцип наибольшей надежности**, требующий при проектировании новых конструкций и машин проверять все новые элементы с помощью эксперимента, физического или математического моделирования, а также выполнять ответственные детали из качественных материалов, предусматривать для их изготовления технологические процессы, обеспечивающие повышение безотказности и срока службы;

5. *принцип оптимальной унификации и стандартизации*, требующего вести проектирование машины на основе наиболее прогрессивного способа – агрегатирования с применением современных баз данных.

Как правило, при проектировании приведенные принципы используются не изолированно, а в совокупности. Так, наибольшая эксплуатационная производительность машины во многом зависит от ее надежности. Ненадежная, часто выходящая из строя, требующая больших затрат и средств на обслуживание и ремонт машина не может обеспечить высокую производительность. Машина с малым числом стандартных или заимствованных составных частей не обеспечит высокой надежности, вызовет неоправданно высокие затраты на стадиях проектирования, изготовления и эксплуатации. Следует отметить, что отнесение перечисленных правил к одному из пяти основных принципов конструирования носит в достаточной мере условный характер.

При разработке конструкции приходится решать задачу по установлению оптимальных значений таких противоречивых свойств, как надежность, экономичность, гибкость, удобство эксплуатации и т. п.

Надежность функционирования машины является одним из основных показателей ее эффективности и непосредственно связана с экономическими характеристиками. С одной стороны, для повышения эффективности функционирования необходимо максимально увеличить ее надежность путем изменения структуры, разработки специального информационного обеспечения или введения дополнительных технических средств. Однако это приводит к резкому увеличению начальных затрат и продолжительности периода разработки, что может оказаться экономически неоправданным.

С другой стороны, чрезмерное уменьшение надежности вызывает снижение эффективности ее функционирования, как за счет уменьшения ее производительности, так и за счет увеличения эксплуатационных расходов на проведение работ по устранению неисправностей. Время разработки машины также оказывает влияние на ее эффективность: чем больше длительность периода проектирования и создания, тем больше вероятность того, что она не будет отвечать современному научно-техническому уровню, тем медленнее будут окупаться затраченные средства. Однако значительное сокращение сроков разработки линии в целом или ее отдельных узлов может привести к снижению качества проектных решений и тем самым к ухудшению эффективности функционирования.

На основе изложенного, а также в результате обобщения опыта разработки и создания оборудования ведущими проектно-конструкторскими организациями России можно сформулировать следующие положения, применение которых обеспечивает получение оптимальных конструкторско-компоновочных решений: максимальная эксплуатационная производительность; минимальная стоимость производства и эксплуатации; минимальная материалоемкость и энергоемкость; максимальная надежность; оптимальная унификация и стандартизация.

В целом можно кратко сформулировать общие требования к проектируемому оборудованию следующим образом: обеспечение функционирования с

минимально возможным числом отказов и неисправностей, с заданной производительностью выпуска продукции требуемого качества.

3.2. Этапы проектирования оборудования

Под проектированием оборудования [11] понимают процесс принятия и оценки взаимосвязанной совокупности решений, направленный на создание конструкции и определение эффективных путей достижения конечного результата [9]. Цель проектирования состоит в разработке проекта, который удовлетворяет всем требованиям технического задания. Процесс проектирования представляет собой совокупность взаимосвязанных решений, каждое из которых зависит не только от решений, принятых на предыдущих этапах, но и от возможного их влияния на последующие этапы проектирования. Кроме того, на каждом этапе проектирования возникает большое число возможных решений, в результате чего практически невозможно проанализировать всю совокупность возникающих вариантов. Следовательно, процесс проектирования нельзя представить в виде последовательности независимых друг от друга этапов, и поэтому методика проектирования должна предусматривать возможность систематического и оперативного корректирования или пересмотра принимаемых решений.

Основные этапы проектирования и последовательность их выполнения приведены на рис. 6.

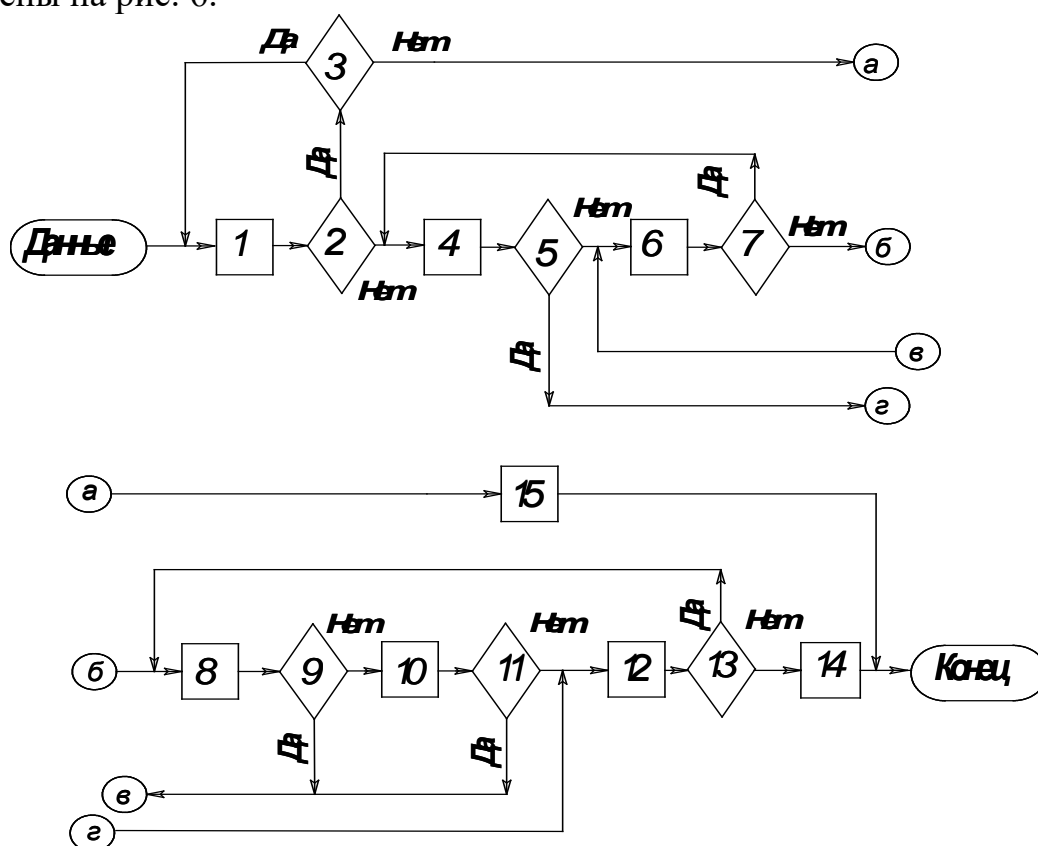


Рис. 6. Основные этапы проектирования и последовательность их выполнения (обозначения представлены в тексте)

Представленный алгоритм проектирования согласуется с рекомендациями ГОСТ 13.101-13.109-68, в которых отражены основные положения ЕСКД, и основан на использовании выше изложенных системных принципов проектирования, полученных на основании обобщения отечественного и зарубежного опыта проектирования и создания оборудования. Ниже рассмотрено содержание этапов.

Этап 1. Получение технического задания на проектирование. В техническом задании на проектирование обычно указывают основное назначение, технические характеристики, показатели качества, технико-экономические требования, стадии проектирования, планируемый уровень затрат, сроки выполнения, а также специальные требования и особые условия проектирования. Главной целью данного этапа является сбор и подготовка информации для оценки возможности и целесообразности создания конструкции. Для этого необходимо конкретизировать цель и задачи, определить возможность изменения постановки задачи с учетом перспектив развития производства, выполнить анализ способов изготовления, состава и характеристик используемого оборудования, уточнить метрологические и информационные характеристики, систематизировать данные для проведения экспертных оценок по цели, задачам и технико-экономическому эффекту от применения создаваемой конструкции и др.

Этап 2. Оценка возможности и целесообразности создания конструкции. На основе анализа технической, научной и патентной литературы установлено, что разработка конструкции преследует две основные цели: увеличение производительности труда и повышение качества выпускаемого продукта. В связи с переходом на рыночные отношения и необходимостью конкурировать с зарубежными поставщиками оборудования целью создания нового оборудования обычно является повышение качества при широком использовании энергосберегающих, материалосберегающих и экологически безопасных технологий. Если возможность и (или) целесообразность создания изделия вызывает сомнение, то необходимо перейти к этапу 3.

В случае положительного ответа на поставленный вопрос происходит переход к этапу 4.

Этап 3. Оценка возможности изменения технического задания. При выполнении этапа 2 выявились принципиальные трудности создания конструкции, в связи с чем необходимо провести согласование с заказчиком о возможности изменения исходных данных на проектирование. Если техническое задание изменить нельзя, то дальнейшие работы прекращаются, и делается вывод о невозможности или нецелесообразности проектирования (этап 15). При положительном решении происходит возврат к этапам 1—2—4.

Этап 4. Уточнение цели и задач проектирования. Основное назначение данного этапа — это подготовка данных для оценки возможности отнесения разработанного или выбранного проекта к типовому (см. этап 5). При его

выполнении используются как результаты первого этапа, так и дополнительные сведения, полученные на основе более детального изучения производства, определенного в техническом задании. На данном этапе уточняется перечень задач, определяются исходные данные для создания предварительной (априорной) модели конструкции. Можно рекомендовать следующий порядок его проведения: сбор информации о создаваемой конструкции, для чего можно использовать специальные анкеты, содержащие систематизированный перечень вопросов; анализ полученной информации, включая отсев дублирующей и несущественной информации, разделение взаимозависимой информации, ее группировка по некоторым признакам и др.; формулировка цели и задач проектирования, при этом необходимо дать критерии оценки качества решения задач, указать область допустимых или желательных решений и установить факторы, влияющие на решение поставленных задач; устранение противоречий (если они имеются) между задачами; построение априорной модели, которая представляет собой совокупность зависимостей (графических, аналитических, логических и др.) между характеристиками конструкции и ограничениями на них. В процессе проектирования и проведения исследований отдельных агрегатов и конструкции в целом степень неопределенности знаний об изучаемом процессе снижается и модель уточняется.

Этап 5. Оценка возможности отнесения конструкции к типовой. На данном этапе рассматривается вопрос о возможности отнесения конструкции к одному из известных классов. Если конструкцию можно отнести к типовой, то проектирование значительно упрощается, так как становится возможным использовать типовые решения. На рис. 3 этому случаю соответствует переход от этапа 5 непосредственно к этапу 12, на котором осуществляется разработка технического проекта конструкции. При отрицательном ответе необходимо перейти к этапу 6.

Этап 6. Разработка технического предложения. Техническое предложение включает совокупность конструкторских документов, которые должны содержать технические и технико-экономические обоснования целесообразности разработки документации на основании анализа технического задания и различных вариантов возможных решений с учетом конструктивных и эксплуатационных особенностей разрабатываемого и существующего оборудования. Основными работами на данном этапе являются: анализ полученных на предыдущих этапах результатов; разработка функциональной структуры конструкции, обеспечивающая решение поставленных задач; выбор технологической схемы и возможного состава оборудования; составление перечня требований и установление технических характеристик отдельных агрегатов и конструкции в целом; обоснование выбора показателей эффективности; уточнение сроков разработки оборудования и ввода его в эксплуатацию; оформление технического предложения.

Этап 7. Оценка необходимости уточнения технического задания. В процессе разработки технического предложения может возникнуть необходимость уточнения некоторых исходных данных; при необходимости уточнения технического задания следует вернуться к этапу 4, в противном случае происходит переход к следующему этапу.

Этап 8. Выбор базовой технической структуры. Цель данного этапа проектирования состоит в выборе одного из возможных вариантов структуры конструкции, характеристики которой наиболее полно удовлетворяют установленному критерию оптимальности, при этом уточняются значения и диапазоны изменения внешних и внутренних параметров элементов конструкции.

Этап 9. Оценка необходимости уточнения технического предложения. В процессе выполнения предыдущего этапа может появиться необходимость уточнения некоторых положений технического предложения; при этом следует вернуться к этапу 6, в противном случае происходит переход к следующему этапу.

Этап 10. Разработка эскизного проекта конструкции. Эскизный проект должен содержать принципиальные конструктивные решения, дающие общие представления об устройстве и принципе работы агрегата и его отдельных элементов, а также сведения, определяющие назначение, основные параметры и габаритные размеры. На данном этапе осуществляется анализ и синтез элементов технологической линии агрегата, при этом уточняется его целевая функция, определяется перечень внутренних параметров с соответствующими ограничениями, устанавливается функциональная связь между внутренними и внешними параметрами элементов, уточняются показатели эффективности, конкретизируется техническое задание, решаются задачи выбора и оптимизации отдельных подсистем и элементов. При разработке конструкции целесообразно использовать агрегатно-модульный принцип и применять однотипные технические средства.

Этап 11. Оценка необходимости корректировки параметров линии. При необходимости уточнения технического предложения следует вернуться к этапу 6, в противном случае происходит переход к этапу 12.

Этап 12. Разработка технического проекта конструкции. В техническом проекте содержится совокупность конструкторских документов, которые должны отражать окончательные технические решения, дающие полное представление об разрабатываемом устройстве, а также исходные данные для разработки рабочей документации.

Этап 13. Оценка необходимости уточнения технического проекта. При необходимости уточнения технического проекта следует вернуться к раз-

работке эскизного проекта (этап 8), в противном случае происходит переход к следующему этапу.

Этап 14. Разработка рабочей документации. Данный этап завершает процесс проектирования. Его целью является разработка конструкторских документов, предназначенных для изготовления, монтажа, наладки, испытания и эксплуатации отдельных агрегатов и технологической линии в целом.

3.3. Конструкторская документация

Проектирование и оптимизация конструкций машин и оборудования связаны с документированием результатов работы, такой как проведение научных исследований, проектирование, изготовление. Документация необходима для грамотной эксплуатации изделия, правильного хранения и утилизации, воспроизведения результатов.

Практическим результатом проектирования является комплект проектной документации.

Вся документация подразделяется на конструкторскую и научную. Порядок оформления документации предписывается стандартами или нормативными документами предприятий. Такая регламентация упрощает взаимопонимание между участниками процесса проектирования благодаря использованию единых форм представления документов и информации.

Конструкторская документация связана с разработкой конструкции изделия и содержит сведения по составу и устройству изделия, необходимые для его изготовления, контроля, приемки, эксплуатации и ремонта. Документация подразделяется на текстовую и графическую. Внешним признаком конструкторской документации является наличие рамки и основной надписи, которая оформляется по ГОСТ 2.104.

Текстовая конструкторская документация.

Документация оформляется на листах формата А4. Ее состав регламентируется ГОСТ 2.106, который устанавливает форму и правила конструкторских документов. Ниже приведено описание основных документов.

Спецификация. Она является обязательным документом на составное изделие (сборочную единицу, комплекс, комплект), полностью и однозначно определяет состав изделия и относящихся к нему конструкторских документов. Сведения в спецификации группируют по разделам, которые располагают в следующем порядке (ГОСТ 2.108):

- документация - проектная (в том числе - чертежи и пояснительная записка), рабочая, эксплуатационная, ремонтная;
- комплексы (приводится их перечень);
- сборочные единицы (приводится их перечень);
- детали (приводится их перечень в порядке, определяемом ростом индекса обозначения, который назначается по ГОСТ 2.201 или в соответствии с внутренними правилами организации-разработчика);

- стандартные изделия, которые группируют по видам стандартов (государственные, отраслевые, стандарты предприятий),
- прочие изделия - изделия, потребность в которых может возникнуть в процессе изготовления или комплектации, или которые по своему назначению и условиям применения не попадают в остальные разделы спецификации;
- материалы – указываются такие расходуемые материалы, количество, размеры и форма которых определяются в момент сборки или комплектации изделия; их приводят в следующей последовательности: металлы; пластмассы; бумага и текстиль; дерево; резина и кожа; минеральные, керамические и стеклянные материалы; лаки, краски и нефтепродукты;
- комплекты – сюда вносят ведомость эксплуатационных документов и комплекты монтажных и запасных частей, тары и т.п.

Ведомость спецификаций. Содержит перечень всех спецификаций составных частей изделия с указанием их количества и принадлежности. Составляется, если количество специфицируемых изделий больше одного.

Пояснительная записка. Документ обязательный и содержит описание устройства, обоснование принятых при его разработке технических и технико-экономических решений. Она необходима для проверки правильности полученных результатов или воспроизведения проделанной работы. Составляется на листах формата А4, но входящий в нее графический материал может быть представлен и на листах большего формата. Листы имеют рамку, дополнительные графы и основную надпись по ГОСТ 2.104.

В общем случае пояснительная записка включает разделы:

- введение;
- назначение и область применения проектируемого изделия, его техническая характеристика;
- описание и обоснование выбранной конструкции;
- расчеты, подтверждающие правильность принятых решений;
- ожидаемые технико-экономические показатели.

Технические условия (ТУ). Содержат требования к изделию (показатели качества и эксплуатационные характеристики), к его изготовлению, контролю, приемке и поставке. Составляются для самостоятельно поставляемых изделий. ТУ являются выборкой из пояснительной записки сведений по изготовлению, эксплуатации и т.п. и сопровождают проектную графическую документацию на этапе изготовления и эксплуатации. Разновидностью ТУ являются правила по эксплуатации изделия.

Программа и методика испытаний. Содержит технические данные, которые подлежат проверке при испытании изделия, а также порядок и методы их контроля (вид, последовательность и технические средства испытания).

Эксплуатационные документы. Предназначены для обеспечения нормальной эксплуатации изделия, его обслуживания и ремонта.

Патентный формуляр. Содержит сведения о патентной чистоте спроектированного изделия, а также о созданных и использованных при его разработке изобретениях.

Карта технического уровня и качества изделия. Содержит данные, определяющие технический уровень (уровень качества) изделия и его соответствие лучшим отечественным и зарубежным достижениям, а также потребностям заказчика. Карта необходима для оценки целесообразности дальнейшей разработки и производства изделия.

Графическая конструкторская документация.

В состав графической конструкторской документации входят ниже перечисленные документы.

Чертеж детали. Обязательный документ, который содержит изображение детали и все данные, необходимые для ее изготовления и контроля. Основные требования и правила выполнения рабочих чертежей приведены в ГОСТ 2.107 и ГОСТ 2.109.

Чертежи разрабатывают на все детали, входящие в состав изделия. Допускается не выпускать чертежи в следующих случаях:

- на детали, изготавливаемые из фасонного или сортового материала отрезкой под прямым углом или из листового материала резкой по окружности или периметру прямоугольника без последующей обработки;
- на детали единичного производства, если их форма и размеры устанавливаются по месту (в процессе монтажа, сборки) или полностью определяются размерами, указанными на сборочном чертеже;
- на покупные детали, подвергаемые антикоррозионному или декоративному покрытию, не изменяющему характер сопряжения со смежными деталями. В этом случае указание о покрытиях приводят на сборочном чертеже.

Чертеж детали содержит:

- изображение детали; количество изображений должно быть минимальным, но при этом давать полную и ясную информацию об этой детали, с размерами с предельными отклонениями;
- параметрами шероховатости и, при необходимости, отклонениями форм и расположения поверхностей;
- текстовую часть, состоящую из технических требований и технических характеристик;
- таблицы с параметрами, техническими требованиями, условными обозначениями и т. п.;
- основную надпись и дополнительные графы, предусмотренные стандартом на конструкторские документы;
- сведения о марке материала или заготовки, из которой деталь изготовлена (марка должна быть увязана с размерами заготовки и данными предприятия-изготовителя). Эти сведения помещают в графе основной надписи.

При заполнении чертежа детали:

а) выбирают формат чертежа (из предварительной оценки потребного места под изображение детали в необходимом масштабе), наносят рамку, основную надпись, дополнительные графы;

б) отводят место под общее обозначение шероховатости или обозначение шероховатости неуказанных поверхностей;

в) отводят место под таблицу параметров как, например, для зубчатых колес (цилиндрических, конических, червячных) таблица содержит параметры зацепления и обязана располагаться;

г) отводят место под текст технических требований, который располагается над основной надписью; требования имеют сквозную нумерацию и следуют по пунктам, колонкой шириной не более 185 мм.

Рекомендуется следующая последовательность изложения технических требований (их содержание охватывает не только рабочие чертежи, но и другие виды графических документов):

- *требования к материалу, заготовке, термообработке и физико-механическим характеристикам материала готовой детали (прочность, твердость), указание на материалы-заменители;*

- *размеры и/или предельные отклонения размеров, формы, взаимного расположения, массы и т. п., например:*

"Обработку по размерам в квадратных скобках производить совместно с деталью...";

"Неуказанные предельные отклонения размеров...";

"Дисбаланс не более ...";

"Металл при балансировке удалять с ...";

*"*Размеры для справок";*

*"**Размер обеспечивается инструментом";*

"Неуказанные радиусы R ... мм";

- *требования к качеству поверхности, указания об их отделке, например: "Покрытие -...", "Поверхность А полировать";*

- *зазоры, расположение отдельных элементов конструкции;*

- *требования к качеству изделия (бесшумность, самоторможение отсутствие дефектов и т. п.);*

- *условия и методы испытаний;*

- *указания по маркированию и клеймению;*

- *правила транспортирования и хранения;*

- *особые условия эксплуатации;*

- *ссылки на другие документы, содержащие необходимые технические требования, но не приведенные на данном чертеже.*

Текстовые требования помещают только на первом листе, если чертеж выполняется более чем на двух листах.

Сборочный чертеж. Он содержит:

- *изображение сборочной единицы, дающее представление о расположении и взаимной связи составных частей, соединяемых по данному чертежу, о возможности осуществления их сборки и контроля всего изделия;*

- размеры, предельные отклонения и другие параметры и требования, которые должны быть выполнены и проконтролированы по данному чертежу (например, данные о поверхностях, полученных в результате совместной обработки нескольких деталей);

- указания о характере сопряжения и методах его осуществления, если оно обеспечивается подгонкой, пригонкой, сваркой и т. п.;

- номера позиций составных частей, входящих в изделие;

- основные характеристики изделия;

- габаритные, установочные и присоединительные размеры, а также необходимые справочные размеры.

Габаритные размеры задают предельные очертания изделия (например, наибольшую длину, высоту и ширину).

Установочные размеры определяют размеры частей изделия, по которым оно устанавливается на месте монтажа (например, размеры опорных лап, крепежных отверстий и их координаты).

Присоединительные размеры определяют размеры частей изделия, посредством которых оно присоединяется к другому изделию (например, координаты и размер входного и выходного валов передачи);

Сборочные чертежи допускается изображать упрощенно, без технологических элементов конструкций (фаски, проточки, уклоны и т. п.). Номера позиций проставляют в соответствии с номерами, указанными в спецификации этой сборочной единицы. Номера располагают параллельно основной надписи чертежа вне контура изображения и группируют в колонку или в строчку, по возможности по одной линии.

На сборочных чертежах изделий, включающих детали, на которые допускается не выпускать чертежи, приводят дополнительные размеры, необходимые для изготовления этой детали, т.е. размеры, проставляемые на чертежах детали.

При указании технической характеристики изделия (например, мощности, передаточного числа и т. п.), ее размещают отдельно от технических требований, с самостоятельной нумерацией пунктов, на свободном поле чертежа под заголовком "Техническая характеристика". При этом над техническими требованиями помещается заголовок "Технические требования" и оба эти заголовка не подчеркивают.

Чертеж общего вида. Обязательный документ. Содержит полное изображение изделия, наименования и обозначения составных его частей, необходимые для понимания его принципа работы и устройства. Составные части на чертеже указывают на полках-выносах или заносят в таблицу, подобную спецификации:

- заимствованные изделия;
- покупные изделия;
- вновь разрабатываемые изделия.

Таблица может располагаться на чертеже или на отдельных листах формата А4, рассматриваемых как последующие листы чертежа.

На чертеже допускается помещать техническую характеристику изделия. Также на чертеже указывают размеры сопрягаемых поверхностей деталей, входящих в изделие. Эти данные необходимы для разработки рабочих чертежей деталей. С целью пояснения устройства изделия на чертеже наносят габаритные, установочные и присоединительные размеры.

Габаритный чертеж. Содержит контурное (упрощенное) изображение изделия с габаритными, установочными и присоединительными размерами. Изделие показывают так, чтобы были видны крайние положения подвижных частей, которые изображают штрихпунктирными тонкими линиями. Установочные и присоединительные размеры, если они необходимы для увязки изделия с другими изделиями, проставляют с предельными отклонениями.

Монтажный чертеж. Он содержит контурное изображение изделия и данные, необходимые для его установки на месте применения и включает:

- упрощенное изображение монтируемого изделия. Подробно указываются только элементы конструкции, необходимые для правильного монтажа;
- изображение частей устройства (фундамента, рамы и т.п.), которые требуются для правильного определения места и способа крепления изделия;
- установочные и присоединительные размеры с предельными отклонениями;
- технические требования к монтажу изделия;
- перечень составных частей, необходимых для монтажа (на первом листе над основной надписью).

В перечне указывают сборочные единицы, детали и материалы, используемые при монтаже.

3.4. Научная документация. Научно-исследовательский отчет

Возможность разработки любого изделия базируется на результатах соответствующих научно-исследовательских работ. Описание содержания этих работ и полученные результаты приводят в научно-исследовательских отчетах, относящихся к текстовой документации. Отчеты оформляют по ГОСТ 7.32 на листах формата А4, во многом подобно пояснительной записке. Иллюстрации, таблицы и распечатки при необходимости могут располагаться на листах формата А3. В отличие от конструкторской документации листы научного отчета не имеют вычерченных рамок и основной надписи. Номер страницы проставляется в правом верхнем углу.

Отчет, обычно, включает следующие разделы:

- титульный лист (обязательный раздел);
- список исполнителей;
- реферат (обязательный раздел);
- содержание;
- перечень сокращений, условных обозначений, используемых терминов;
- введение (обязательный раздел);
- основная часть (обязательный раздел);

- заключение (обязательный раздел);
- список использованных источников;
- приложения.

В *реферате* указывается направление и цель работы, тема исследований, использованные методы и аппаратура, приводятся полученные результаты, подчеркивается новизна и актуальность, практическая значимость и другие данные о проведенной научно-исследовательской работе. Реферат должен содержать: сведения об объеме отчета, количестве иллюстраций, таблиц, приложений, количестве книг отчета, количестве использованных источников; перечень ключевых слов.

Содержание включает введение, наименование всех разделов, подразделов, пунктов (если они имеют наименование) и заключение с указанием номеров страниц, с которых начинаются эти элементы отчета о НИР.

Принятые в отчете малораспространенные *сокращения, условные обозначения, символы, единицы и термины* должны быть представлены в виде отдельного списка.

Введение должно содержать оценку современного состояния решаемой научно-технической проблемы, основание и исходные данные для разработки темы, обоснование необходимости проведения НИР, сведения о патентных исследованиях и выводы из них, сведения о метрологическом обеспечении НИР. Во введении должны быть показаны актуальность и новизна темы, связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами.

Основная часть должна содержать:

1) выбор направления исследований, методы решения задач и их сравнительную оценку, разработку общей методики проведения НИР;

2) теоретические или экспериментальные методы исследования, методы расчета, обоснование необходимости проведения экспериментальных работ, принципы действия разработанных объектов, их характеристики, обоснование выбранного метрологического обеспечения, оценку правильности выбора средств измерений, оценку погрешности измерений, полученные экспериментальные данные;

3) обобщение результатов исследований, предложения по дальнейшим направлениям работ, оценку достоверности полученных результатов и их сравнение с аналогичными результатами отечественных и зарубежных работ, обоснование необходимости проведения дополнительных исследований, отрицательные результаты, приводящие к необходимости прекращения дальнейших исследований.

Основную часть отчета следует делить на разделы, подразделы, пункты и подпункты. Каждый пункт должен содержать законченную информацию. Основную часть излагают в виде текста, таблиц и иллюстраций.

Заключение должно содержать краткие выводы по результатам выполненной НИР, оценку полноты решений поставленных задач, разработку рекомендаций и исходных данных по конкретному использованию результатов НИР, оценку технико-экономической эффективности внедрения.

В списке использованных источников сведения об источниках следует располагать в порядке появления ссылок на источники в тексте отчета и нумеровать арабскими цифрами с точкой.

В приложения рекомендуется включать материалы, связанные с выполненной НИР, которые по каким-либо причинам не могут быть включены в основную часть. В приложения могут быть включены:

- 1) материалы, дополняющие отчет;
- 2) промежуточные доказательства, формулы и расчеты;
- 3) таблицы вспомогательных цифровых данных;
- 4) протоколы испытаний;
- 5) описание аппаратуры и приборов, применяемых при проведении экспериментов, измерений и испытаний;
- 6) заключение метрологической экспертизы;
- 7) инструкции, методики, описания алгоритмов и программ задач, решаемых ЭВМ, разработанных в процессе выполнения НИР;
- 8) иллюстрации вспомогательного характера.

3.5. Автоматизация оформления документации

Оформление проектной документации имеет следующие особенности:

- большая трудоемкость и продолжительность составления и согласования документации (исследования показывают, что при обычном "ручном" проектировании на это уходит порядка 60...80% всего времени разработки изделия);
- оформление результатов работ регламентируется стандартами и, по сравнению с другими видами работ, максимально формализовано, здесь главное - точность и пунктуальность.

Именно такими главными достоинствами и обладают вычислительные комплексы: работать быстро, без ошибок и отступлений от правил, по жестким алгоритмам. Поэтому в настоящее время оформление проектной документации является наиболее автоматизируемым видом проектных работ. Задача проектировщика в такой ситуации сводится к управлению (выбор объекта, вида документации, компоновка изображений и т. п.) и контролю процессов автоматизированного документирования. В свою очередь, автоматизация меняет вид и характер документации:

- отсутствуют ранее традиционные носители информации, так называемые "твердые копии" - чертежи и текстовые документы на бумаге. Информация хранится на компьютерных носителях. В процессе работы она считывается с носителя и при необходимости передаётся по электронной почте или с помощью иных средств связи. И только при необходимости оформляется в виде твердых копий;
- в современных системах в качестве результатов проектирования уже выступают команды для автоматизированных технологических комплексов с программным управлением. Автоматизированная система сама увязывает от-

дельные части проектируемого объекта и проверяет состыковку размеров, подготавливает команды для элементов оборудования комплексов. Такая система ориентирована, прежде всего, на получение готового изделия, а выпуск документации становится ее дополнительной функцией.

Автоматизация документирования обладает следующими достоинствами:

- возможность активного хранения большого объема информации в виде баз данных (сочетание хранения с оперативным доступом и использованием в работе);
- быстрота поиска нужной информации;
- учёт всех требований стандартов и других нормативных документов, оперативное внесение изменений при изменении или введении новых стандартов, замене размерностей физических величин и т. п.;
- рентабельность применения, поскольку резко снижаются сроки проектных работ, повышается качество их результата (вследствие многовариантности и оптимизации, повышения точности расчётов, сведения до минимума субъективных ошибок).

Применение автоматизированных систем, однако, не освобождает конструктора от знаний состава, порядка и правил документирования: проектировщик назначает и формирует необходимые изображения (особенно нетиповых деталей), размещает их в поле чертежа, управляет составлением другой необходимой документации и т. д. (т.е. происходит лишь облегчение его физического труда).

3.6. Основные направления повышения качества машин

Важность проблемы повышения надежности непрерывно возрастает с интенсификацией технологических процессов, повышением производительности оборудования и увеличением воздействующих на него нагрузок. Низкая надежность металлургического оборудования приводит к вынужденным простоям, которые влекут за собой невосполнимые потери в производстве металла и требуют существенных затрат на восстановление его работоспособности. Считается, что на все виды ремонтов технологического оборудования ежегодно расходуется около 25% капитальных вложений. В машиностроении и металлообработке на ремонтных работах занято более 20% всех рабочих, а количество проката черных металлов, расходуемого на ремонт машин и оборудования, составляет более 15% годовой потребности.

Металлургическое оборудование имеет весьма низкие показатели эксплуатационной надежности и долговечности [11], поэтому для него проблема повышения надежности приобретает особое значение. В ремонтной службе занято около 30% общей численности производственного персонала, а стоимость механического оборудования достигает 40% общей стоимости основных производственных фондов. По разным источникам на техническое обслуживание и ремонт оборудования за время его эксплуатации затрачивается в 5...10 раз больше средств, чем на изготовление нового.

Разработчики оборудования, технологический и эксплуатационный персонал должны уметь правильно выбирать и использовать наиболее эффективные средства повышения надежности в каждом конкретном случае. Оптимальный уровень надежности и срок службы следует назначать с учетом экономической целесообразности принимаемых решений.

Мероприятия, проводимые по обеспечению высокого качества и надежности оборудования, затрагивают все стадии его создания и реализации, включая этапы проектирования, изготовления, испытания, хранения и эксплуатации. Каждый этап жизненного цикла вносит свой вклад в решение задачи создания оборудования требуемого уровня надежности с наименьшими затратами времени и средств.

Основные решения по обеспечению надежности оборудования, принятые на этапах его проектирования и изготовления, сказываются на его эксплуатационных и экономических показателях. Поэтому необходимо выявлять связи между показателями надежности и возможностями их повышения на каждом этапе создания и реализации оборудования. Особое значение для создания высоконадежных машин и агрегатов имеет этап их расчета и проектирования, когда закладываются их основные технические характеристики. При проектировании оборудования устанавливаются и обосновываются необходимые требования к надежности, что обеспечивается за счет конструкции и применяемых материалов. На этом этапе разрабатываются методы защиты оборудования от вредных воздействий, рассматриваются возможности автоматически восстанавливать утраченную работоспособность, оценивается приспособленность к ремонту и техническому обслуживанию. Для обеспечения оптимальных показателей надежности оборудования конструктор должен на этапе проектирования предусмотреть определенный их уровень, который должен гарантировать работу оборудования в течение заданного периода времени в определенных условиях эксплуатации при минимальных затратах на его изготовление и эксплуатацию. При изготовлении (производстве) оборудования его надежность зависит от качества изготовления деталей и сборочных единиц и методов их контроля, возможностей управления ходом технологического процесса, качества сборки оборудования в целом и его узлов, методов испытания и доводки и других показателей технологического процесса.

4. МЕТОДЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ МАШИН

Проектирование новых машин подразумевает использование определенных методов, основанных на тех или иных законах природы [10].

Метод – это приём или способ действия с целью достижения необходимого результата. Выбор его зависит как от вида решаемой задачи, так и от индивидуальных черт разработчика, условий его труда и оснащенности средствами оргтехники. Нестандартность проектных ситуаций вызывает необходимость знания и применения эвристических, экспериментальных и формализованных методов.

Все существующие методы проектирования, а на сегодня их известно более тридцати, можно подразделить на две группы. К первой группе относят методы, у которых в основу поиска положено иррациональное начало, интуиция. Это так называемые эвристические методы (рис.7). Ко второй группе относят методы, в основу которых положено рациональное начало, логика. Они носят название «методы алгоритмические».



Рис. 7. Методы поиска технических решений

Эвристические методы опираются на подсознательное мышление. Они характеризуются неосознанным (интуитивным) способом действий для достижения поставленных целей. Поэтому иногда эвристические методы называют *методами инженерного творчества*. Эвристические методы не присущи (по крайней мере пока) искусственным интеллектуальным системам. При проектировании к сфере человеческой деятельности относят: постановку задачи; выбор методов ее решений и разработка моделей и алгоритмов, выдвижение гипотез и предположений; анализ результатов и принятие решений. Отличительной особенностью именно человеческой деятельности является наличие в ней элемента случайности: необъяснимые и сумасбродные решения часто лежат в основе оригинальных и неожиданных идей.

Экспериментальные методы основаны на использовании реальных объектов и физических моделей. Несмотря на сложность, только они позволяют получить самые достоверные и надежные данные и результаты решений. Они служат основой для разработки других методов и моделей. Однако степень объективности результатов исследований во многом зависит от грамотности постановки и проведения эксперимента и обработки его результатов.

Формализованные методы могут быть использованы при знании законов, лежащих в основе работы исследуемых объектов и процессов. Эти методы

строятся на базе четких указаний посредством языка схем, математических формул, формально-логических отношений и алгоритмов. Главной их чертой является независимость получаемых результатов от индивидуальных черт человека.

Так как экспериментальные и формализованные методы используются человеком, то в них в той или иной степени присутствует элемент эвристики. Он может как усиливать эффективность решения благодаря творческому началу, так и привносить ошибки и искажать результаты (осознано или неосознанно) в силу субъективности.

Эвристические методы оперируют понятиями и категориями (абстрактными, отвлечёнными, конкретными). Формализованные – конкретными параметрами или их группами. Экспериментальные – физическими объектами и их характеристиками.

Использование метода позволяет найти то или иное решение. Те из них, которые будут обладать высокими характеристиками и эффективностью, часто называют *сильными решениями*.

4.1. Эвристические методы

Долгое время в основе творчества лежали методы проб и ошибок, перебора возможных вариантов, ожидания озарения [2]. Так, Эдисон провел около 50 тысяч опытов, пока разрабатывал устройство щелочного аккумулятора. Изобретатель вулканизированной резины Чарльз Гудьер смешивал сырую резину (каучук) с любым попадавшимся ему под руку веществом: солью, перцем, сахаром, песком, касторовым маслом, даже с супом – следуя великолепному логическому заключению, что, рано или поздно, он перепробует всё, что есть на земле и, наконец, наткнётся на удачное сочетание.

Однако со временем такие методы начали приходить в противоречие с темпами создания и масштабами техники. Стали вырабатываться рекомендации, позволяющие более осознано подходить к проектированию как к творческой деятельности. Наиболее интенсивно поиском новых методов занялись со второй половины XX века, посредством изучения приёмов и последовательности действий инженеров и других творческих работников.

В настоящее время практически на всех преуспевающих предприятиях, занятых созданием и производством материальной и нематериальной (программы, методики) продукции, поиск новых идей и решений ведётся с помощью тех или иных эвристических методов. А для современного инженера знание этих методов становится столь же необходимым, как умение читать и писать. Даже журналисты, художники и представители других творческих профессий, кто нуждается в оригинальных идеях, активно используют такие методы.

Основными эвристическими методами проектирования являются следующие методы: итераций или последовательных приближений, декомпозиции, контрольных вопросов, мозговой атаки, морфологического анализа, а также методы теории решения изобретательских задач (ТРИЗ).

Метод итераций (последовательного приближения).

Процесс проектирования проходит в условиях некоторой неопределенности, т.е.:

- невозможно заранее точно указать условия работы проектируемого объекта, не зная его конкретного вида и устройства (исходные данные зависят от вида конечного решения);
- невозможно получить техническое решение из-за предложенных данных, оказавшихся взаимоисключающими;
- проявление в процессе проектирования необходимости учёта дополнительных ограничений и условий, которые ранее считались несущественными;
- перераспределение по степени важности показателей качества, так как может выясниться, что показатель, ранее считавшийся второстепенным, очень важен (и наоборот).

Такая неопределенность разрешается посредством выполнения итерационных процедур, т.е. комбинацией прямых действий (при предположительном виде исходных данных или ограниченном числе учитываемых факторов) и обратного движения с возвращением к предшествующим этапам (с уточненными значениями исходных данных и перечнем факторов). Число циклов итераций зависит от степени неопределенности начальной постановки задачи, ее сложности, опыта и квалификации проектировщика. Часто начальное грубое приближение называют "нулевым", а последующие уточнения - соответственно "первым", "вторым" и т. д. приближениями.

Итерационный подход широко применяется в конструировании. Так, при разработке эскиза узла вначале детали и их расположение предполагают предположительно, затем анализируют полученную конструкцию и вносят в неё необходимые изменения (согласовываются формы и расположение поверхностей деталей, проверяется нормальное функционирование и т.д.). В процессе приближений возможно не только уточнение, но и отказ от первоначальных предположений.

В частном случае, когда нет никаких предположений по решению задачи, метод последовательных приближений можно сформулировать в виде совета: выбрать в качестве исходного решения любое известное решение (идею, схему, данные и т. д.) или предложите какое-нибудь другое решение задачи. Из него станет понятно, что нас не удовлетворяет, и что и в каком направлении надо улучшать.

Метод декомпозиции.

Любую техническую систему можно рассматривать как сложную, состоящую из отдельных взаимосвязанных подсистем, которые, в свою очередь, также могут быть расчленены на части. Такой процесс расчленения системы называется *декомпозицией*. В качестве систем могут выступать не только материальные объекты, но и процессы, явления и понятия. Декомпозиция позволяет разложить сложную задачу на ряд простых, пусть и взаимосвязанных задач.

При декомпозиции руководствуются определенными правилами.

1. Каждое расчленение образует свой уровень. Исходная система располагается на нулевом уровне. После ее расчленения получают подсистемы первого уровня. Расчленение этих подсистем или некоторых из них приводит к появлению подсистем второго уровня и т. д.

2. Система расчленяется только по одному, постоянному для всех уровней, признаку. В качестве такого признака может быть функциональное назначение частей, конструктивное устройство (материал и его термообработка, формы поверхностей и др.), структурные признаки (вид ступеней передач, способы фиксации деталей и др.). Так, например, выделение в составе прокатного стана подсистем клеть, валок, шпиндель и привод проводится в соответствии с функциональным признаком.

3. Вычленимые подсистемы в сумме должны полностью характеризовать систему, но при этом взаимно исключать друг друга. Например, если при перечислении подсистем прокатного стана пропустить, допустим, шпиндель, то функциональное взаимодействие остальных подсистем не обеспечит нормальное функционирование всей системы (прокатного стана) в целом. Недопустимо, чтобы одной из подсистем являлась сама система.

4. Глубина декомпозиции (степень подробности описания) и количество уровней определяются требованиями обзорности и удобства восприятия получаемой иерархической структуры, соответствия уровням знания работающему с ней специалисту.

Обычно в качестве элементарного уровня подсистем принимают такой, в котором их описание доступно для оценки и понятно для исполнителя (руководителя, группы людей или отдельного человека). Таким образом, иерархическая структура всегда субъективно ориентирована: для более квалифицированного специалиста она будет менее подробна.

Число уровней иерархии влияет на обзорность структуры: много уровней - трудно проследить связи между уровнями, мало уровней - возрастает число находящихся на одном уровне подсистем и сложно установить между ними связи. Обычно, в зависимости от сложности системы и требуемой глубины проработки, выделяют 3...6 уровней.

Например, разрабатывая привод, в качестве элементарного уровня можно взять зубчатые колёса, валы, подшипники, двигатель в целом. Хотя подшипники и двигатель являются сложными по устройству и трудоемки в проектировании, но как готовые покупные изделия для разработчика они выступают, в виде элементарных частей. Если бы двигатель пришлось бы разрабатывать, то его, как сложную систему, было бы целесообразно декомпозировать.

Эвристический характер построения иерархической структуры проявляется, прежде всего, в выборе числа уровней и перечня составляющих их подсистем.

При разработке технических систем декомпозиция неразрывно связана с последующей *композицией*, т.е. сборкой и увязкой отдельных частей (подсистем) в единую систему с проверкой на реализуемость, совместимость (особенно подсистем, принадлежащих разным ветвям) и согласованность параметров.

В процессе согласования может возникать потребность в новой, корректирующей декомпозиции.

Более эффективным считается совместное использование методов декомпозиции и последовательных приближений.

Метод контрольных вопросов.

Суть метода заключается в ответе на специально подобранные по содержанию и определённым образом расставленные наводящие вопросы. Вдумчиво и, по возможности, полно отвечая на них, фиксируя основные положения ответов, например на бумаге, в виде ключевых слов, схем и эскизов, удастся всесторонне представить решаемую задачу, отыскать новые пути её решения. Контрольные вопросы подобны консультанту, который в ненавязчивой форме предлагает рассмотреть проблему с разных сторон и попробовать те или иные подходы и пути ее решения.

Метод контрольных вопросов широко применяется в процессе обучения как способ развития мышления. В последнее время этот метод служит основой для ведения диалога с компьютером при работе с интеллектуальными, "думающими" программными комплексами - здесь сочетается использование обширной информационной базы и иерархического представления множества вопросов.

Применительно к проектированию варианты метода были предложены А. Осборном (1964 г., США) и Т. Эйлоартом (1969 г.; США).

В качестве примера приведем список контрольных вопросов по Т. Эйлоарту.

1. Перечислите все качества и определения предлагаемого изобретения. Измените их.

2. Ясно сформулируйте задачи, дайте новые формулировки; выделите главные и второстепенные задачи.

3. Перечислите недостатки имеющихся решений, их основные принципы, дайте новые предложения.

4. Набросайте фантастические, экономические, биологические, молекулярные и другие аналоги.

5. Постройте математическую, механическую, гидравлическую и другие модели.

6. Попробуйте различные виды материалов и энергии, состояния веществ, физические эффекты.

7. Установите варианты, зависимости, возможные связи и логические совпадения.

8. Узнайте мнение ряда неосведомленных в этом деле людей.

9. Устройте сумбурное групповое обсуждение, выслушайте все рассуждения и каждую идею без критики.

10. Попробуйте "национальные" решения: сложное китайское; всеобъемлющее немецкое, всеодолимое русское ("если нельзя, но хочется, то можно") и т. д.

11. Постоянно и везде думайте о проблеме.

12. Побродите среди стимулирующей решение обстановки (выставки, музеи, просмотр журналов и т.п.).

13. Набросайте таблицы цен, величин, типов материалов и т.д. для разных решений проблемы и ее частей.

14. Определите идеальное решение.

15. Видоизмените решение с точки зрения времени (ускорить - замедлить), пространства (большое – малое), стоимости и т. п.

16. Представьте механизм изнутри.

17. Определите альтернативные проблемы.

18. Чья это проблема? Почему его?

19. Кто придумал первый? История вопроса. Какие были ложные пути.

20. Кто решал еще эту проблему? Чего он добился?

21. Определите общепринятые граничные условия и причины их установления.

Метод мозгового штурма.

Многие согласятся с тем, что легче выбрать хорошее решение из нескольких вариантов, чем сразу предложить требуемое решение. Естественно, чем больше - вариантов, тем лучшее решение можно найти. Для отыскания большого количества идей в сжатые сроки и предназначен метод мозгового штурма (или, как его еще называют, мозговой атаки).

Метод основан на коллективном обсуждении проблемы в психологически комфортной обстановке. Он направлен на преодоление психологической инерции. Отличается простотой.

Коллективное, обсуждение, как способ решения сложных задач, было известно с древности. Но в виде самостоятельного метода со своими правилами и структурой он был предложен А. Осборном (США) в 1957 году, в развитие своих идей, появившихся в годы 2-й мировой войны.

Решение задачи включает ряд этапов:

1. Постановка задачи.

Заказчик выдаёт руководителю будущей творческой группы задание. Руководитель анализирует проблему и четко формулирует задачу (желаемые свойства, действия, последствия и т.д.).

2. Формирование творческой группы.

Замечено, что по своим способностям решать задачи людей можно разделить на две группы - генераторы идей (люди с большим воображением) и аналитики (люди практического склада мышления, способные трезво осмыслить и конкретизировать идею). Творческую группу формируют из генераторов. Численность группы - 3...8 человек: при большем числе трудно обеспечить свободное высказывание мнений каждому члену, а при меньшем - сложнее развивать предлагаемые идеи и взгляды. Как правило, основу группы составляют специалисты в области решаемой задачи. Чем шире и разнообразнее интересы и профессиональная подготовка членов группы, тем продуктивнее будет работа. Уровень образования, специальность не имеют значения, чтобы изначально преодолеть психологическую инерцию, свойственную специалистам или вызванную должностными обязанностями. Главное требование к кандидату в чле-

ны группы - богатство фантазии. Члены группы должны быть знакомы друг с другом и психологически совместимы, во время сеанса находиться в хорошем настроении и соблюдать правила игры.

3. Правила поведения во время сеанса мозговой атаки:

а) главное - высказать идею, а не думать о ее содержании и аргументации (это дело аналитиков, количество предпочтительнее качества);

б) мысли должны выражаться кратко и быстро (не более 30 с), поскольку длительное высказывание снижает активность и внимание остальных участников, а возникающие в головах идеи могут забываться;

в) запрещена любая критика идей (осуждающие реплики, усмешки, одергивания и т.п.) и все, что порождает психологические барьеры, т.к. задача каждого - поддержание атмосферы доброжелательности, что высвобождает мысль;

г) желательно развитие идей.

4. Проведение сеанса мозговой атаки.

Перед началом сеанса руководитель излагает членам группы суть задачи (это нужно, когда участники предпочитают настроиться на проблему заранее). Во время сеанса своими вопросами и замечаниями руководитель управляет ходом обсуждения, следит за соблюдением правил и регламента, поддерживает атмосферу доброжелательности и творчества, удерживает от сужения области поиска (заикливания на какой-то одной идее или направлении поиска). Продолжительность сеанса обычно составляет 1-2 часа. Высказываемые идеи должны фиксироваться, но так чтобы участники сеанса не отвлекались (например, записывая разговоры на диктофон). После сеанса возможно коллективное редактирование высказанных идей с их развитием и дополнением.

Окончательный список идей затем передается группе аналитиков для детальной оценки. При этом перед ними ставится задача не отметать сходу внешне абсурдные предложения, а пытаться найти способ их реализации, применения или улучшения.

Генерация идей возможна следующими способами:

- прямой аналогией, т.е. по сходству с аналогичным процессом или объектом из живой природы или области, знакомой члену группы (для чего и подбирают людей с широкой областью интересов); например, требуется найти способ перебраться с одного берега на другой – построим мост;
- фантастической, т.е. использование фантастических, гипотетических, вымышленных и сказочных средств и персонажей; например, попробовать использовать ковёр-самолет, сдвинуть берега;
- личностной, т.е. отождествление себя с деталями или изделием, попытка изнутри прочувствовать и увидеть, что можно улучшить или изменить, вжиться в образ; например, сделать огромный шаг, представить себя в виде моста;
- символической, т.е. в парадоксальной форме кратко сформулировать суть проблемы; например, перейти по твердой воде или воздуху.

Метод мозговой атаки применяется не только для поиска путей решения задачи, но и уточнения ее формулировки, выявления возможных недостатков

или побочных эффектов (так называемый метод обратной мозговой атаки). Например, какими недостатками обладает освещение в комнате? – Мигает, создаёт тень и т.п.

Применение метода мозговой атаки необязательно требует собирать группу людей. Им можно пользоваться и при работе наедине: важно следовать рекомендациям метода, просматривать варианты способов генерации идей, вести обсуждение с самим собой.

Метод мозговой атаки совместно с методом контрольных вопросов лежат в основе "думающих" программ для ЭВМ: компьютер выступает в качестве собеседника, активизирующего мышление, предоставляя огромное количество сведений и быстро обрабатывая информацию.

Метод морфологического анализа.

Метод предназначен для существенного расширения области поиска возможных решений задачи. Он основан на выборе частных решений (морфологических признаков, т.е. признаков, характеризующих устройство) и последующем систематизированном получении их сочетаний (комбинировании). Это первый метод, специально созданный для решения эвристических задач. Он был разработан Ф. Цвикки (Швейцария) в 1930-х годах, но практическое применение получил с 1942 г., во время его работы в США в авиастроительной фирме. Употребляются также другие названия этого метода: метод морфологического ящика, метод морфологических карт.

Морфологический анализ включает ряд этапов:

1. **Выясняется цель задачи.** Осуществляется поиск вариантов функциональных схем, либо принципов действия, либо структурных схем, либо конструктивных разновидностей разрабатываемой системы.

2. **Выделяют узловые точки (оси).** Узлы характеризуют разрабатываемую систему. Это могут быть функция, принцип работы, форма и расположение частей системы и свойства системы (состояние вещества и энергии, вид совершаемого движения и др.), характеристики (физические, химические, биологические, психологические, потребительские и др.). Удобно предварительно (допустим, из анализа аналогичной системы) построить блок-схему функционирования или принципа действия, структурную схему, элементы которых и образуют узлы. Количество узлов обычно выбирается из условия обозримости и реальности анализа, получаемых впоследствии вариантов: при ручной обработке - 4...6 узлов, при работе на ЭВМ - в пределах отведенного на решение задачи времени. Удобно решать задачу поэтапно: сначала по ограниченному числу наиболее важных узлов, а затем - для дополнительных, второстепенных или выявленных в ходе анализа и представляющих интерес новых узлов.

3. **Для каждой узловой точки предлагаются варианты решений.** Их выбирают либо, исходя из личного опыта (зависит от эрудиции), либо беря их из справочников и баз данных. Варианты должны охватывать всю область возможных решений для данной узловой точки, причем они могут быть не только реальными, но и фантастическими. Чтобы задача была обозримой, сначала выделяют укрупненные обобщенные группы вариантов, которые при необходимости впоследствии конкретизируются.

4. **Проводят полный перебор всех вариантов решений.** Варианты комбинаций проверяют на соответствие условиям задачи, на несовместимость отдельных вариантов в предлагаемой их общей группе, на реализуемость и иные условия. При необходимости для выбранных решений можно повторить морфологический анализ, конкретизируя оси (узлы) и варианты.

Морфологический анализ удобнее и нагляднее проводить с применением морфологических таблиц.

Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ).

Анализируя и обобщая разрозненные исторические и патентные материалы, Г.С. Альтшуллер [2] пришел к выводу, что совершенствование конструкции любой машины идет, главным образом, по линии устранения противоречий между совершенной и несовершенной частями конструкции. **Противоречие** - проявление несоответствия между разными требованиями, предъявляемыми человеком к системе, и ограничениями, налагаемыми на нее законами природы, социальными, юридическими, и экономическими законами, уровнем развития науки и техники, конкретными условиями применения и т.д.

Если технический объект создан, то весьма часто ставится задача увеличения его главной полезной функции (ГПФ). Для этого, как правило, требуется усилить какое-либо свойство одного из элементов этого технического объекта. Однако, при усилении одних свойств элемента нарушается взаимодействие (согласованность) с другими элементами технической системы, возникает противоречие, то есть источником противоречий является совершенствование, развитие технических объектов.

Административное противоречие. Решение любой технической задачи начинается с анализа проблемы. Результатом этого анализа является постановка и формулировка задачи, которую нужно решать.

В проблеме обычно описывается необходимость создания некоторого технического объекта (ТО) для удовлетворения определенной потребности, приводится соответствующая аргументация этой необходимости, описываются функции, которые должен выполнять этот ТО, и требования, которые к нему предъявляются.

Если есть потребность в создании продукции с определенными потребительскими свойствами, но неизвестно как ее удовлетворить, то возникает **проблемная ситуация** (ПС). **Описание ПС** - это формулирование потребностей, функций, которые нужно выполнить. Проблема заключается в том, что на этом этапе не видно путей, как реализовать выполнение этой функции.

Проблемная ситуация возникает, если нет соответствия между требованиями, предъявляемыми потребителями, и имеющимися техническими возможностями. Г.С. Альтшуллер обозначил такие проблемные ситуации административным противоречием. Этому виду противоречий соответствует изобретательская ситуация, включающая в себя целый клубок задач, из которых нужно выбрать именно ту, которую следует решать в первую очередь. Возникает вопрос, каким образом выделить первоочередную задачу среди многих? Следовательно, административные противоречия только выделяют проблему и в ряде случаев дают некоторое обоснование ее возникновения.

В первоначальной формулировке проблемы определяются некоторые потребности, функции, которые необходимо выполнить. Подход в этом случае может быть двояким:

- существенно изменить рассматриваемую систему или ее взаимодействие с надсистемой (НС) таким образом, чтобы отпала необходимость в самой этой потребности, в выполнении этой функции. В этом случае формулируется проблема по изменению НС;
- дополнить существующую техническую систему некоторым преобразованием (в виде устройства, способа и т.п.), которое позволило бы удовлетворить сформулированную потребность.

Техническое противоречие. Стремление улучшить одни характеристики продукции часто приводит к ухудшению других

В проектно-конструкторских и технологических задачах обнаруживается противоречивость многих свойств, например, точность и производительность в технологии обработки материалов; масса, надежность и стоимость; устойчивость и управляемость технических объектов и др.

Например, один из способов увеличения надежности летательных аппаратов (потребность) - создание резервных систем и агрегатов А это приводит к увеличению массы аппарата, что недопустимо, так как увеличиваются затраты на выполнение задания.

Нежелательные эффекты могут быть связаны с тем, что улучшение некоторых потребительных свойств приводит к усложнению ТО и, следовательно, к увеличению факторов расплаты.

Ситуация, когда попытки улучшить одну характеристику (или часть) системы приводит к ухудшению другой ее характеристики (или части), называется техническим противоречием (ТП).

Техническое противоречие появляется часто тогда, когда разработчик пытается каким-либо известным ему способом улучшить один из параметров качества (или функциональное свойство) объекта, но это приводит к недопустимому ухудшению другого, тоже весьма важного параметра качества (или функционального свойства).

Физическое противоречие. Для того, чтобы разрешить ТП, формулируются частные задачи, в которых предъявляются несовместимые требования к свойствам отдельных компонентов или взаимодействию между компонентами рассматриваемого объекта. Г.С. Альтшуллер отмечал: "Стремясь убрать конфликтующие, противоречивые отношения между внешними сторонами технической системы, получим противоречие на уровне внутреннего функционирования системы. Такое противоречие, в отличие от технического, называется физическим противоречием (ФП).

В физических противоречиях требования, которые предъявляются к объекту, могут являться следствием различных целей, которые ставит перед собой конструктор-проектировщик. Эти разные цели и приводят к необходимости реализации в техническом объекте несовместимых свойств (С и анти-С).

Кроме того, физические противоречия могут быть связаны с тем, что требуемое свойство не представляется возможным реализовать, так как этому ме-

шает проявление объективных законов природы. То есть научное основание наблюдаемого явления (которое является нежелательным) не согласуется с требованиями, которые предъявляются к рассматриваемому объекту.

Как удовлетворить противоречащие свойства? Например, разделить свойство С и свойство анти-С в пространстве. Практическая реализация этого приема заключается в том, чтобы разнести в пространстве противоречащие свойства, которыми должен обладать рассматриваемый объект. Формулирование ФП раскрывает еще два важных аспекта решаемой задачи. Дает возможность выявить оперативную зону и оперативное время.

Оперативная зона (ОЗ) - это пространство, в пределах которого возникает конфликт.

Оперативное время (ОВ) - это момент времени, когда конфликт возникает, а также время до появления конфликта, когда в ТО происходят процессы, подготавливающие этот конфликт.

Определение оперативной зоны и оперативного времени позволяет конкретизировать поставленную задачу.

Таким образом, административные (АП), технические (ТП) и физические (ФП) противоречия - это модели задач.

Административные и технические противоречия носят содержательный характер, а по форме они представляют собой описание проблемной ситуации.

Административные противоречия только формулируют проблему в терминах: цель, потребность, функция, нежелательные эффекты.

В ТП противоречие связано с функционированием ТО в целом при выполнении им главной полезной функции (ГПФ). В нем определяется изменяемый параметр, который существенным образом влияет на функциональные свойства технического объекта. Формулировка ТП позволяет обозначить направления решения проблемы.

В ФП, как правило, речь идет о компонентах ТО и их взаимодействиях. В отличие от АП и ТП в физическом противоречии формулируются требования, приводящие к несовместимым свойствам, которыми должен обладать объект. Раскрывая суть конфликта, формулировка ФП обладает эвристической ценностью и позволяет наметить приемы поиска решения задачи.

Условным критерием для анализа полученного результата в ТРИЗ принимается «идеальная машина». Конструктор в своих исканиях старается как можно ближе подойти к этому эталону. Этим он сужает поле поиска, выделяя его из пучка векторов, беспорядочно направляемых в разные стороны, как это имеет место при методе проб и ошибок.

Итак, при проектировании необходимо ориентироваться на ИКР (идеальный конечный вариант), недостижимый в практике. Цель проектирования – максимальное приближение к ИКР. Для приближения к ИКР необходимо максимально использовать имеющиеся вещественно – полевые ресурсы (ВПР). Максимальное использование ВПР для максимального приближения к ИКР – формула проектирования.

В процессе проектирования Альтшуллер Г.С. предлагает учитывать законы развития технических систем:

1. Развитие РТС идет в сторону увеличения управляемости (вепольности):

1.1. Невепольная система превращается в полную вепольную;

1.2. Простые веполи переходят в сложные;

1.3. Увеличивается количество управляемых связей;

1.4. Мобилизация вещественно- полевых ресурсов;

1.5. В веполи вводятся вещества и поля, позволяющие без существенного усложнения реализовать новые физические эффекты.

Развитие идет в сторону увеличения степени дробления рабочих органов. Типичен переход от РО на макроуровне к РО на микроуровне.

2. Закон перехода:

2.1. Исчерпав ресурсы развития, система объединяется с другой, образуя более сложную.

Если эффективность функционирования взаимодействующей системы невозможно повысить путем усиления или форсирования, то это можно сделать путем объединения системы с одной или несколькими другими системами, как однородными, так и разнородными по структуре.

Закон перехода в надсистему формулируется следующим образом: исчерпав ресурсы развития, система объединяется с другой системой, образуя новую, более сложную систему. Механизм такого перехода состоит в объединении двух исходных систем, при этом получают бисистему, или нескольких систем с получением полисистемы. Переход "моно-би-поли" - неизбежный этап в развитии всех технических систем. Дальнейшее развитие би- и полисистем происходит в двух направлениях:

1. Эффективность новых систем может быть повышена увеличением различия между элементами системы. Движение идет от однородных элементов (пачка одинаковых карандашей) к элементам со сдвинутыми характеристиками (набор цветных карандашей), к альтернативным элементам (карандаш и авторучка); к разнородным элементам (карандаш с циркулем), а затем - к инверсным (карандаш с резинкой).

2. Эффективность новых систем повышается развитием связей между элементами. Связь элементов изменяется от "нулевой", т.е. без вещественных связей между элементами, до усиленных межэлементарных (жестких) связей.

Кроме того, при объединении систем может происходить дальнейшее их развитие по линии упрощения. В результате возможны следующие варианты:

1. Система состоит из практически самостоятельных, несвязанных элементов, не изменяющихся при объединении.

2. Система состоит из частично изменяемых, согласованных между собой элементов, которые функционируют только вместе и только для в данной системе. Например, отдельные радиоэлементы в микросхеме. Такая система получила название полностью свернутой системы.

3. Полностью свернутую систему можно представить как новую моносистему. Ее дальнейшее развитие связано с движением по новому витку спирали. Иногда в качестве новой моносистемы может выступать частично свернутая система.

В соответствии с законами развития технических систем и психологических аспектов творчества в основу этих методов технического творчества была заложена система правил и рекомендаций по обработке задачи и организации мышления, направленные на нахождение решений от третьего до пятого уровней. Разработанный Альтшуллером Г.С. алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ) включает в себя несколько частей, в которых последовательно по шагам предлагаются конкретные действия на преобразование задачи.

4.2. Экспериментальные методы

Эксперименты в основном проводятся со следующими целями.

1) Определение закономерностей и характеристик, присущих исследуемому объекту (например, зависимость удлинения детали при ее нагреве), и определение действительных значений его параметров (например, физико-механические свойства используемого материала, степень устойчивости против коррозии и т. п.). Эта деятельность связана с исследованиями, поиском нового и неизвестного.

2) Сбор данных, содержащих достаточные сведения для подтверждения правильности гипотез или ранее принятых технических решений (определение фактических технических характеристик, их соответствие заданным показателям качества, проверка технологических решений и т. д.). Такие работы связаны с проведением испытаний, т.е. практической проверкой теорий и предположений.

3) Поиск новых проектно-конструкторских решений посредством натурального моделирования и экспериментирования. В силу дороговизны и трудоемкости такие работы ведутся очень редко, но в некоторых ситуациях это может быть единственно приемлемым способом решения задачи.

Экспериментальные данные получают посредством измерений, анализов, диагностированием, фиксацией событий (отказы, повреждения) и другими способами. Исследуемые характеристики изделий либо экспериментально оцениваются (задача - получение качественных или количественных оценок), либо контролируются (задача - установление соответствия реальных характеристик требуемым характеристикам).

Испытания проводятся в естественных или искусственно созданных (моделируемых) условиях, или же в условиях, обусловленных функционированием самого изделия (например, внутренний нагрев вследствие трения). Для имитации условий используют следующие виды воздействия: механические, термические, электрические, химические и др.

В зависимости от целей возможно проведение следующих видов испытаний:

- *определяющие* - уточняют значения характеристик изделия;
- *контрольные* - уточняют качество изделия;
- *сравнительные* - проводят для сравнения в идентичных условиях характеристик аналогичных или одинаковых объектов;
- *исследовательские* - изучают и уточняют свойства изделия.

В зависимости от степени соответствия реальным условиям испытания подразделяются на следующие виды:

- *лабораторные* – изучается работа отдельных узлов и деталей, макетов и образцов;

- *стендовые (заводские)* – проводятся на испытательном оборудовании, проверяется взаимодействие механизмов и отдельных узлов, выявляются дефекты, замеряются основные характеристики;

- *полигонные* – опробование изделия в рабочих условиях под полной нагрузкой с различными вариантами режимов работы и условий с целью уточнения фактических характеристик;

- *натурные* – испытывается реальное изделие в условиях его прямого назначения с непосредственной оценкой реальных свойств;

- *эксплуатационные* – проводятся в условиях непосредственной эксплуатации серийно (промышленно) выпускаемого изделия, собираются статистические данные, выявляются скрытые дефекты и дополнительные возможности.

4.3. Формализованные методы

Формализованные методы - наиболее исследованная область человеческой деятельности. Они являются основой создаваемых САПР.

Применение формализованных методов подразумевает использование расчетных зависимостей и компьютерных программ. Это могут быть специальные или типовые зависимости и программы, нормативные (предписанные стандартами) методы расчетов. Они предназначаются для получения численных результатов, характеризующих проектное решение.

Область применения формализованных методов постоянно расширяется. Это объясняется тем, что они позволяют:

- построить прогноз поведения технической системы или процесса во времени и в пространстве;
- сравнительно быстро и дешево найти (рассчитать) несколько вариантов решений, что служит основой для выбора лучшего и, следовательно, конкурентоспособного изделия;
- определять параметры на ранних этапах проектных работ, когда вид создаваемых объектов или их макетов еще точно не известен;
- поставить "чистый" эксперимент, т.е. исследовать зависимость свойств и характеристик от одних параметров при отсутствии влияния других параметров;
- автоматизировать проектирование.

Наличие в проектной деятельности формализованных процедур и широкое распространение компьютеров позволили разрешить противоречие между возрастающей сложностью технических систем и требованием к сокращению времени проектирования за счет разработки САПР, которые состоят из комплекса технических средств (компьютер, принтер) и программного обеспече-

ния, включающего программы графического моделирования, прикладные расчетные программы, базы данных и т.д.

4.4. Конструктивный подход к созданию машин

В отличие от эвристических методов методами конструирования новое решение получают, как правило, усовершенствованием уже существующих конструкций машин и оборудования [9, 10]. На практике эвристические методы позволяют найти оригинальное техническое решение примерно в 10% решаемых задач. Новое решение обычно получают путем внесения изменений в уже существующую конструкцию, применяя методы конструирования, к которым относятся конструктивная преемственность, унификация, стандартизация, агрегатирование, модифицирование, инверсия и другие [9, 11].

Конструктивная преемственность – это продолжение использования в новом изделии элементов еще выпускающегося или уже выпускавшегося изделия с сохранением прежней технологии их производства. Преемственность значительно сокращает сроки и затраты на конструирование, на технологическую подготовку производства и проведение испытаний новой конструкции, повышает её надежность (благодаря применению уже проверенных в эксплуатации частей). Она особенно эффективна при выпуске продукции, требующей специальной технологической подготовки, т.е. изготовления нового специального инструмента и приспособлений, наладки оборудования. Преемственность позволяет постепенно, без больших затрат перейти на выпуск новой сложной продукции.

Разновидностью преемственности является использование в разрабатываемом изделии готовых покупных элементов. Это существенно снижает требования к необходимым для его выпуска ресурсам, но усиливает зависимость от производителя этих элементов. Целесообразность применения готовых элементов подтверждается сравнением затрат на покупку нужных элементов с затратами на организацию их производства собственными силами.

Конструктивная преемственность предполагает использование при проектировании предшествующего опыта машиностроения данного профиля и смежных отраслей, введение в проектируемые конструкции машин и оборудования всего полезного, что есть в настоящее время. Почти каждая современная машина представляет итог работы конструкторов нескольких поколений. Начальную модель машины постепенно совершенствуют, снабжают новыми деталями, узлами и агрегатами, обогащают новыми конструктивными решениями, являющимися плодом творческих усилий и изобретательности конструктора.

Конструктивная преемственность предусматривает постепенное совершенствование конструкции путем введения в нее отдельных новых или дополнительных деталей, узлов агрегатов взамен морально устаревших и не удовлетворяющих современным требованиям или с целью изменения прежних характеристик изделия.

При конструировании широко используются основные эвристические методы. Так, для поиска слабых мест в конструкции эффективно применять метод иерархической декомпозиции, расчлняя изделие на как можно более простые или элементарные части и отыскивая те, с которыми связана неудовлетворительная работа всего изделия. Чем элементарнее будет заменяемая часть, тем проще и быстрее будет создана более совершенная конструкция: меньше времени уйдет на разработку, не понадобится существенно переналаживать технологический процесс. При этом необходимо выполнять проверку на состыковку новой части с остальными частями изделия (по геометрическим размерам и формам сопрягаемых поверхностей; усилиям взаимодействия и передаваемой мощности и других входных и выходных параметров). Необходимо обращать внимание на то, чтобы согласование размеров, создание специальных условий и т.д. не усложняло технологию изготовления и сборки соседних взаимодействующих частей. «Конструктор должен смотреть вперед, оглядываться назад и озираться по сторонам» [2].

Метод конструктивной преемственности не означает ограничения творческой инициативы. Проектирование, усовершенствование и оптимизация машин и оборудования представляет огромное поле деятельности для конструктора.

Унификация состоит в многократном применении в конструкции одних и тех же элементов, что способствует сокращению номенклатуры деталей и уменьшению стоимости изготовления, упрощению технического обслуживания и ремонта машин.

Унификация конструктивных элементов позволяет сократить номенклатуру обрабатывающего, мерительного и монтажного инструмента. Унификации в первую очередь подлежат посадочные соединения (по номинальным размерам, типу посадок и качеству), резьбы (по диаметру, шагу и качеству), шлицевые и шпоночные соединения, крепежные детали и т. д. Целесообразно сокращать номенклатуру материалов, видов операций, гальванических покрытий, типы сварки, форму сварных швов и др. Унификация оригинальных деталей узлов может быть внутренней (в пределах данного изделия) и внешней (заимствование деталей с других машин данного или смежного производства). Большую экономию дает заимствование деталей машин, изготавливаемых в серийном или массовом производстве.

Унификация марок и сортамента материалов, типоразмеров крепежных деталей, подшипников, муфт и других стандартных деталей и узлов облегчает снабжение завода-изготовителя и ремонтных предприятий материалами, стандартными покупными изделиями.

Агрегатирование заключается в создании машин путем сочетания унифицированных агрегатов, представляющих собой автономные узлы (сборочные единицы), устанавливаемые в различных сочетаниях и комбинациях на общем основании.

Для удобства сочленения комбинируемые агрегаты обладают полной взаимозаменяемостью по присоединительным размерам.

Основные преимущества агрегатирования: сокращение сроков и стоимости проектирования и изготовления машин, упрощение обслуживания и ремонта, возможность переналадки для выполнения разнообразных технологических операций.

Частичным агрегатированием является использование стандартизированных узлов и агрегатов из числа серийно выпускаемых промышленностью (редукторы, насосы, компрессоры, коробки скоростей, механизмы переключения муфт и т.д.).

Целесообразно конструировать узлы в виде независимых агрегатов, отдельно собираемых, регулируемых, подвергаемых обкатке, контрольным испытаниям и устанавливаемых в отработанном виде на машину. Последовательно проведенное агрегатирование позволяет осуществить параллельную и независимую сборку узлов машины, упрощает монтаж, ускоряет доводку опытных образцов, облегчает использование на новых машинах отработанных и проверенных в эксплуатации конструкций и упрощает ремонт, позволяя комплектно заменить износившиеся узлы новыми. Агрегатирование иногда усложняет конструкцию, но в конечном счете всегда дает большой выигрыш в общей стоимости изготовления машин, надежности и удобстве эксплуатации.

Модифицированием называют переделку конструкции машин с целью приспособления их к иным условиям работы, операциям и видам выпускаемой продукции без изменения основной конструкции. Иногда в понятие модифицирования вкладывают смысл модернизации машины с целью улучшения ее показателей.

Модифицирование машины для работы в различных климатических условиях сводится преимущественно к замене материалов. Например, в машинах, работающих в условиях жаркого и влажного климата (машины тропического исполнения), применяют коррозионно-стойкие материалы; в машинах, эксплуатируемых в областях с суровым климатом (машины арктического исполнения), - хладостойкие материалы и системы смазки.

Модифицирование транспортных машин (автомобильный и авиационный транспорт) заключается во всемерном облегчении машины путем замены тяжелых сплавов (чугун, сталь) легкими (алюминиевые и титановые сплавы).

Стандартизация обеспечивает создание конструкции, а также её последующее совершенствование на основе применения стандартных деталей, узлов и агрегатов, а также элементов со стандартными параметрами. Это позволяет, несмотря на сложность стандартных элементов, использовать уже разработанную техническую документацию, покупные изделия (электродвигатели, подшипники качения и др.), применять типовые технологические операции, упрощает эксплуатацию и ремонт.

Стандартизация ускоряет проектирование, облегчает изготовление и при целесообразной конструкции стандартных элементов способствует повышению надежности машин.

Однако применение стандартов не должно стеснять творческую инициативу конструктора и препятствовать поискам новых, более рациональных конструктивных решений. При конструировании машин не следует останавливать-

ся перед применением новых решений в областях, охватываемых стандартами, если эти решения имеют преимущество.

Метод инверсии – решение задачи конструирования путем изменения функций, форм и положения деталей.

В ряде случаев бывает полезным поменять детали ролями, например, ведущую деталь сделать ведомой, неподвижную – подвижной, направляющую – направляемой, охватывающую – охватываемой, пружину растяжения – пружиной сжатия. Иногда целесообразно инвертировать формы деталей, например, наружный конус заменить внутренним конусом, выпуклую сферическую поверхность – вогнутой. В некоторых случаях оказывается выгодным переместить конструктивные элементы с одной детали на другую, например, шпонку с вала на ступицу. Всякий раз конструкция при этом приобретает новые свойства.

Дело конструктора – взвесить преимущества и недостатки исходного и инвертированного вариантов с учетом надежности, технологичности, удобства эксплуатации и выбрать наилучший из них. У конструктора метод инвертирования является неотъемлемым инструментом мышления и значительно облегчает процесс поиска решений, в результате которых рождается рациональная конструкция.

Практика показывает, что создание новых машин требуется нестандартного подхода, широкого видения развития проектируемого объекта как во временном интервале так и в рамках системы, активного использования объективных закономерностей развития технических систем. В этой связи, при создании новых машин, проектировании узлов, и прочих технических систем наиболее эффективными, на наш взгляд, являются разработки, выполненные Г.С. Альтшуллером. В последующих разделах мы более подробно рассмотрим примеры проработки новых технических решений с использованием ТРИЗ [2].

5. ТЕОРИЯ РЕШЕНИЯ ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКИХ ЗАДАЧ

5.1. Основные этапы развития технических систем

Технические системы, как и любые другие, не вечны [2]: они возникают, переживают периоды становления, расцвета, упадка и, в конце концов, сменяются другими системами. Типичная история жизни технической системы показана на рис. 8,а, где на оси абсцисс отложено время, а на оси ординат – один из главных показателей системы (производительность конвейера, грузоподъемность крана, число выпущенных экскаваторов и т. д.). Возникнув, техническая система не сразу находит массовое применение: идет период обрастания системы вспомогательными изобретениями, делающими новый принцип практически осуществимым. Быстрый рост начинается только с точки 1. Далее система энергично развивается, ассимилируя множество частных усовершенствований, но сохраняя неизменным общий принцип. С какого-то момента (точка 2) темпы развития замедляются.

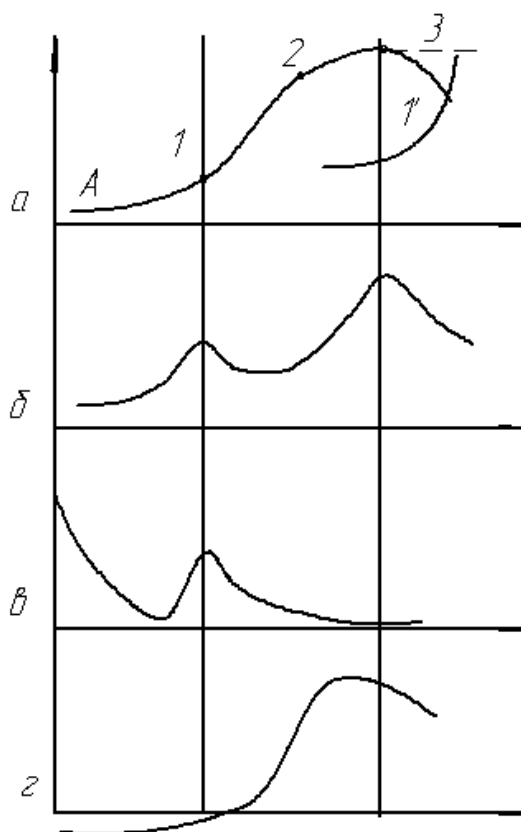


Рис.8. Этапы развития ТС

Обычно это происходит после возникновения и обострения противоречий между данной системой и другими системами или внешней средой. Некоторое время система продолжает развиваться, но темпы развития падают, система приближается к точке 3, за которой исчерпывают себя физические принципы, положенные в основу системы. В дальнейшем система остается без изменений (велосипед за последние полвека) или быстро регрессирует (газовое освещение после появления электрического). На смену системе А приходит система Б. При этом абсцисса точки 1' системы Б обычно близка к абсциссе точки 3 системы А. Теоретически систему Б нужно бы развивать значительно раньше — так, чтобы точка 1' совпадала с точкой 2, но на практике это происходит лишь в очень редких случаях. Старая система А оттягивает силы и средства, при этом: мощная инерция финансовых интересов и узкопрофессиональных представлений. Разумеется, новая система, в конечном счете, неодолима, но она блокируется старой системой, и эта блокировка преодолевается лишь после того, как старая система одряхлеет и вступит в резкий конфликт с внешней средой.

На рис. 8,б показано изменение количества изобретений на разных этапах развития системы. Первый пик связан с переходом к массовому применению системы, второй – с попытками любыми средствами продлить жизнь одрях-

левшей системы. На рис. 8,в показаны наивысшие уровни изобретений на разных этапах жизни системы: рождение системы связано с одним или несколькими изобретениями пятого уровня, затем число изобретений снижается, но в районе точки 1 наблюдается некоторый пик — изобретения, позволяющие перейти к массовому применению системы, нередко достигают третьего–четвертого уровней. После этого уровень изобретений вновь падает — и на этот раз необратимо.

Некрупные изобретения нужны на начальном этапе становления технической системы (до точки 1): они позволяют перейти от схемы к реальной вещи. Небольшие изобретения необходимы и на этапе зрелости системы (между точками 1 и 2), но основная масса мелких изобретений относится к старым техническим системам (от точки 2 до точки 3) и далее. Массовая инъекция таких изобретений призвана искусственно продлить рост и жизнь устаревших по своим принципам систем.

Смена систем могла бы идти в быстром темпе: при приближении системы А к точке 2 мог бы происходить переход к системе Б, заранее развитой до состояния 1'. В отдельных случаях так и бывает. Например, реактивные самолеты (система Б) почти без потерь времени сменили самолеты с поршневыми двигателями (система А). Однако в подавляющем большинстве случаев жизнь систем стремятся продолжить и после прохождения точки 2. Это выгодно тем, кто вкладывал средства в эти системы и рассчитывает на получение прибыли. Себестоимость перевозки нефти на танкере водоизмещением в 540 тыс. т на 56% ниже, чем на танкере в 80 тыс. т. Инженерные силы направлены не на поиск новых принципов транспортирования нефти, а на разработку усовершенствований, позволяющих строить и эксплуатировать супертанкеры все более громадных размеров. Поток небольших усовершенствований на них неуклонно увеличивается, но эти изобретения не способны обеспечить безопасность движения супертанкеров и предотвратить загрязнение мирового океана.

На рис. 8,г показано изменение средней эффективности одного изобретения, т. е. размер даваемой им экономии. Великие изобретения пятого уровня и первые, крупные и средние изобретения, превращающие новый принцип в отрасль техники, не дают прибыли, они убыточны. Прибыль появляется потом, когда новая машина находит массовое применение. Тогда любая мелочь дает большую экономию и, следовательно, большое авторское вознаграждение (если оплата производится в зависимости от величины экономии). Например, сотрудники Института электросварки им. Е.О. Патона заменили пайку бокового вывода к цоколю лампы автоматизированной сваркой. Экономится лишь капля припоя. Замена пайки сваркой давно стала типовым приемом. Как максимум, это изобретение не второго уровня, а скорее всего изобретение первого уровня или даже обычная технологическая разработка. Но, учитывая массовое производство ламп, экономия в целом составляет около миллиона рублей в год, авторы могут рассчитывать на большое вознаграждение, хотя лампа осталась все той же старой, ненадежной и неэкономичной системой.

5.2. Структура ТРИЗ

В теорию решения изобретательских задач органически входят ряд составляющих [2], которые сами по себе представляют разделы, описывающие все этапы зарождения технической системы и её развития. Основой ТРИЗ является системный подход. Системное рассмотрение любого объекта предполагает учитывать его системные свойства, видеть в совокупности элементов некую взаимосвязанную структуру, предназначенную для выполнения определенных целей функционирования. Это является первой и наиболее важной особенностью ТРИЗ, во многом, кстати, определяющую его эффективность.

Другой особенностью ТРИЗ является то, что в ТРИЗ используется довольно мощное оружие – это системная оптимизация. Системная оптимизация предполагает выход на идеальную техническую систему, обладающую всеми теми нужными качествами, что и реальная система, но не имеющую затратных атрибутов с точки зрения материалов, денежных затрат, пространственных и временных ресурсов и т.д. В ТРИЗ идеальной технической системой является ИКР, т.е. идеальный конечный результат. Его определение в процессе поиска решения позволяет сориентироваться на наиболее эффективный возможный вариант решения, определить цель поиска, выработать критерии находимого решения. К реализации ИКР часто приходится идти посредством свертывания технической системы так, чтобы один и тот же элемент выполнял не одну, а параллельно несколько необходимых нам функций. Определяются конкретные пути такого свертывания.

Следующей важной особенностью ТРИЗ является введение модели минимальной технической системы – **веполя**. Моделирование на нем позволяет, зачастую, абстрагируясь от конкретной технической системы, производить поиск возможных решений на основе определенных правил по преобразованию и развитию веполей.



Рис. 9. Структура ТРИЗ

На основе правил по преобразованию и развитию веполей в ТРИЗ разработана система стандартов, представляющая собой совокупность теоретических рекомендаций и практических примеров по решению сложных технических задач, защищенных патентами и авторскими свидетельствами. Её использование позволяет сравнительно быстро определить тип или вид решаемой задачи и выйти на конкретный пункт рекомендованного преобразования. Система стандартов – это следующая важная составляющая ТРИЗ.И, наконец, скелетом, на котором строится ТРИЗ, являются законы развития технических систем (ЗРТС). Их существование, вообще-то, и определило появление ТРИЗ. Если бы не было объективных законов развития, то не могла появиться и теория, позволяющая строить прогноз совершенствования технических систем, прогнозировать пути их дальнейшего улучшения.

В целом ТРИЗ представляет собой цельную теорию, позволяющую исследовать различные этапы жизни технических систем: зарождение, этап становления и совершенствования технической системы, её упадка и замены ее на более новую и прогрессивную ТС. Теория решения изобретательских задач позволяет оценить заранее возможности возникновения новых прогрессивных ТС и установить основные механизмы их реализации.

5.3. Постановка задачи. Производственная ситуация

Обычно задача, с которой мы сталкиваемся на производстве, в быту или еще где-то, не имеет явно выраженный "задачный" вид. В сущности, мы имеем не задачу, а некую проблему или проблемную ситуацию. А задачу, как правило, из этой проблемной ситуации надо ещё вычлениить. И сделать это не так просто. Дело в том, что технические устройства, объекты, с которыми мы имеем дело, не существуют отдельно, сами по себе, а входят некими составляющими в другие более крупные системы. Те же, в свою очередь, являются составляющими еще более обширных систем. Мало того, и сам объект, который находится в нашем рассмотрении, состоит из целого ряда входящих друг в друга систем.

Мир, окружающий нас, системен. Это одно из основных его свойств. Мир техники также подчиняется законам объективного мира. И он тоже системен. При этом связи между отдельными подуровнями этих систем в технике зачастую более жесткие, чем в природе. Поэтому любые вносимые нами изменения, касающиеся отдельных элементов подсистем, непосредственным образом сказываются на других подсистемах и системах, влияя на характер их взаимодействия и условия работы. Большей частью эти изменения неблагоприятны, ведут к дополнительным затратам ресурсов, ухудшают условия работы многих систем и т.д. Но всегда существуют и такие, которые при минимальном воздействии на какой-либо элемент системы приводят к эффективному разрешению целого ряда задач, устраняют стоящие перед нами проблемы и повышают эффективность работы всей нашей системы.

Проблема заключается в том, чтобы отыскать это наиболее тонкое звено, связывающее воедино весь клубок проблем, определить тот ключевой элемент,

посредством которого задача наша разрешается наиболее эффективным способом.

ТРИЗ рекомендует в качестве объекта рассмотрения брать тот, который не требует коренной перестройки или требует минимальных усилий в его преобразовании! При решении задачи у нас, как правило, две альтернативы. Первая предполагает все изменить кардинальным образом и так, чтобы требование, стоящее в условии задачи, было максимально удовлетворено.

Другая альтернатива заключается в том, чтобы при минимальных изменениях в системе получить повышение эффективности работы нашей системы.

По какому пути пойти? Первый путь ведет к изобретению самого высокого уровня, но для его реализации требуется затратить огромные усилия и многие годы.

Другой путь менее драматичен, хотя и он дает возможности получать решения высокого (по крайней мере, третьего уровня). Поэтому возможно лучше идти именно этим путем.

В этом случае мы нашу проблемную ситуацию преобразовываем в задачу следующим правилом: техническая система не изменяется или изменяется, но не сильно, а мы с вами должны получить требуемое качество, свойство и т.д.

5.4. Классификация изобретательских задач

Совершенствование существующих систем осуществляется путем количественного изменения их параметров с помощью традиционных методов конструирования. Это конструкторские задачи. Создание принципиально новой техники достигается путем качественного скачка соответствующих параметров. Это изобретательские задачи. Изобретательские задачи, в зависимости от поставленной цели, можно разделить на четыре типа:

1. Задачи на синтез новой технической системы.
2. Задачи на нейтрализацию вредных воздействий и факторов.
3. Задачи на повышение эффективности и управляемости существующих технических систем.
4. Задачи на обнаружение или измерение каких-либо параметров.

К последнему типу задач относится, например, задача 5, рассмотренная нами в разд. 2. Напомним, что в ней необходимо измерить давление газа в герметичной стеклянной колбе. Чтобы лампа оставалась лампой, а не грудой осколков, мы не должны нарушать ее целостность. Но чтобы замерить давление газа, необходимо иметь доступ к нему, т.е. нарушить целостность. Имеем «или, или...». Что выбрать? Или иметь лампы и не знать давления газа в них, или знать давление газа, но не иметь ламп. Если бы условие задачи разрешало разбивать каждую, например, 1000 лампу, то имеющийся кризис, кажется, легко преодолим. Правда, чем точнее требуется определить давление, тем меньше должно остаться ламп. Противоречие осталось! Такое решение не будет изобретательским. Решение будет на уровне изобретения, если будет разрешено заложенное в задаче противоречие. Должны быть сохранены все лампы и должно

быть замерено давление газа в каждой лампе. То есть от «или..., или...» необходимо перейти к «и..., и...».

5.5. Виды противоречий в задачах

Итак, любая изобретательская задача содержит противоречие. В зависимости от глубины рассмотрения задачи, противоречия формулируются тем или иным образом. В практике изобретательства различают три вида противоречий: административные, технические, физические [2].

Административное противоречие возникает в результате несоответствия имеющихся технических систем различным требованиям, обусловленным неясностью технической ситуации, т.е. необходимо что-то получить, но каким путем – неизвестно. Например, необходимо повысить производительность станка, но что для этого нужно сделать – неизвестно (увеличить мощность привода, совершенствовать кинематику станка или заняться режущим инструментом), Административное противоречие преодолевается уточнением ситуации и переводом ее в задачу путем анализа системы, надсистемы, подсистемы. Это дает возможность увидеть начало возникновения нежелательного эффекта. Причем анализ проводится применительно к конкретной ситуации с учетом экономических, организационных, хозяйственных и прочих потребностей. Разрешение административного противоречия заканчивается выбором максимальной задачи. Для устранения психологического барьера формулирование задачи должно производиться с использованием простых и понятных слов; без применения узкоспециализированных терминов. При этом слова должны отражать функцию объекта (что он делает), а не его конструктивные особенности. Например, гаситель колебаний, а не гидродемпфер, воздуходувка, а не вентилятор и т.п. Попытка найти решение сразу же после выбора и формулирования задачи чаще всего приводит к новому противоречию – техническому.

Техническое противоречие возникает между частями и параметрами технической системы при попытке их изменения и сопровождается резким ухудшением какого-либо узла или параметра системы при улучшении другого. Например, требуется улучшить (ускорить) теплообменные процессы в цементной печи. Для этого в нее дополнительно навешивается ряд цепей. Но при этом резко увеличивается сопротивление горячему газу – основному теплоносителю, и производительность печи падает [2].

Разрешение технических противоречий возможно путем применения типовых приемов. Однако при решении сложных задач такой путь не всегда эффективен, поэтому необходимо выявлять физическую суть технического противоречия.

Анализ причин технического противоречия приводит к выявлению конфликтной ситуации в одной из частей технической системы. В этой части определяют одну зону, к физическому состоянию которой предъявляются взаимоположенные требования (физическое противоречие). Например, быть одновременно горячим и холодным, прозрачным и непрозрачным и т.п.

Выявление физического противоречия позволяет увидеть суть происходящих физических явлений с диалектической точки зрения и с этих позиций применить имеющиеся знания законов природы. Многообразие физических противоречий разрешается ограниченным числом принципов [2], причем каждый принцип (приложение 1) включает в себя необходимость применения конкретных физико—химических эффектов и явлений (рис. 10).

Например, выявлено физическое противоречие, при котором один и тот же элемент (деталь) машины должен быть магнитным и немагнитным. Для разрешения этого противоречия применим принцип – разнести требования во времени, т.е. в одно время деталь должна обладать ферромагнитными свойствами, в другое – деталь не должна их иметь. Применяемый физический эффект – переход через точку Кюри, т.е. потеря ферромагнитных свойств детали при нагреве. Решение – деталь или ее элемент в нужный момент нагревается (любым известным способом) и теряет свои магнитные свойства, остывая – вновь их приобретает. Конкретное применение этого решения – захват робота для переноски магнитов, выполненный в виде стальной пластины, снабженной электронагревателем [2].

Работа над изобретательской задачей состоит в ее поэтапном переформулировании, в превращении неясной технической ситуации в микрозадачу с предельно обнаженным физическим противоречием [19].

Задача 6. При полировании стекол предложено для лучшего охлаждения стекла в полировальнике сделать каналы для подвода воды. Но в результате уменьшилась производительность. Как быть?

В этой задаче к одному и тому же элементу предъявляются противоположные требования. Так формулируется физическое противоречие (ФП). Полировальник должен быть целым, чтобы хорошо полировать, и должен быть «дырчатым», чтобы хорошо охлаждать. Используя рис. 10, выбираем один из принципов разрешения физического противоречия, на основании которого и строится решение.



Рис. 10. Принципы разрешения физических противоречий

5.6. Изобретательские ситуации

Под изобретательской ситуацией понимают исходную неопределенную формулировку любой производственной проблемы. Она включает описание ТС, недостаток или нежелательное действие и административное противоречие.

Трудности, возникающие при разрешении изобретательской ситуации, обусловлены системной природой техники. Всякое изменение объекта через взаимные связи сказывается на других объектах: на надсистему, в которую входит данный объект, и на подсистемы, из которых он состоит. Влияние это, чаще всего, нежелательное.

Итак, изобретательской ситуации сопутствует группа ТП. Повышение эффективности решения проблемы на данном этапе определяется переходом от ситуации к четко поставленной задаче.

ИЗОБРЕТАТЕЛЬСКАЯ СИТУАЦИЯ. На заводе железобетонных изделий при изготовлении предварительно напряженных железобетонных плит используют гидродомкраты. Их применяют для растяжения арматуры перед

закладкой ее бетоном. Невысокая надежность гидросистемы, утечка масла и связанное с этим загрязнение рабочего места отрицательно влияют на работу всего участка. Ваши предложения!

5.7. Формулировка мини-задачи

Изобретательскую ситуацию можно перевести либо в максимальную, либо в минимальную задачу.

Формулировка максимальной задачи не содержит ограничений на изменение ТС. Более того, возможно применение принципиально новой ТС для реализации поставленной цели. Для вышеуказанной изобретательской ситуации использование электрического поля для получения предварительно напряженных железобетонных изделий будет являться максимальной задачей.

При решении мини-задачи результат необходимо получить при минимальных изменениях имеющейся системы. В формулировке появляются дополнительные ограничения, которые порой трудно преодолеть. Введение их значит, что результат должен быть получен «без ничего» – ориентирует на обострение конфликта, отрезает пути к компромиссным решениям.

Для формулировки мини задачи составляют ТП-1, записывая одно состояние элемента системы и поясняя, что при этом хорошо, и что плохо. Затем записывают противоположное состояние того же элемента с пояснениями – ТП-2. Узкоспециализированные термины для гашения психологической инерции заменяют простыми словами, отражающими функцию объекта, а не его конструктивные особенности.

5.8. Анализ мини-задачи

Техническое противоречие возникает между частями и параметрами технической системы при попытке их изменения и сопровождается резким ухудшением какого-либо узла или параметра системы при улучшении другого. К частям ТС относят не только технические элементы, но и природные, взаимодействующие с техническими. При анализе задачи стремятся определить те элементы, которые порождают противоречия. В общем виде это «изделие» и «инструмент».

Изделием называют тот элемент, который по условию задачи требуется преобразовать.

Инструмент – элемент, с которым непосредственно взаимодействует изделие (фреза, а не станок, огонь, а не горелка и т.п.).

Инструментом нередко называют часть окружающей среды, а также иногда и стандартные детали, из которых собирается изделие (например, кирпич, из которого строится здание).

Задача 7. На ЖБИ было предложено использование электрического тока для удлинения арматуры. При нагреве до 400°C получили заданное удлинение. Для получения сверхпрочного железобетонного изделия оказалось эффективнее использовать проволоку. Но чтобы получить требуемое удлинение, необходи-

мо нагреть ее до 700°C. Но уже при 600°C проволока теряет механические свойства. Как быть?

Для данной задачи технические противоречия очевидны.

ТП-1. Если проволоку нагреть до 700°C, то она получит заданное удлинение, но теряет механические свойства.

ТП-2. Если проволоку нагреть ниже 700°C, то она не теряет механические свойства, но и не получает заданное удлинение.

Изделием здесь является проволока, а инструментом – тепло!

5.9. Модель задачи

Любая техническая система предназначена для выполнения некой главной полезной функции (ГПФ). Из двух технических противоречий оставляют то, которое обеспечивает наилучшее осуществление ГПФ. Для вышеуказанной задачи ГПФ системы является получение необходимого удлинения проволоки. Этому соответствует ТП-1.

Отбрасывая одну из двух схем конфликта, мы отбрасываем одно из двух противоположных состояний инструмента. В дальнейшем стремятся добиться того, чтобы при выбранном состоянии появилось положительное свойство, присущее другому состоянию. Но получить это необходимо, не идя на сглаживание существующего противоречия, а, напротив, максимально обостряя его. Так, в рассматриваемой задаче мы предполагаем нагрев проволоки вести до температуры выше 700°C, например 750°C. Это позволит получить еще большее удлинение. Но в большей степени ухудшит механические свойства.

Модель задачи – это условная мысленная схема задачи, отражающая структуру конфликтного участка системы посредством усиленного технического противоречия.

Искомым является некий X-элемент, который при сохранении положительного качества, присущего выбранному конфликтному состоянию, устраняет присущий этому состоянию недостаток.

Для завода ЖБИ модель задачи будет выглядеть так. Даны проволока и тепловое поле. При нагреве проволоки свыше 700°C она получает заданное удлинение, но теряет механические свойства. Необходимо найти такой X-элемент, который, сохраняя способность проволоки получать удлинение при нагревании ее свыше 700°C, предохраняет ее от потери механических свойств.

В качестве X-элемента может быть какой-то материальный объект, а может быть какое-то изменение в системе.

Переход от мини-задачи к модели задачи облегчает выявление физического противоречия.

Задача 8. В аэродинамической трубе создается воздушный отток, в котором дробится на капли раствор химикатов. Как определить размеры этих капель и соотношения их размеров?

5.10. Вепольный анализ

Переходя от ситуации к модели задачи, мы строим условную минимальную схему технической системы — два взаимодействующих вещества [5,6].

Два взаимодействующих вещества могут рассматриваться как своего рода «молекула» технической системы: если нет хотя бы одного вещества или взаимодействия — нет и работоспособной технической системы. Такая «молекула» получила название веполь — от слов «вещество» и «поле». Веществом обычно является изделие (точнее, подлежащая изменению или обнаружению часть изделия) и часть инструмента (внешней среды), непосредственно взаимодействующая с изделием.

В теории решения изобретательских задач разработан метод (вепольный анализ), позволяющий схематизировать любую как физическую, так и техническую информацию, унифицировать ее и выразить единым формализованным языком (рис. 11). В этом смысле проникновение вепольного анализа в изобретательство равносильно математизации науки, использованию математического аппарата в качестве универсального языка современного естествознания [2].

Основой для разработки вепольного анализа послужила современная физическая картина мира и характерное для нее изображение физической реальности: вещество (В), поле (П), взаимодействие. В вепольном анализе (т.е. анализе вещественно-полевых структур при синтезе и преобразовании технических систем) под веществом понимают любые естественные и искусственные объекты (технические системы и их части, иногда и внешнюю среду). Например, если в задаче идет речь о повышении скорости движения ледокола, то ве-

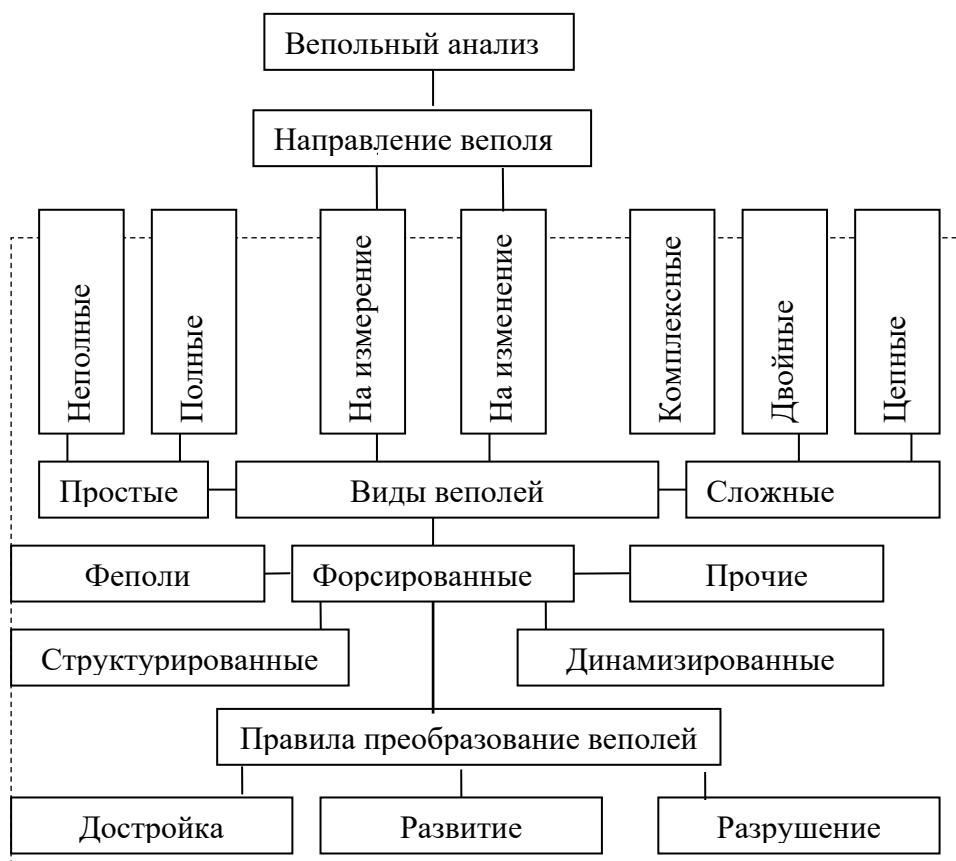


Рис. 11. Структура вепольного анализа

щество – это ледокол и лед. В качестве поля используют физические (электромагнитные, гравитационные, поля сильных и слабых взаимодействий), а также тепловые, механические, акустические и другие поля [2].

Минимальная единица вепольного анализа (веполь) включает три элемента: В1 – изделие, природный объект; В2 – инструмент, внешняя или внутренняя среда, т.е. то, что непосредственно действует на В1, и П – поле взаимодействия. Веполь принимается за абстрактную элементарную схему любых взаимодействий в технических системах. Вещество принято записывать в вепольных символах в строчку (рис. 12), поля – на входе, над строкой. Веполь вообще обозначают (без конкретизации) треугольником. Действие в вепольных формулах показывают стрелкой или линией, взаимодействие – стрелкой с двумя острями.

Запись условия задачи в вепольных символах позволяет выделить причины ее возникновения путем моделирования физических процессов, происходящих в зоне конфликта, и отыскать наиболее эффективные пути преобразования технических систем [2, 3].

Разработаны операции по построению, развитию и разрушению веполей. Операция достраивания невепольных систем и неполных систем, состоящих из двух элементов, до полного трехкомпонентного веполя осуществляется путем введения недостающего вещества или поля (рис. 13).

Вепольные формулы позволяют записывать преобразования при решении изобретательских задач, т. е. показывают, что дано и что получено. Отбрасывая все случайное и несущественное, вепольные формулы дают представление о самой сути преобразования. В этом смысле они вполне подобны химическим формулам. Правила, по которым составляются химические формулы, отражают объективно существующие законы (например, уравнивая коэффициенты в записи химической реакции, мы исходим из закона сохранения вещества), точно так же правила вепольных преобразований отражают объективно существующие законы развития технических систем.

Задача 9. Имеется термопластичный материал (пластмасса). Из него надо изготовить (при массовом производстве) листы размером $1 \times 1 \text{ м}^2$ с ворсинками. Высота ворсинок 10 мм. Прессование и другие подобные методы да-

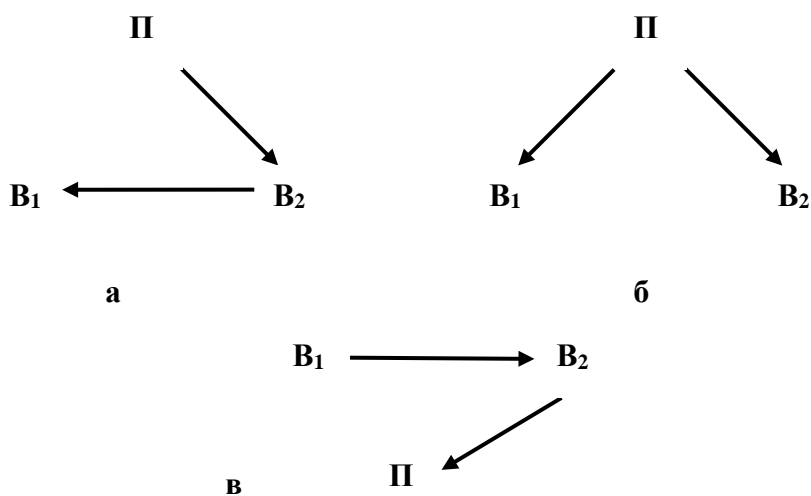


Рис. 12. Модели простейших вепольных систем

ют неудовлетворительные результаты — они слишком грубы для производства такого изделия. Нужен какой-то другой способ.

Контрольный ответ на эту задачу такой: в пластмассу добавляют мелкие ферромагнитные частицы, сверху подводят электромагнит в виде листа с острыми выступами. Выступы соприкасаются с «омагниченной» пластмассой, и когда магнит приподнимают, то вытягивают столбики пластмассы, которые, застывая, образуют ворс. Запишем теперь решение задачи в вепольной форме:

Дано (левая часть формулы) вещество V_1 , двойная стрелка означает: для решения задачи необходимо перейти к Первая часть формулы — это полученная вепольная структура (простейший веполь). Механическое поле, как сказано в условиях задачи, не обеспечивает необходимого действия на V_1 . Электромагнитному полю легко может быть придана структура, требуемая для формовки, но магнитное поле не действует на пластмассу. Пришлось пойти в обход: магнитное поле действует на вещество V_2 , которое связано с V_1 , и передает ему нужное действие. Очень трудно подобрать поле, которое хорошо взаимодействовало бы с веществом V_1 (если это удастся, изобретательская задача не возникает). Но почти всегда есть возможность подобрать подходящую пару П — V_2 . Тогда остается соединить V_2 и V_1 , чтобы обеспечить нужное действие П на V_1 . Нетрудно заметить, что записанная обходная «реакция» дает формулу преодоления ФП: поле должно действовать на V_1 и не должно (поскольку не может) действовать на V_1 . Строя вепольную систему, мы преодолеваем это противоречие.

По такой же формуле решается и задача, связанная с обнаружением неплотностей на стыках трубопровода холодильного агрегата, заполненного жид-

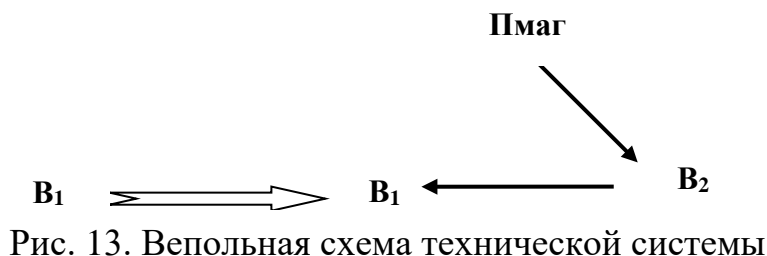


Рис. 13. Вепольная схема технической системы

ким фреоном V_1 (неполный веполь). Для ее решения необходимо в состав жидкости добавить люминофор V_2 и освещать трубопровод ультрафиолетовыми лучами П. Просачиваясь через неплотности с капельками жидкости, люминофор начинает светиться, в результате чего обнаруживается место разгерметизации (А.с. СССР 277805).

Многие изобретательские задачи решаются по правилу достройки веполя: невепольная система (один элемент) или неполная вепольная система (два элемента) должны быть достроены до полного веполя.

Задача 10. Для направленного бурения скважины используют «отклонитель». Это изогнутая труба, установленная между турбобуром (или электробуром) и колонной труб, через которую прокачивают жидкость, приводящую в действие турбобур. Кривизна обычного отклонителя не поддается управлению

с поверхности. Приходится часто прерывать бурение, поднимать всю колонну труб, чтобы заменить отклонитель. Как быть?

Эта задача также решается по правилу достройки веполя: дано одно вещество, надо перейти к веполу. Труба должна состоять из двух взаимосвязанных веществ и менять изгиб под действием поля. Решение заключается в применении биметаллической трубы и теплового поля. Запись выглядит так:

Вещество V_1 здесь разделено на две части (рис.14), неодинаково воспринимающие действие теплового поля.

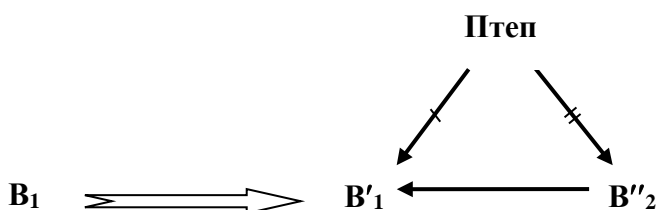


Рис. 14. Применение теплового поля («теполя»)

Разумеется, возможны и более сложные вепольные формулы. В частности, решение измерительных задач часто приводит к двойному веполу (ромб, составленный из двух треугольников, рис.15).

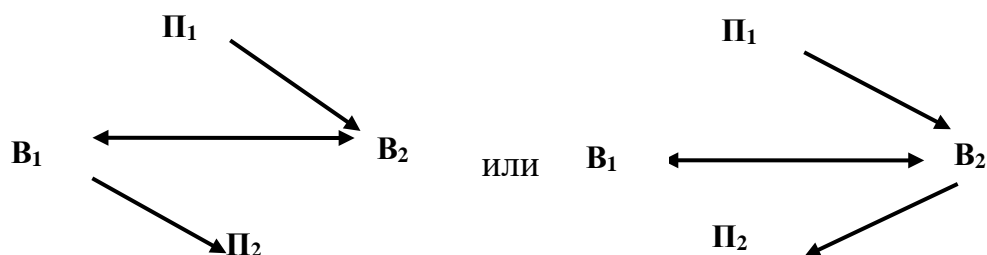


Рис. 15. Виды «двойных» веполей

Правило достройки веполя позволяет сразу определить, что надо ввести в систему: вещество, поле, два вещества, поле и вещество. Например, в задаче 8 (об измерении капель) даны два вещества $V'1$ и $V''2$ — две капли разного диаметра.

Для построения модели достаточно двух разных капель. Сразу можно сказать, что для решения задачи необходимо ввести поле Π , неодинаково действующее на разные капли (рис.16).

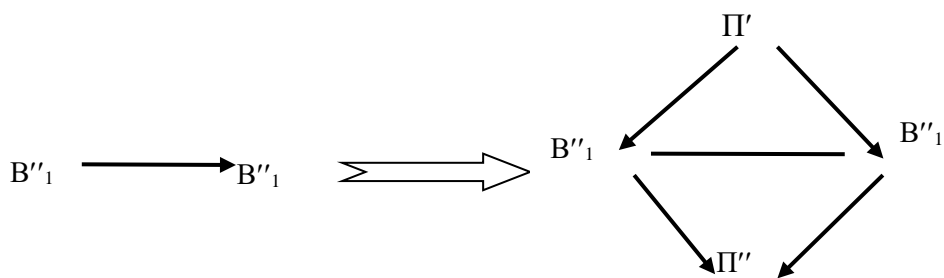
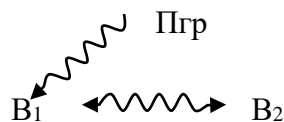


Рис. 16. Вепольное решение задачи 8

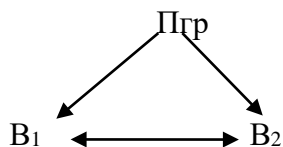
Нередко по условиям задачи уже задан веполь, но неуправляемый или плохо управляемый (неудовлетворительные связи обозначают волнистыми линиями или стрелками).

Задача 11. Расплавленный металл сливают из ковша через донное отверстие. Скорость слива зависит от уровня металла в ковше: меняется уровень – меняется и скорость. Нужен способ регулирования скорости слива металла. Менять площадь донного отверстия сложно.



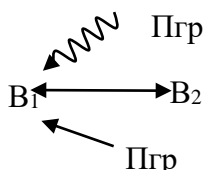
По условиям задачи веполь уже дан, но нет управляемых элементов, поэтому связи неудовлетворительны.

Теоретически возможно такое решение: пусть гравитационное поле действует и на V_2 т. е. пусть ковш V_2 тоже падает.



Тогда, меняя скорость падения V_2 , можно регулировать скорость слива металла V_1 . Практически такое решение неудобно, выгоднее построить двойной веполь, так как если на металл V_1 действовать управляемым полем Π , то будет обеспечена необходимая скорость слива, т. е. нужное взаимодействие между V_1 и V_2 .

Схемы достройки веполей всегда просты, вместе с тем они нередко открывают возможности, которые иначе могли бы ускользнуть от нашего внимания.



Операция развития веполя обеспечивает увеличение дисперсности V_2 , повышающее управляемость системой;

замену неэлектрических полей (тепловых, механических) электрическими как более эффективными. Например, в задаче на обнаружение неплотностей введение акустического поля будет способствовать проникновению жидкости в капиллярные отверстия.

Разрушение веполей производится, когда одно вещество или поле вредно действует на другое. Так, если тот же люминофор вредно действует на жидкость, необходимо разрушить связь между ним и жидкостью. Одним из возможных решений может

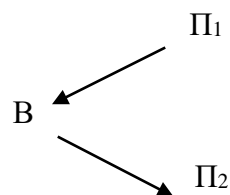


Рис. 17. Измерительный веполь

служить полимерная или лаковая прозрачная оболочка, которая окружает люминофор. Вредное взаимодействие с жидкостью исключено, а ультрафиолетовые лучи, проникая через оболочку, заставляют светиться люминофор (А.с. СССР 277805).

Все веполы делятся на два больших класса – измерительные (рис. 16) и измерительно-обнаружительные. Измерительные веполы включают: переход от невеполя к веполу; достройку веполя, при этом разделяют одно вещество на два взаимодействующих и т.д. Для измерительно-обнаружительных веполей характерна вепольная группа $\Pi_1\text{--}B\text{--}\Pi_2$, где вещество B (или B_d , добавленное в B) преобразует поле Π_1 в поле Π_2 .

В процессе преобразований веполы могут иметь различные виды: простые, включающие только два вещества и поле; сложные (двойные, цепные, комплексные), у которых одновременно присутствуют три и более веществ, находящихся под действием одного или нескольких полей; форсированные веполы – вещества и поля в которых дробятся, структурируются, динамизируются.

Альтшуллер Г.С. предложил ряд правил достройки, преобразования и разрушения веполей. Одно из этих правил нами было уже сформулировано: невепольные и неполные вепольные системы надо достраивать до веполя. Рассматривая задачу 9 (об изготовлении листов с ворсом), мы использовали еще два правила:

— пространственная структура передается по цепи вепольных связей. Чтобы придать изделию определенную структуру, достаточно, чтобы эту структуру имел один из элементов веполя;

— чем мельче частицы вещества B_2 , тем выше управляемость систем.

В той же задаче 9 мы встречаемся с веполями, в которых магнитное поле действует на мелкие ферромагнитные частицы, введенные в изделие (такие веполы по Альтшуллеру называются феполями). Общее правило состоит в переходе (если есть возможность) от веполей к феполям, поскольку последние обладают высокой управляемостью.

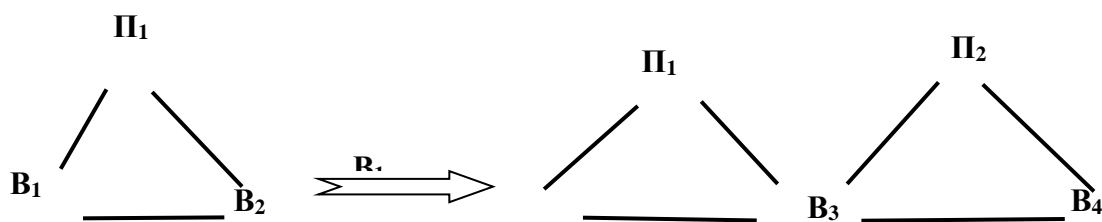


Рис. 18. Цепной веполь

Существует еще одно правило: веполы имеют тенденцию разворачиваться в двойные и цепные веполы. Примеры двойных веполей мы уже приводили. Цепные веполы (рис.18) возникают при замене вещества B_2 двумя другими веществами — B_3 и B_4 , управляемыми полем Π_2 , т.е. при превращении инструмента B_2 в самостоятельный веполь.

Вепольные системы имеют тенденцию переходить в феполь, т.е. веполь с магнитным полем и веществом B_2 в виде ферромагнитных частиц. Ферромагнитные частицы могут отличаться по размерам, форме, материалу, расположению, внешняя среда – по составу, агрегатному состоянию, способу взаимодействия с B_2 . Основное назначение феполей – перемещение или вторичные эффекты, обусловленные перемещением.

Предельным феполем считается в ТРИЗ магнитная жидкость (МЖ). Преимущество МЖ по сравнению с "твердым феполем" состоит в том, что благодаря жидкому состоянию она более подвижна и может быть введена в самые труднодоступные места. Вместе с тем она способна твердеть в сильных магнитных полях. Вепольные структуры МЖ облегчают использование свойств магнитных жидкостей при конструировании универсального инструмента всевозможных конфигураций. Например, в США выдан патент на универсальную отмычку: МЖ в продолговатой эластичной оболочке. Такой ключ принимает форму любой замочной скважины и сразу твердеет под действием магнитного поля. Фирма "Хитачи" (Япония) использует магнитные жидкости в сепараторе для извлечения металлов из автомобильного лома. При изменении кажущейся плотности МЖ металлы всплывают на поверхность, что позволяет извлечь из лома до 84% содержащегося в нем алюминия [20].

Существуют другие поля и вещества, хорошо работающие в паре с ними. Физические эффекты, связанные с теплом, воплощены в так называемых теполях – вепольных структурах, описывающих переход теплового поля в механическое и др. [2].

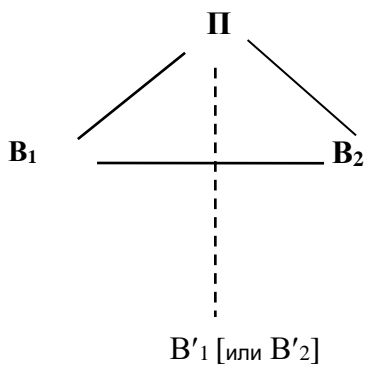


Рис.19. Разрушение веполя

Разрушение веполей также подчиняется определенному правилу: наиболее эффективный способ разрушения ненужного или вредного веполя состоит в том, чтобы между двумя веществами ввести третье вещество (рис.19), являющееся видоизменением имеющихся веществ.

Обычное введение другого вещества наталкивается на различные трудности. Правило разрушения веполей дает формулу преодоления противоречия: вводимое вещество есть, но его как бы и нет, поскольку оно является «своим» — это всего лишь видоизменение одного или двух имеющихся веществ. Примером может служить решение задачи о перевозке шлака (где B_2 – пена).

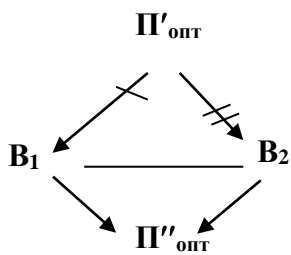


Рис. 20. Веполь

Задача 12. В лаборатории исследуют поверхность пористых тел для изучения расположения и формы пор. С этой целью делают срез и рассматривают его под микроскопом. Что надо предпринять для усовершенствования этого способа?

Запишем вепольную формулу упомянутого в задаче способа: Свет (оптическое поле) падает на вещество и отражается (см. рис.17). В системе только одно вещество, ясно, что должно быть введено второе. Сейчас поры состоят из того же вещества, что и сплошные участки поверхности. Если поры будут из другого вещества (контрастного по отношению к первому), условия наблюдения резко улучшаются. Ввести второе вещество нетрудно: краской покрывается вся поверхность, затем сошлифовывается слой со сплошных участков (рис. 20), а краска остается только в порах (А.с. СССР 441481).

Возможно и дальнейшее совершенствование системы, например, путем перехода к цепному веполу. Для этого вместо обычной краски B_2 следует взять краску B_3 , включающую люминофор B_4 (рис. 21).

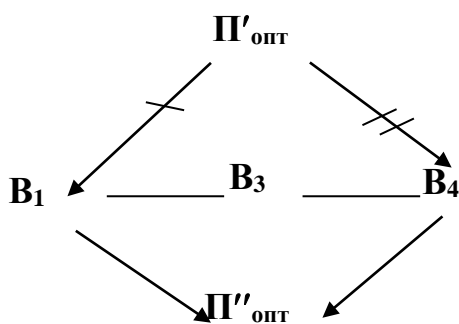


Рис. 21. Цепной веполь измерительный

Применение люминофора не только резко улучшит условия наблюдения, но и создаст предпосылки для автоматизации некоторых процессов, например, для определения суммарной площади

5.11. Вещественно-полевые ресурсы

Переход от двойной формулировки ТП к одинарной сужает область поиска.

Дальнейшее сужение осуществляется выделением оперативной зоны. Оперативная зона (ОЗ) – это пространство, в пределах которого возникает конфликт, указанный в модели задачи. ОЗ – это та часть объекта, которую необходимо и достаточно изменить, чтобы решить задачу.

Изменение требует дополнительного использования вещества, энергии, информации, пространства, времени и т.п., т.е. вещественно-полевых ресурсов (ВПР). При решении задачи возникает вопрос: что именно нам нужно, какой ресурс использовать для ее решения? Не менее актуален и другой вопрос, а где взять тот или иной ресурс? Можно ли использовать имеющийся ресурс непосредственно для решения задачи или его следует видоизменить, преобразовать, т.е. подготовить для применения? Алгоритм поиска ВПР [19], представленный ниже (рис. 22), поможет ответить на эти вопросы.

При выборе ресурса необходимо оценить, насколько он доступен и какова его цена. Очевидно, что это имеет большое значение с точки зрения эффективности применения найденного решения.

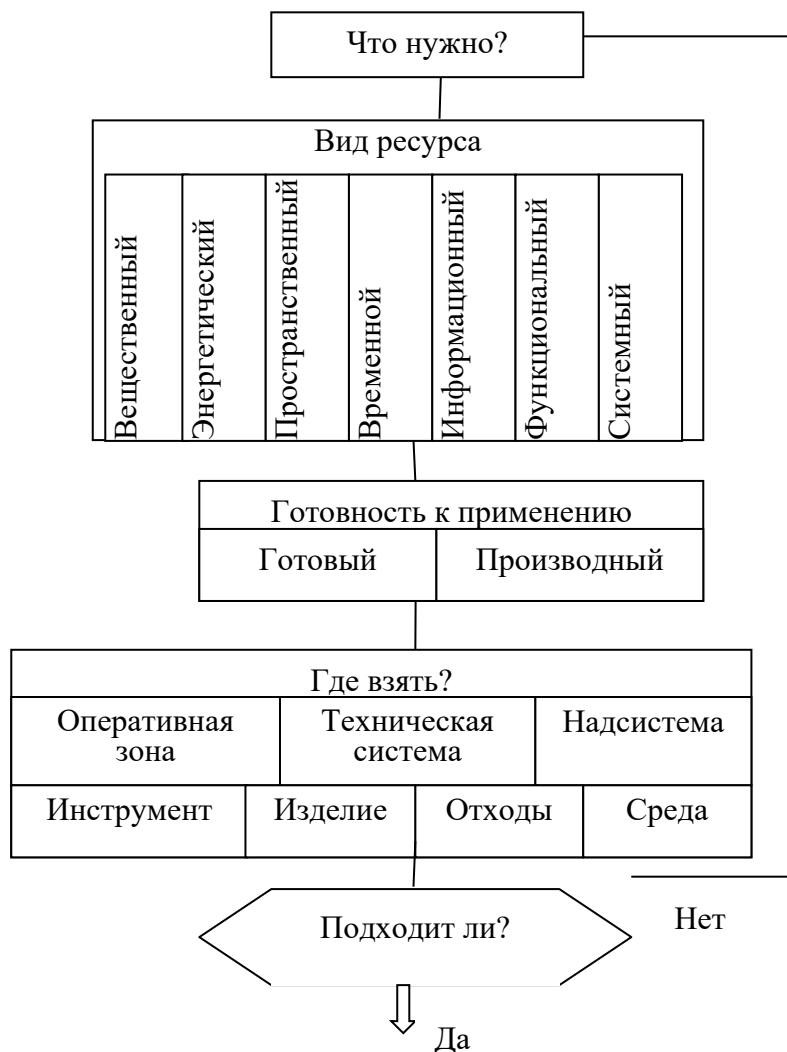


Рис. 22. Последовательность поиска ВПР

5.12. Идеальное конечное решение

Технические системы создаются ради выполняемых ими определенных функций. Идеально, когда функции выполняются без всяких затрат и даже без самой ТС.

Направленность, последовательность и активизация мышления достигаются ориентировкой на идеальный конечный результат (ИКР), т.е. идеальный способ, идеальное устройство. При формулировке ИКР не следует задумываться над тем, как он будет достигнут в процессе решения задачи. ИКР позволяет выбрать среди множества возможных направлений наиболее перспективное, потому что хотя он, как правило, недостижим, но в непосредственной близости от него лежит область изобретательских решений высокого уровня.

Суть метода решения изобретательских задач состоит в том, чтобы путем сравнения ИКР с реальным техническим объектом выявить физическое проти-

воречие, его причину, а затем разрешить его, перебрав относительно небольшое число вариантов.

Выявление физического противоречия позволяет увидеть суть происходящих физических явлений с диалектической точки зрения и с этих позиций применить имеющиеся знания законов природы. Многообразие физических противоречий разрешается ограниченным числом принципов (см. рис.9), причем каждый принцип включает в себя необходимость применения конкретных физико-химических эффектов и явлений.

Задача 13. Захват промышленного робота для переноски магнитов представляет собой стальную пластину, снабженную толкателем для сброса деталей. При сбросе магниты «цепляются» за захват и нарушается режим работы. Как быть?

Неприятности создаются механизмом толкателя, посредником между стальной пластиной и магнитом. Идеально, когда этого посредника нет, а его функция – сброс магнитов сохраняется. Но тогда функция эта должна выполняться самой стальной пластиной. ИКР – пластина сама захватывает магниты, когда это необходимо, и сама сбрасывает магниты после переноса их к месту разгрузки. Итак, выявлено физическое противоречие. Один и тот же элемент ТС (стальная пластина) должен быть магнитным и немагнитным. Для разрешения противоречия применим принцип (см. рис. 9) – разнести требования по времени, т.е. в одно время стальная пластина должна обладать ферромагнитными свойствами, в другое – не должна их иметь. Приемлемый физический эффект (прил. 3) – переход через точку Кюри, т.е. потеря ферромагнитных свойств стальной детали при нагреве.

Решение – стальная пластина в нужный момент нагревается (например, с помощью электронагрева) и теряет свои магнитные свойства, остывая, вновь их приобретает.

В процессе решения физическое противоречие желательно формулировать на двух уровнях – макро (выделенная часть объекта) и микро (частицы этой части).

Когда задача решается на микроуровне, то формулировка микрофизического противоречия может непосредственно привести к решению задачи. В противном случае – микрофизическое противоречие облегчает поиск ответа.

Если физическое противоречие сформулировано правильно, то можно считать, что задача практически уже решена.

5.13. Мобилизация ВПР

В литературе по техническому творчеству рекомендуется при решении изобретательских задач использовать эмпатию. При этом, чтобы увидеть объект изнутри, представляют себя на месте этого объекта или его части.

Но там, где решение требует раздробить объект и т.п., эмпатия не помогает. Человек – существо целостное.

Исследования показывают [3], что более приемлема в этих случаях идея толпы маленьких человечков, которых можно организовать на выполнение за-

данных требований (метод моделирования маленькими человечками – ММЧ). Суть метода: схематически представляют конфликтующие требования в виде условного рисунка, на котором действует большое число маленьких человечков. Маленькими человечками изображаются изменяемые части модели задачи (инструмент или X-элемент). Далее изменяют схему так, чтобы маленькие человечки действовали, не вызывая конфликта.

Задача 14. При забивании в грунт бетонных свай головка сваи быстро разрушается, поэтому стали применять стальные съёмные наголовники. Но полностью разрушений они не устранили. Как быть?

Распределим человечков равномерно по головке сваи. При ударе работают все. Удельное давление при этом минимально. Как реализовать?

Идея – наморозить лед! К сожалению, если лед разрушится, его трудно будет собрать вновь на головку сваи. Маленькими человечками надо уметь хорошо управлять. Управлять лучше полем. Приходим к идее, что в качестве маленьких человечков надо применить ферромагнитный порошок, а управление осуществлять электрическим полем.

С помощью оператора снятия психологической инерции (метода ММЧ) находятся пути мобилизации вещественно-полевых ресурсов и определяется необходимый для решения физический закон или эффект.

Разрешение ФП, как правило, требует введение в ТС новых веществ. Это нарушает принцип идеальности. Как обойти это противоречие? Как ввести новые вещества, не вводя их?

Простейший вариант – образовать бивещество или бисистему, т.е. при объединении одинаковых веществ или систем стремятся сохранить границы между двумя веществами или между двумя системами. Сохранение границ, опять же, требует введения граничного вещества. Но этого вещества требуется гораздо меньше, а часто его роль может выполнять пустота. Таким образом, пустота является важным вещественным ресурсом во многих задачах.

Следующим возможным вариантом может быть смесь имеющихся ВПР и получение на их основе качественно нового ресурса.

Представляется также целесообразным использовать вещества, являющиеся производными от имеющихся ВПР и получаемых за счет изменения агрегатного состояния или разложения.

5.14. Алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ)

Алгоритм решения изобретательских задач (АРИЗ) является инструментом ТРИЗ. Это – комплексная программа алгоритмического типа, в структуре и правилах которой отражены закономерности развития техники, – наглядный пример применения материалистической диалектики и системного подхода к процессу технического творчества.

Программа рассматривает процесс решения изобретательской задачи как последовательность операций (частей, шагов, этапов) по анализу неопределенной, а зачастую и вообще неверно поставленной изобретательской задачи, и преобразованию ее в четкую схему (модель) конфликта, не разрешимого обычными,

ранее известными способами. Дальнейший анализ конфликта приводит к выявлению технического противоречия, а затем и его причины – физического противоречия. Параллельно осуществляется исследование имеющихся вещественно-полевых ресурсов (ВПР). Используя эти (или дополнительно введенные) ресурсы, разрешают физическое противоречие и устраняют конфликт, из-за которого возникла задача. Программа предусматривает также развитие найденной идеи, извлечение из нее максимальной пользы [2].

АРИЗ предусматривает операции по управлению психологическими факторами. Эти операции позволяют гасить психологическую инерцию и стимулировать работу воображения.

Последовательность, направленность и активизация мышления достигаются ориентировкой на ИКР, т.е. идеальный способ, идеальное устройство. Причем при формулировании ИКР не нужно задумываться над тем, как он будет достигнут в процессе решения задачи. Искать необходимо направление повышения идеальности совершенствуемого объекта.

Суть АРИЗ состоит в том, чтобы путем сравнения ИКР с реальным техническим объектом выявить первоначально техническое, а затем физическое противоречие, его причину, а затем устранить (разрешить) их, перебрав относительно небольшое число вариантов.

АРИЗ максимально стимулирует использование сильных качеств изобретателя. Как и всякий инструмент, АРИЗ дает результаты, во многом зависящие от умения пользоваться им.

АРИЗ снабжен обширным и в то же время компактным информационным фондом, позволяющим значительно увеличивать скорость и вероятность успешного решения задачи.

АРИЗ постоянно развивается и совершенствуется, что делает его точнее и удобнее при использовании. За последние годы значительно углубилось понимание законов развития технических систем, стала яснее их общая линия развития.

Новые знания стали основой современной модификации алгоритма АРИЗ-85В (см. прил. 1) [2].

Основная структура АРИЗ представлена на рис. 23.

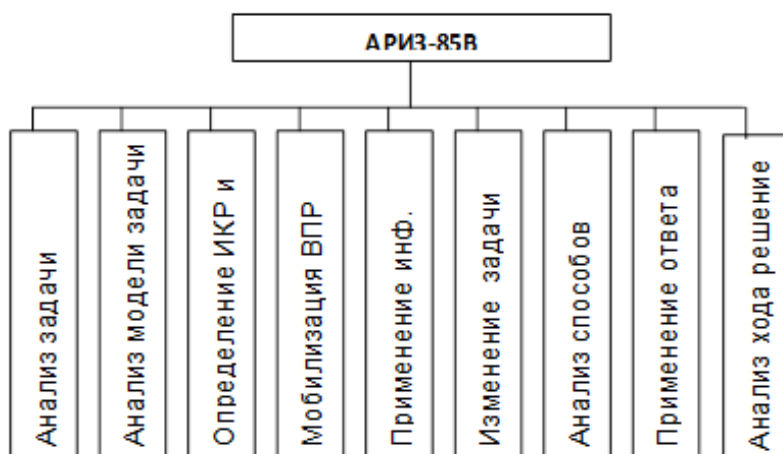


Рис. 23. Структура АРИЗ

Первая часть – анализ задачи.

Рассматривается техническая ситуация, выбирается и уточняется задача. Во многих случаях это позволяет увидеть в ней стандартность. Поэтому первая часть заканчивается проверкой возможности решения задачи по стандартам.

Вторая часть – анализ модели задачи. Определяются оперативная зона (зона возникновения конфликта) и оперативное время. Кроме того, выявляются уже имеющиеся вещественно–полевые ресурсы.

Третья часть – определение ИКР и ФП. Формулируется идеальный конечный результат (ИКР) и определяется физическое противоречие (ФП), возникшее при его достижении. В этой части используется "многоэкранный метод мышления", позволяющая одновременно удерживать в поле зрения систему, надсистему и подсистему, наблюдать и использовать возникающие в них изменения.

Четвертая часть – мобилизация и применение вещественно–полевых ресурсов (ВПР). Осуществляется непосредственное разрешение выявленного в третьей части физического противоречия, т.е. выход на решение. Рассматриваются с позиций применения, имеющиеся в системе, надсистеме и подсистеме вещественно–полевые ресурсы. С помощью оператора снятия психологической инерции (метод моделирования маленькими человечками) находятся пути мобилизации вещественно–полевых ресурсов и определяется необходимый для решения физический закон или эффект.

Пятая часть – применение информационного фонда. Задача решается (если она не была решена в четвертой части) применением информационного фонда ТРИЗ – типовых преобразований при разрешении физических противоречий, системы стандартов, указателя физических эффектов. При этом задача решается по уточненной в четвертой части АРИЗ формулировке с учетом выявленных ВПР.

Шестая часть – изменение и/или замена задачи. Если задача не решена, выявляется возможное присутствие в ней нескольких (клубка) задач. Происходит отсеивание второстепенных и выявление главной задачи, которая снова решается, начиная с первой части АРИЗ.

Седьмая часть – анализ способа устранения физического противоречия. Проверяются качество полученного ответа, оптимальность способа, которым преодолено противоречие. Изучаются вещественно–полевые ресурсы. Выясняется, какие задачи могут возникнуть при реализации полученной идеи.

Восьмая часть – применение полученного ответа. Анализируется возможность использования полученной идеи (принципа) для решения других задач. Определяются изменения в надсистеме и в связи с этим возможность ее применения по–новому.

Девятая часть – анализ хода решения. Сравнивается реальный ход решения задачи с теоретическим. Анализируются отклонения, систематизируется материал для последующего развития АРИЗ.

АРИЗ предназначен для сложных задач, не поддающихся решению с помощью разработанных приемов и стандартов. Работа с алгоритмом требует усложнения условий задачи, обострения конфликта между элементами объекта, а также внимательного обдумывания каждого шага, так как решение может

возникнуть на любом этапе. Необходимо записать его, но не прекращать анализ и продолжить решение до конца алгоритма.

Регулярное применение аналитического аппарата АРИЗ вырабатывает диалектический стиль мышления, характеризующийся обоснованной нетривиальностью и стремлением опираться на всеобщие законы диалектики и конкретные закономерности развития систем – технических, научных, художественных и т.д. [2].

5.15. Применение информационного фонда

Информационный фонд ТРИЗ включает типовые приемы разрешения технических противоречий, систему стандартов, указатели эффектов, задачи-аналоги (рис. 24).

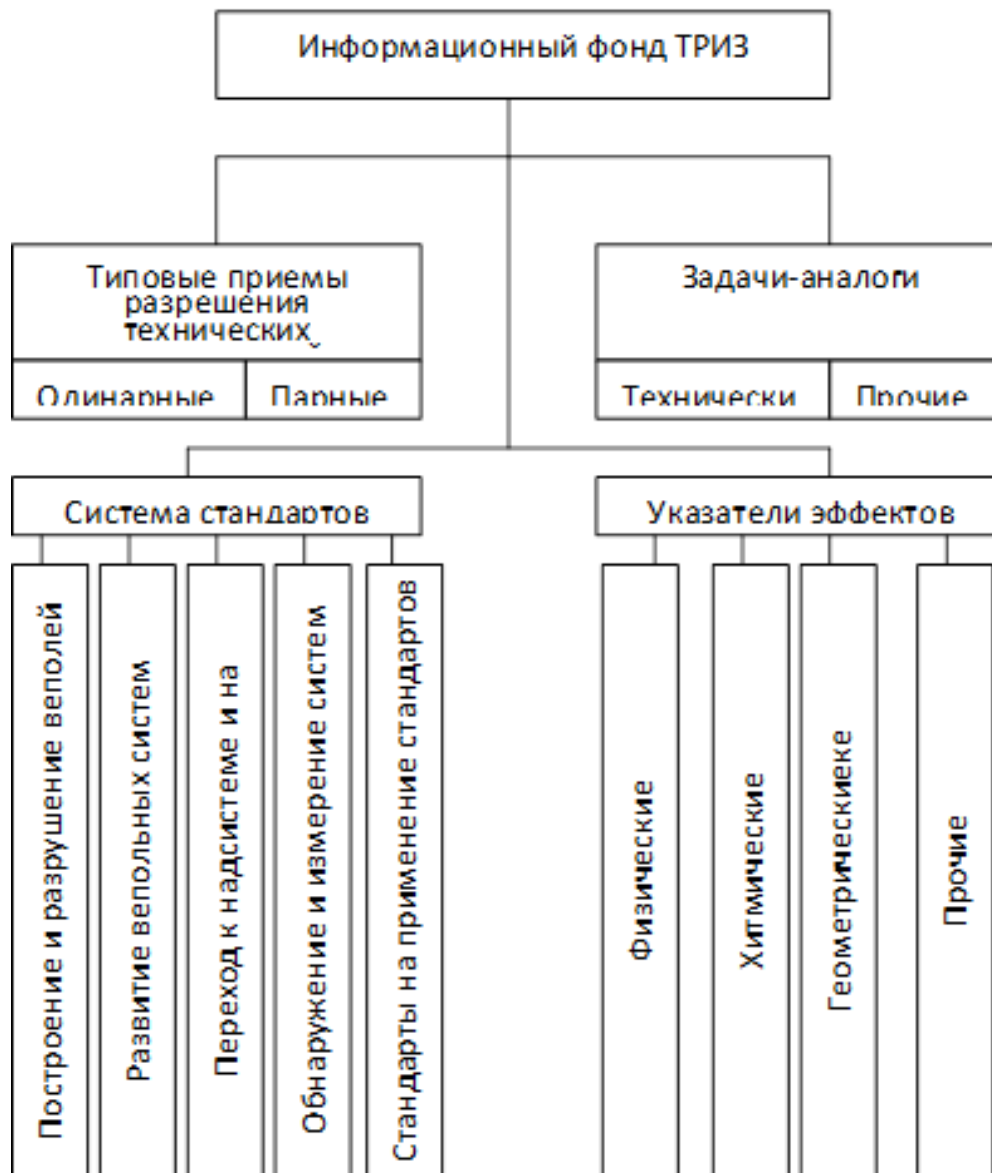


Рис. 24. Система информационного обеспечения

В ходе решения задачи главной идеей при разрешении ФП является использование имеющихся ВПР без введения новых веществ и полей. В случае, когда задачу не удастся решить в рамках имеющихся и производных ВПР, приходится все-таки вводить новые вещества и поля. В настоящее время разработаны стандарты [2] на решение изобретательских задач, многие из которых и относятся к технике введения такого рода добавок.

Каждому, имеющему дело с техническим творчеством, целесообразно расширять фонд нестандартно решаемых задач. Решая трудную задачу, рекомендуется проверить, не решается ли данная задача по аналогии с какой-либо задачей из фонда. При большом многообразии изобретательских задач число физических противоречий, на которых основываются эти задачи, сравнительно невелико. Поэтому значительная часть задач решается по аналогии с другими задачами, имеющими аналогичное физическое противоречие. Внешне изобретательские задачи могут существенно различаться, аналогия выявляется только после анализа – на уровне физического противоречия.

Выбирая принципы типовых преобразований (см. рис.9) для устранения физического противоречия, необходимо иметь в виду, что эффективны только те решения, которые совпадают с ИКР или очень близки к нему.

Типовые приемы разрешения противоречий (приложение 2) выявлены на основе анализа 40 тыс. авторских свидетельств и патентов. При всем многообразии технических противоречий они разрешаются 40 основными приемами (вместе с подприемами, их более 100), представленными в виде списка и таблицы [10]. Эти приемы указывают лишь общее направление и область эффективных решений. Конкретных вариантов решений они не выдают, эта работа остается за изобретателем. Чтобы научиться эффективно пользоваться приемами, необходимо решить несколько сот учебных задач [19].

Приемы дифференцированы на несколько основных групп в зависимости от способа преодоления противоречия:

- разделением противоречивых требований в пространстве или времени;
- удовлетворением этих требований за счет изменения физико-химических параметров элемента
- устранением противоречия путем перехода от анализируемой системы к ее элементам или надсистемам.

Банк таких приемов со специально подобранными примерами и рекомендациями по применению – эффективный аппарат решения задач.

Так, для изобретателя, не владеющего типовыми приемами, задача [19] "как изготовлять волочением трубки из нихрома с толщиной стенок около 0,01 мм при допуске в 0,003 мм?" является сложной – третьего уровня. Используя прием 34, который «советует изготавливать объект путем удаления ненужной части объекта, растворением, испарением, плавлением и т.д.», задача становится простой. Решение ее признано изобретением – А.с. СССР 182161: «Способ изготовления тонкостенных трубок из нихрома, отличающийся тем, что ... волочение ... осуществляют на деформируемом алюминиевом стержне, удаляемом после обработки вытравливанием щелочью».

Физические противоречия предъявляют двойственные требования к объекту: например, быть подвижным и неподвижным, горячим и холодным и т.п. Изучение приемов устранения физических противоречий позволило выявить существование парных (двойственных) приемов, которые объединены в соответствующие списки (дробление–объединение, асимметрия—симметрия и т.д.) [2].

Решение сложных задач связано с применением комплексных приемов, включающих несколько обычных приемов (в том числе парных) и физический эффект.

Типовые приемы могут быть реализованы конкретными физико-химическими эффектами и явлениями. С развитием науки открываются новые физико-химические эффекты, которые с успехом могут быть использованы для решения самых современных технических задач. Таким образом, фонд физических эффектов (см. прил.) является естественнонаучной основой разработки искусственных систем.

Сочетания сложных комплексных приемов и физических эффектов объединены в систему стандартов (см. рис.23), обеспечивающих решение некоторых классов изобретательских задач.

В настоящее время система стандартов представляет собой совокупность правил синтеза и преобразования технических систем, непосредственно вытекающих из законов развития этих систем. Стандарты обеспечивают, как правило, сочетание приемов на основе физического эффекта. Это повышает возможность получения оптимального решения [3].

Стандарты разделены на пять классов.

Первый класс – построение и разрушение вепольных систем. В простейшем случае для синтеза работоспособной технической системы необходимо перейти от невеполя к веполю.

Второй класс включает стандарты на развитие вепольных систем, повышение эффективности которых достигается прежде всего переходом к сложным веполям.

Третий класс – стандарты на переход к надсистеме и на микроуровень. Система исчерпала резервы развития — дальнейшее усложнение невозможно. При переходе на микроуровень используются физические эффекты.

Четвертый класс – стандарты на измерение и обнаружение. Главная идея этого класса стандартов – достроить или надстроить веполь.

Пятый класс — методы и приемы введения в веполь новых элементов без введения этих элементов.

Каждый из этих классов разделен на 18 подклассов (в системе 77 стандартов). Процесс решения изобретательских задач по стандартам сводится к переходу от общих законов к их конкретному овеществлению путем определения класса решаемой задачи, проведения вепольного анализа, выявления подкласса и стандарта [2].

Например, определение количества деталей, переносимых роботом с одного участка на другой, возможно путем встраивания в него датчиков массы [2]. Это приведет к повышению энергопотребления и усложнению уже достаточно сложной технической системы. Данную задачу можно отнести к классу

измерений (класс 4). На основании вепольного анализа заключаем, что в технической системе имеется два вещества – робот и деталь, но нет поля, проходящего через них и выдающего информацию, при этом вводить постороннее поле тоже нельзя.

Стандарт 4.3.2 советует: «Если невозможно непосредственно обнаружить или изменить происходящее в системе и если нет возможности пропустить сквозь систему поле, то используем резонансные колебания». Таким образом, решение определяется стандартом: нужно заставить робота передвигаться в резонансном режиме. Как только взятый им груз будет больше или меньше эталонного, его «походка» резко изменится и небольшой инерционный датчик зафиксирует эту ненормальность.

В ТРИЗ разработаны указатели эффектов (сконцентрированные знания из области физики, химии, математики и других отраслей науки), построенные по функциональному принципу и позволяющие достаточно быстро найти группу эффектов, необходимых для решения конкретной задачи. Указатели отражают логику и тенденции применения физических, химических, геометрических и других эффектов при решении технических задач [2].

"Указатель применения физических эффектов и явлений" рассчитан на практическое использование как классических научных законов, так и современных естественнонаучных открытий. Он позволяет применить результаты фундаментальных исследований при конструировании новой техники. В связи с этим в указатель введена, например, "физическая картина коронного разряда", которая описывает процесс ионизации газа в сильном электрическом поле. Кроме того, даются рекомендации по техническому применению короны для управления потоком ионов, измерения параметров газа, провоцирования химических реакций – озонирования воздуха, аэроионизации (коронного антисептирования пищевых продуктов, интенсификации проращивания зеленого солода, повышения урожайности овощей и т.д.).

В основе "Указателя" – вепольные структуры (феполи, теполи и т.д.), вокруг которых группируются реализуемые на их базе эффекты и явления. Указатель представляет собой банк физических эффектов и технических приемов, описанных единообразным условным языком, в котором содержатся «полуфабрикаты» технических идей – идеальных прообразов будущих работоспособных конструкций.

Для повышения качества и ускорения поиска новых решений необходим всесторонний учет химических явлений. Статистический анализ патентного фонда свидетельствует о том, что химические эффекты и явления пока еще редко используются при разработке новых технических решений. Например, в области химии химические эффекты входят в формулу изобретения не более 3% технических решений, а в остальных областях техники – 0,01% технических решений. Это приводит к тому, что игнорирование следствий химических явлений, например, происходящих на воздухе, обуславливает запаздывание появления технических решений на 20 – 50 лет [2].

В настоящее время разработаны рекомендации по использованию в технических решениях химических превращений и эффектов. Аналогичная работа ведется по использованию геометрических и других эффектов [2].

В ТРИЗ создан фонд задач–аналогов, включающий технические и нетехнические задачи, относящиеся к разным областям науки и техники. Задачи–аналоги внешне абсолютно отличаются друг от друга, но имеют одинаковую структуру решения.

Технические задачи–аналоги выявляются разработчиками ТРИЗ при проведении патентных исследований по выявлению закономерностей развития технических систем, а также изобретателями, использующими аппарат ТРИЗ. Они составляют картотеки "сильных", "красивых" решений задач из разных областей техники по признаку однотипности технических и физических противоречий. Например, техническое противоречие, связанное с необходимостью динамизировать конструкцию объектов техники, преодолевается в однотипных задачах следующим образом: для регулирования жесткости ласты в ее конструкции создаются полости с несжимаемой жидкостью, статическое давление которой можно изменять (А.с. СССР 317390); для повышения проходимости автомобиля его рама изготавливается из шарнирно соединенных секций, которые поворачиваются гидроцилиндрами (А.с. СССР 174748), и т.д.

6. ЗАКОНЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

6.1. Структура ЗРТС

Законы развития технических систем (ЗРТС) выявлены, проверены, уточнены, детализированы путем анализа информации, накопленной в мировом патентном фонде по эффективным решениям (более 40 тыс. изобретений) [2].

Выявленные законы объединяются в три группы под условными названиями "Статика", "Кинематика" и "Динамика" (рис. 25), кроме того, выделяется группа механизмов действия законов (рис.26).

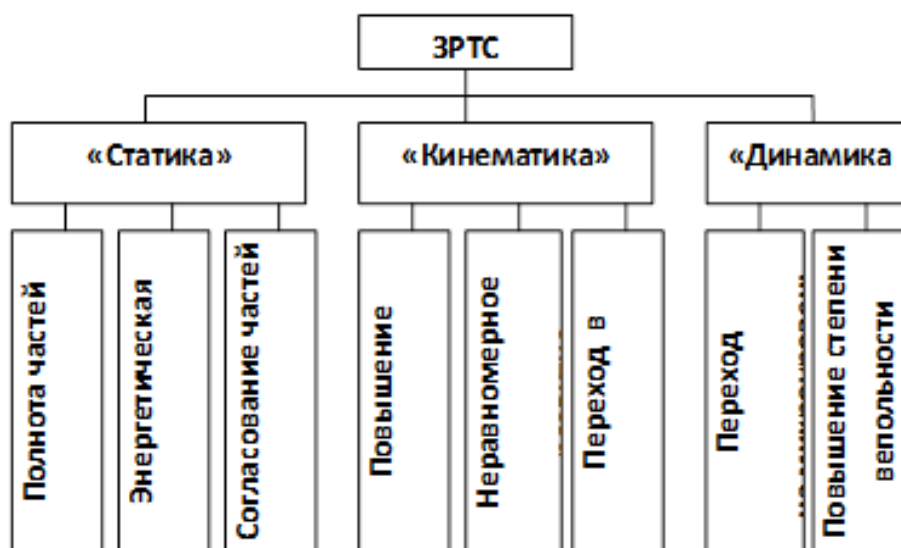


Рис. 25. Структурная схема законов развития ТС

Законы статики определяют необходимые условия возникновения, существования и принципиальной жизнеспособности технической системы.

Законы кинематики характеризуют направление развития технических систем.

Законы динамики отражают тенденцию развития современных технических систем в направлении перехода рабочего органа и технологического процесса с макроуровня на микроуровень.

6.2. Законы

Закон полноты частей системы

Автономно действующая техническая система включает в себя рабочий орган, трансмиссию, двигатель и орган управления, при этом каждая ее часть должна быть минимально работоспособной и хотя бы одна часть минимально управляемой. При отсутствии какой-либо части ее функцию выполняет человек или окружающая среда.

Формирование новой технической системы для выполнения новой функции начинается с возникновения рабочего органа.

Например, первые велосипеды представляли собой только один рабочий орган – колеса, связанные жесткой перекладной. Функции двигателя, трансмиссии и управления выполнял седок, отталкиваясь ногами от полотна дороги и наклоняя корпус для совершения поворота. Педали, звездочки, гибкие цепи сняли основную часть функций трансмиссии – транспортирование энергии от ног человека к рабочему органу (колеса). Появившийся руль облегчил работу седока по управлению велосипедом. Поставленный на велосипед двигатель любого исполнения освободил человека от затрат мускульной энергии [4].

Полное представительство частей системы и высокая степень их развитости приводят к появлению автономно действующих автоматов, в которых лишь небольшая часть функций по управлению остается за человеком. Полностью приняв на себя функцию управления, техническая система становится самоорганизующейся и самоуправляемой.

Закон энергетической проводимости системы

Любая техническая система является потребителем и преобразователем какого-либо вида энергии, отсюда очевидна необходимость сквозной передачи энергии от двигателя через трансмиссию к рабочему органу. Для повышения управляемости также необходимо обеспечить энергетическую информационную проводимость между частями системы и органами управления. Примером может служить неверно рассчитанный узел какой-либо силовой конструкции, который выходит из строя, так как не обеспечивает полного прохода механической или иной энергии. Во многих случаях это явление, сопровождающееся разрушением из-за несоблюдения закона энергетической проводимости, используется сознательно. Например, в механике находят применение различные срезаемые предохранительные штифты, в электротехнике – тепловые и плавкие предохранители и т.д.

Задача 15. По конвейеру движутся одна за другой металлические детали, похожие на кнопки: круглая пластинка размером с гривенник, а в центре — стерженек высотой 5 мм. У одних «кнопок» стерженьки тупые, у других — острые. Нужно автоматизировать разделение "кнопок" по этому признаку. Способ должен быть простым и надежным.

Задача на синтез измерительной системы. Измерение, как и изменение, всегда связано с преобразованием энергии. Но в задачах на изменение необходимость преобразования энергии видна намного отчетливее, чем при решении задач на измерение. Учтите это при решении задач.

Закон согласования частей системы

Необходимым условием принципиальной жизнеспособности технической системы является согласование ее частей по основным параметрам: виду энергии и способу ее передачи, физическому состоянию вещества, по времени, месту и способу взаимодействия частей и т.д. Большая степень согласования частей системы по всем параметрам обеспечивает большую степень работоспособности системы. Например, для демонстрации давления, создаваемого потоком видимого света, его направляют на маленькое зеркальце, закрепленное на

коромысле крутильных весов. Интенсивность света, который можно сфокусировать на крошечном зеркальце, обычно слишком мала, чтобы вызвать заметные отклонения в системе, поэтому поток света модулируют с частотой, равной частоте собственных колебаний подвеса зеркальца. Тогда падающий свет возбуждает колебания системы подобно раскачиванию маятника. Этот пример показывает, как резко увеличивается эффективность системы при согласовании ее частей по ритмике.

В принципе, совершенствование любой технической системы связано в той или иной мере с повышением степени согласования ее частей вначале между собой, а затем с окружающей средой. При этом процесс согласования может идти небольшими эволюционными шагами, но каждый раз давая новый эффект. При достижении полного согласования частей технической системы она, как правило, "сворачивается" в один рабочий орган, который далее начинает все более согласовываться с окружающей средой (технологической, природной) [2]. Например, обычный ленточный транспортер имеет все части технической системы: грузонесущая лента – рабочий орган; барабан, ролики – трансмиссия; приводная станция – двигатель; выключатели, предохранители и т.п. – орган управления. Грузонесущая лента как рабочий орган системы наиболее развита по сравнению с другими частями. Для согласования с ней барабаны и ролики начинают видоизменяться, т.е. становятся гибкими, подвижными, с регулируемой жесткостью (А.с. СССР 1199721), образующие поверхности роликов и барабанов выполняются из гибких эластичных жгутов (А.с. СССР 563338), затем используются гидроролики (А.с. СССР 598808), которые в последующем прикрепляются к ленте, помещаемой в ванну с жидкостью, где поплавки выполняют функцию роликов (А.с. СССР 1105400; 1239040). Далее ролики и барабаны, еще видоизменившись (водяная подушка, газовая подушка, магнитная подушка – А.с. СССР 1050996; 1066908; 1033386; 1270066), все более сворачиваются в рабочий орган – ленту, которая становится как бы частью линейного электродвигателя (А.с. СССР 1271804). Дальнейшее совершенствование транспортера видится в изменении самой грузонесущей ленты.

Еще из школьного курса физики мы знаем, что с наибольшей амплитудой колеблются объекты при точном совпадении частот. При этом затрачивается минимум энергии на поддержание резонанса, а внутрь системы поступает максимум из подводимой энергии. Согласование частоты внешнего действия с собственной частотой системы или ее элемента – эффективный путь, используемый для решения многих задач. Известен вибрационный транспортер, выполненный в виде желоба или трубы с размещенными вдоль них с определенным шагом вибраторами. Упростить данный транспортер можно, уменьшив число вибраторов. Но чтобы транспортер был работоспособным, по А.с. СССР 119132 предложено часть вибраторов заменить подпружиненными реактивными массами, настроенными резонансно со всей колеблющейся системой транспортера.

Законы увеличения степени идеальности

Закон увеличения степени идеальности относится к группе законов кинематики. Эти законы характеризуют направление развития технических систем.

Развитие всех технических систем идет в направлении увеличения степени идеальности. При достижении идеала механическая система исчезает, но ее функция выполняется [2].

Примером "идеальной" технической системы можно назвать регулятор сближения электродов в свече Яблочкова. До изобретения Яблочкова существовали многочисленные конструкции механизмов сближения электродов по мере их обгорания. Яблочков предложил поставить электроды параллельно друг другу, и теперь зазор между ними оставался неизменным. Техническая система для выдерживания зазора исчезла, а ее функция выполняется. Подобное прослеживается в самозатачивающихся резцах и плугах, где нет механизма заточки, но инструменты затачиваются. Другим примером приближения к идеалу может служить смешивание посевных трав без использования специальных механизмов. Функция смешивания выполняется выращиванием трав на полях полосами и скашиванием их поперек полос. В бункер сенокосилки попадают уже смешанные между собой травы [2].

В ТРИЗ выявлены некоторые пути приближения технической системы к идеалу:

- увеличение количества выполняемых функций при сохранении или минимальном росте числа элементов системы. Например, ролик ленточного конвейера не только поддерживает грузонесущую ленту, но и очищает воздух от пыли и таким образом предохраняет опорные подшипники от загрязнения (А.с. СССР 590205);
- сокращение числа элементов системы при сохранении количества функций. Так, ролик конвейера выполняет функцию подшипниковых втулок, образуемых деформированными торцевыми частями (А.с. СССР 1151494);
- передача функции системы надсистеме. Например, функция ролика по поддержанию ленты конвейера передана раме конвейера, которая выполнена в виде магнитного или электромагнитного склиза (А.с. СССР 842014; 956369).

Задача 16. Для устранения перегрева режущей кромки токарного резца его интенсивно «поливают» смазочно–охлаждающей жидкостью. Предложите идеи, позволяющие повысить эффективность охлаждения резца.

Закон неравномерного развития частей

Развитие частей системы осуществляется неравномерно, причем чем сложнее система, тем неравномернее ее развитие. Неравномерность развития частей системы – одна из причин возникновения противоречий в ней и, следовательно, изобретательских задач [2].

Так, необходимо значительно увеличить скорость движения ленты конвейера, но это ведет к преждевременному выходу из строя ленты из-за значительных динамических нагрузок, возникающих при взаимодействии с моментными роликами. Разрешается противоречие путем выполнения ролика гибким (пружинным), газообразным (А.с. СССР 241280; 610742).

Закон перехода в надсистему

Исчерпав возможности развития, система переходит в надсистему в качестве одной из ее частей, и дальнейшее ее развитие идет на уровне надсистемы. Например, ролик (система), используемый в конвейере, переходит в грузонесущую ленту (надсистему), состоящую из двух слоев, образующих надувную подушку, помещенную в жидкость (А.с. СССР 831670; 1105400). Кроме того, созданы изобретения на ленточный конвейер с магнитной подушкой, у которого магниты непосредственно крепятся на ленте конвейера (А.с. СССР 732172), затем роль магнитов выполняют тросовые элементы самой ленты (А.с. СССР 541563).

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что совершенствование ленточного транспортера (время опубликования авторских свидетельств) не согласуется с линией развития технической системы. Так, А.с. СССР 1105400 и 831670 не могут быть использованы вследствие того, что условия для эксплуатации такой конструкции транспортера уже прошли. Во втором случае изобретения, выданные в 1980 и 1977 гг., не могут быть использованы, так как условия для эксплуатации данного конвейера невозможны (не готова подсистема).

Таким образом, неуправляемый, хаотический процесс поиска новых технических решений ведет к опаздыванию создания некоторых изобретений на десятки и более лет или к их преждевременному появлению [2].

Закон перехода рабочего органа с макроуровня на микроуровень

Закон перехода рабочего органа с макроуровня на микроуровень относится к законам «динамики» и отражает тенденцию развития современных технических систем.

Техническая система, выполненная на механическом уровне (макроуровне), при дальнейшем своем развитии переходит к использованию ее возможностей на микроуровне, т.е. реализуются возможности агрегатного строения вещества, его атомарных и молекулярных свойств. Так, в ленточном конвейере на макроуровне используют ролик. По мере развития он первоначально частично переходит на микроуровень – образующая поверхность выполняется в виде надувной подушки, помещенной в жидкость (А.с. СССР 598808), затем ролик превращается в твердожидкостный (А.с. СССР 1286466; 1105400), а также жидкий. Дальнейшее развитие "жидкого ролика" привело к идее использования эмульсии (А.с. СССР 950458), чистого газа–воздуха (А.с. СССР 610742), магнитных полей (А.с. СССР 956369).

Аналогичная картина перехода от твердых веществ к жидким, газообразным наблюдается во всех развитых технических системах. Например, клише печатной машины выполнено в виде направленных струй жидкости (А.с. СССР 1147928), устройство для очистки железнодорожных стрелок от снега – в виде воздушных струй (А.с. СССР 894027).

Закон повышения степени вепольности

Развитие технических систем осуществляется в направлении **увеличения степени вепольности** т.е. степени управляемости и взаимовлияния веществ и энергетических полей в системе. В вепольных системах развитие осуществляется в направлении перехода от механических полей к электрическим и элек-

ромагнитным, увеличения дисперсности вещества, числа связей между элементами [2].

6.3. Практическая реализация ЗРТС

Для реализации описанных законов в ТРИЗ существует группа механизмов развития технических систем, обеспечивающих решение изобретательских задач (рис. 26).

Переход моно→би→поли→моносистема. Созданная техническая моносистема, исчерпав свои возможности в стремлении удовлетворить возросшие потребности, объединяется с другой системой, образуя новую, более сложную. Простейший механизм такого перехода состоит в том, что исходную моносистему сдваивают, превращая в бисистему или в полисистему (если объединяют более двух систем). Развитие этого варианта приводит к появлению качественно новой системы, выполненной в варианте моно. И так цикл повторяется с новым вариантом системы. Ролик конвейера со сплошной лентой – моносистема.

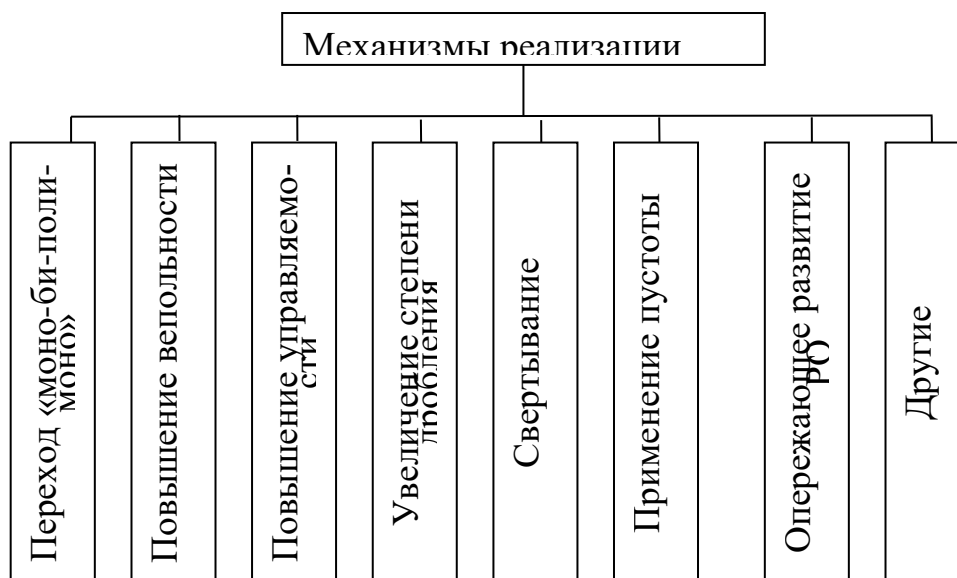


Рис. 26. Механизмы реализации ЗРТС

С целью увеличения грузонесущей способности ленты ролик сдваивают, что позволяет получить ленту V-образной формы. Затем ролик выполняют из трех, пяти, десяти частей (А.с. СССР 674763; 1199721 и др.). Кроме того, ролик конвейера, став би- и полисистемой, позволил не только увеличить количество груза на конвейере, но и упростил центровку ленты, более равномерно распределил на ней нагрузки. Дальнейшее развитие конвейера позволило получить качественно новый тип опоры на воздушной подушке, первоначально выполненной в варианте моносистемы (А.с. СССР 256609), а затем – би- и полисистемы (А.с. СССР 1055701, 1119934).

Переход моно→, би→, поли→, моносистема – неизбежный этап в истории всех технических систем. Так, парусники – один парус → два паруса→

много парусов → один парус роторного типа; двигатели внутреннего сгорания – один цилиндр → два цилиндра → много цилиндров → один двигатель Ванкеля.

Повышение динамичности технической системы. Система на каждом этапе своего развития увеличивает степень подвижности, гибкости частей, а также переходит к движению частей из плоскости в объем, от равномерного движения к импульсному. Например, ролик конвейера (макроуровень) становится гибким, эластичным, подвижным, он вращается и перемещается вверх, вниз и в стороны, отслеживая движение ленты (А.с. СССР 590204, 1214555; 1169903). На микроуровне ролик в жидком или газообразном состоянии повышает степень своей динамичности (А.с. СССР 1055701; 1066908).

Аналогичное повышение степени динамичности наблюдается и в других технических системах: крылья самолета от неподвижной системы перешли к подвижной, следующий этап – изменяющаяся геометрия крыла [19].

Механизм повышения управляемости частей технической системы. В своем развитии части технической системы снабжаются элементами управления. Если в первых моделях систем управление сосредоточивалось в основном на рабочем органе, то в последующих моделях элементы управления все более проникают в двигатель, в трансмиссию и в органы управления. Так, ролик конвейера, находясь на макроуровне, имел минимальные возможности управления (пуск, торможение), динамизируясь, он мог управляться, изменяя свою форму, степень жесткости и т.д. С переходом на микроуровень степень его управления резко возросла – воздушная подушка может увеличиваться и быть пульсирующей, менять свою плоскость, скорость и т.д.

Механизм увеличения степени дробления. В процессе развития части технической системы для реализации основных законов проявляется тенденция к их дроблению. Например, сконструированы ролики для конвейера в виде нескольких десятков и сотен шайб, нанизанных на одну ось (А.с. СССР 307021; 128787; 129535). При переходе ролика на качественно новый уровень разработана раздробленная воздушная подушка (А.с. СССР 1137022) или раздробленная магнитная подвесная лента (А.с. СССР 1033386; 1240687; 732172 и др.). Механизм дробления характерен для всех без исключения механических систем, при этом он быстрее используется в рабочем органе обрабатывающих машин. Так, дробление резца позволило создать алмазный инструмент. Процесс дробления происходит в технических системах также на микроуровне.

Механизм свертывания технических систем обеспечивает выполнение системой функций меньшим числом элементов. Чаще всего наблюдается свертывание частей системы в рабочий орган. Например, в устройстве для выпуска воздуха из гидросистемы (А.с. СССР 586292; 92059) использовали двигатель (привод), трансмиссию (штоки, тяги, пружины), орган управления (датчик воды, газа). В процессе совершенствования устройства все эти части были свернуты в один рабочий орган – разбухающий клапан-пробку (А.с. СССР 903648). Эффективное использование механизма свертывания осуществляется при применении закона согласования частей системы, повышения степени идеальности [5, 19].

Механизм применения пустоты. В технических системах при их развитии используют пустоты в виде замкнутых полостей, которые постепенно дробятся, превращаясь в микропоры, капилляры. Так, сначала лента транспортера с полостями представляет собой полый ролик (А.с. СССР 1168486), раздробление пустоты в ленте и ролике – в виде кольцевых полостей (А.с. СССР 383659) или тонкостенных герметичных рукавов (А.с. СССР 654506), затем ролики и ленты выполняют из капиллярно–пористых материалов (А.с. СССР 540783; 694411; 541562).

Данный механизм наиболее часто содействует срабатыванию законов согласования частей системы, перехода с макро – на микроуровень и др. [19].

Механизм опережающего развития рабочего органа обеспечивает качественное улучшение показателей, связанных с выполнением основной функции. Этот механизм включает в действие закон неравномерности развития частей системы и др.[2].

Работа над выявлением и уточнением ЗРТС, а также механизмами их реализации продолжается. Кроме указанных механизмов срабатывания законов в ТРИЗ, выявлен ряд других, которые в настоящее время находятся в стадии анализа.

7. РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ МАШИН

7.1. Манипуляторы для отсечки конвертерного шлака при разливке

Современные высокие требования, предъявляемые к качеству металла, а также тяжелые условия работы при разливке стали требуют создания и использования разнообразных автоматических манипуляторов для обеспечения вспомогательных работ [12].

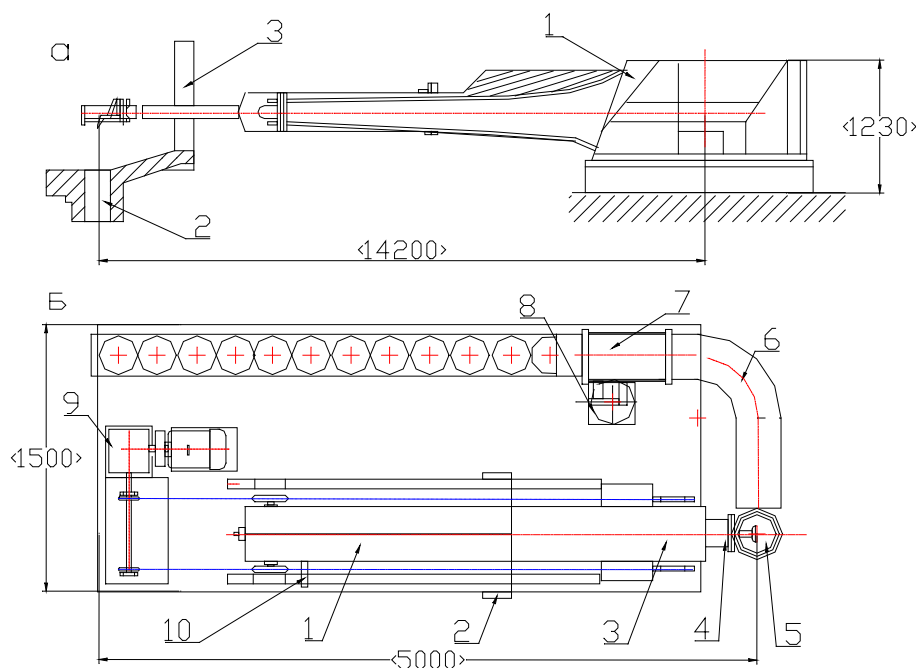


Рис. 27. Автоматический манипулятор

Для получения необходимого качества металла при разливке из конвертера применяют различные способы отсечки шлака. Одним из них является использование манипуляторов, установленных непосредственно перед конвертером и подающих в рабочую зону шары-пробки, которые затем отсекают шлак [13]. В кислородно-конвертерном цехе Магнитогорского металлургического комбината для данных целей применяется манипулятор, который представляет собой механизм параллелограммного типа со стрелой, оснащенный системой гидропривода. На переднем конце стрелы манипулятора закреплен механизм сброса шара-пробки, который происходит при прохождении над сталевыпускным отверстием за 30...60 с. Такой манипулятор занимает значительные площади и требует использования ручных операций при загрузке в захватное устройство шара-пробки. Манипулятор может работать только в ручном режиме, так как точность его позиционирования определяется действиями оператора.

Более перспективной компоновкой подающего устройства [13] является автоматический манипулятор стрелового типа с телескопической стрелой и захватом, оснащенный системой автоматической загрузки шаров-пробок из обоймы. На рис. 27, а представлен общий вид манипулятора 1, установленного

рядом с конвертером 3. Расположение манипулятора показано относительно сталевыпускного отверстия конвертера. Манипулятор сконструирован в виде законченного модуля коробчатой конструкции с разъемами для систем привода и управления. Он может свободно перемещаться между конвертерами, грузоподъемными механизмами. На рис. 27, б представлена схема манипулятора с телескопической стрелой и автоматом загрузки. Стрела 1 выполнена из двух секций 3 и 4, которые опираются на систему направляющих. На конце стрелы установлен захват 5 для шара-пробки. Выдвижение стрелы 1 обеспечивается приводом 9. На подвижных элементах манипулятора установлена система встраиваемых датчиков 2, контролирующая положение рабочих элементов манипулятора, а также сброс шара пробки. Автомат загрузки 6 установлен на боковой поверхности манипулятора, он состоит из кассеты 7, в которую загружены шары-пробки, и механизма 8 подачи шаров-пробок. Точность позиционирования определяется настраиваемыми упорами 10.

Работает автоматический манипулятор следующим образом. При включении привода выдвигаются секции стрелы. Захват с шаром-пробкой вводится в конвертер. При полностью выдвинутой стреле срабатывает захват манипулятора и сбрасывается шар-пробка. При обратном движении стрелы обеспечивается автоматическая установка шара-пробки в захватное устройство. Далее цикл повторяется. Полностью загрузочное устройство обеспечивает накопление шаров пробок для 10...15 плавков. Система управления манипулятора может находиться в любом защищенном месте. Манипулятор может работать как в ручном, так и в автоматическом режимах.

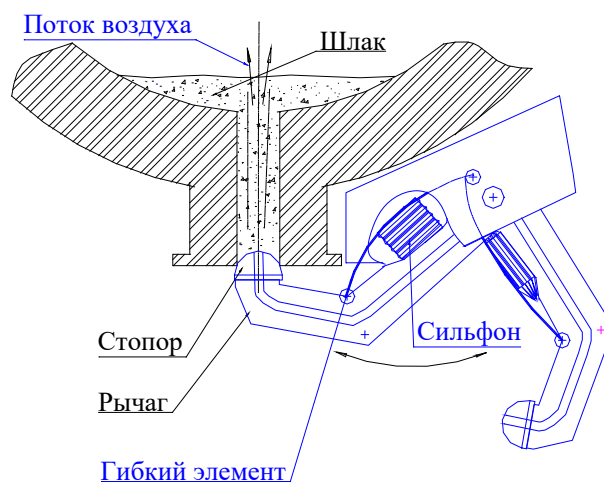


Рис. 28. Автоматический манипулятор-стопор с гибкими приводными элементами

Другим перспективным направлением отсечки конвертерного шлака является применение пневматического манипулятора [14], выполненного в виде шлакового стопора, установленного непосредственно перед выпускным отверстием.

Использовать пневматические манипуляторы целесообразно с пневматическими двигателями, не имеющими подвижных уплотнений

(поршни, плунжеры), а выполненных по типу мышцеобразных элементов [15]. Особенностью манипулятора, представленного на рис. 28, является использование гибких приводных элементов. Основным приводным элементом является гибкая стальная лента, изменение кривизны которой обеспечивает перемещение шлакового стопора.

Рабочая среда – сжатый воздух подается в защищенный гофрированный баллон. Баллон размещается между лентой и основанием. Манипулятор может работать в двух режимах: ручной и автоматический. Стопор подается вручную с пульта управления. Автоматический режим обеспечивается применением специальных информационных систем, анализирующих окончание прохождения стали и начало прохождения шлака.

Манипулятор работает следующим образом. Стопор подается гибким приводным элементом к сталеразливочному отверстию при появлении шлака из отверстия. Одновременно автоматически подается сжатый воздух через стопор для отдува шлака. После перекрытия сталевыпускного отверстия конвертера необходимо поворачивать в исходное вертикальное положение. Отмеченная система автоматического манипулятора-стопора можно также выполнять в виде законченного модуля и менять в случае необходимости при различных ремонтах конвертера.

При использовании такого пневматического манипулятора – шлакового стопора уменьшается количество вынесенного в ковш шлака, экономится алюминий, используемый при раскислении, повышается средняя степень чистоты стали. Уменьшается также содержание кислорода и индекс неметаллических включений.

Гибкие приводные элементы эффективно работают и в следующем (рис. 29) устройстве [15] для закрывания выпускного отверстия конвертера. Оно также содержит механизм подвода запирающего газа, установленный на оси вращения, и размещенный на опоре вблизи выпускного отверстия конвертера 1 поворотный рычаг 2 с соплом 3. Сопло в данном случае выполнено в виде трубы для подвода запирающего газа. При этом поворотный рычаг снабжен приво-

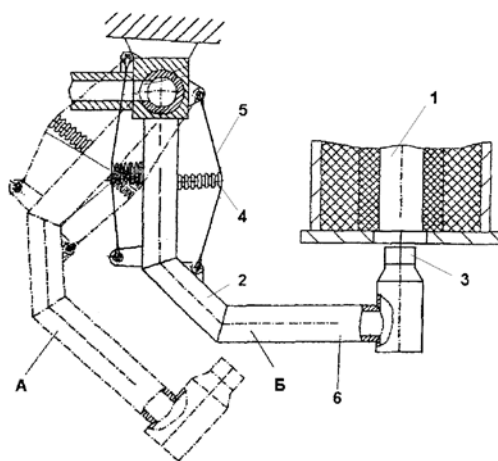


Рис. 29. Устройство для закрывания выпускного отверстия конвертера

дом 4 каждый из которых выполнен в виде гибких связей 5, шарнирно закрепленных на дополнительных цапфах, эластичных оболочек и системой подвода рабочей среды.

Эффективное использование эластичного приводного элемента определяется количеством используемых гибких связей – лент. Большое их количество увеличивает силовые возможности приводного элемента, что очень важно при отмеченном использовании рассматриваемых манипуляторов, в частности при появлении насталеобразования. Одной из задач, возникающих при использовании двух и более лент в гибком приводном элементе, является обеспечение одинаковой длины лент. Приводной элемент [16] (рис. 30) содержит встречно установленные гибкие ленты 1 и 2, между которыми находится рабочий баллон 3. Гибкие связи – ленты крепятся в поворотных узлах крепления 4 и 5. Применение поворотных узлов совместно с встречно установленными лентами обеспечивают в процессе работы самоустанавливаемость лент.

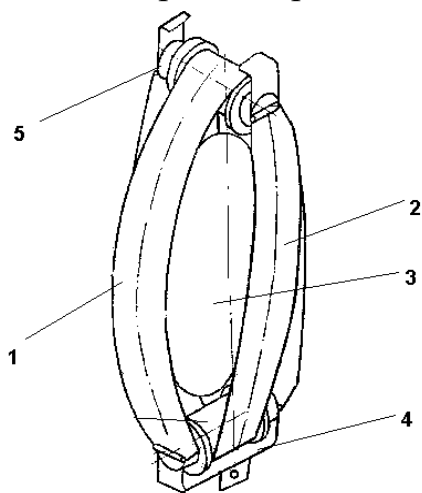


Рис. 30. Гибкий приводной элемент

Схема одностороннего, обеспечивающего перемещение подвижных звеньев в одну сторону, гибкого приводного элемента, установленного на поступательной степени подвижности, приведена на рис. 31. На подвижном и неподвижном звеньях 1, 2 шарнирно закреплены гибкие связи - ленты 3. На рисунке представлен вариант использования двух лент. Боковые поверхности между лентами закрыты упругими пластинами 4 (при этом возможны гибкие усиления пластин или использование боковых предохранительных стенок).

В рабочий баллон 5 подается сжатый воздух после срабатывания распределителя 6. По мере повышения давления гибкие связи

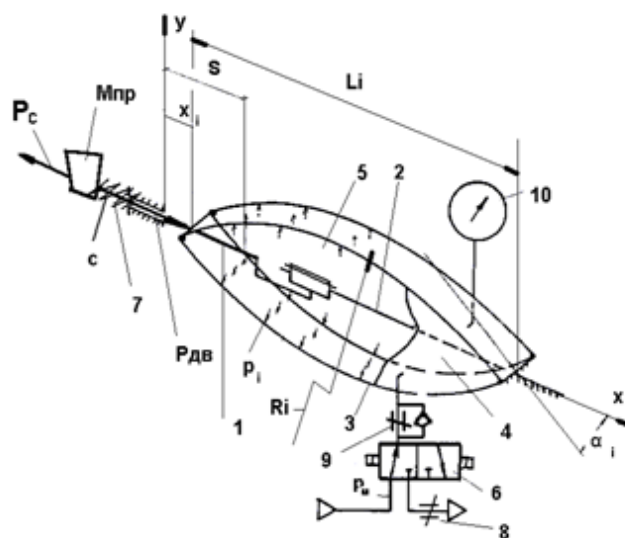


Рис. 31. Схема гибкого приводного элемента

совместно с подвижным звеном перемещаются вправо. Упругий элемент 7 обеспечивает возврат приводного элемента в исходное положение. Дроссели 8, 9 используются для регулирования скорости движения звена.

7.2. Устройства для защиты струи металла

При разливке стали одной из причин снижения ее качества является эжекция воздуха в струю сливаемого металла.

При этом металл в изложнице или кристаллизаторе, подвержен вторичному окислению.

Для повышения качества стали за счет полной защиты металла при разливке от вторичного окисления и устранения подсоса воздуха предлагается устройство (А.с. СССР № 899274 М. Кл. В 22 D 41/08), содержащее коллектор направляющий газ вдоль падающей струи металла и изолирующий ее от воздуха.

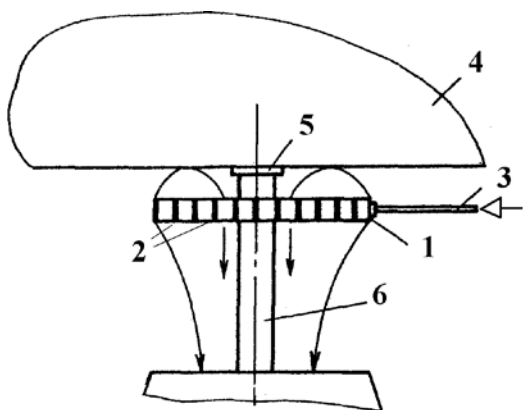


Рис. 32. Защита струи металла

Устройство состоит (рис. 32) из коллектора 1, выполненного из трубы и сопел 2, расположенных перпендикулярно плоскости коллектора. Устройство снабжено газо-подводящим штуцером 3.

Торообразный коллектор 1 с верхними и нижними соплами 2 и патрубком 3 прикрепляется к ковшу 4 соосно со сталеразливочным стаканом 5. Во время разливки металла газ через штуцер 3 подается в коллектор, а из коллектора через сопла выходит параллельными струе металла 5 потоками, которые достигают зеркала металла

в изложнице 7. Газ, выходящий из нижних сопел, движется вдоль струи вниз, а выходящий из верхних - эжектируется струей металла, и, попав в пространство между потоком газа нижних сопел и струей металла, движется совместно с ними вниз. Благодаря верхним соплам в зону повышенной эжекции поступает газ, что предотвращает попадание воздуха к струе металла. Металл экранирован двойным слоем газа - слоем газа из нижних сопел и слоем газа из верхних сопел.

Такое расположение газовых потоков полностью исключает вторичное окисление металла, а также возможность подсоса воздуха. Отсутствие внедрения газовых потоков в струю металла способствовало тому, что струя в своем движении оставалась плотной и не забрызгивала стенки изложницы. Частота расположения сопел позволила получить сплошную газовую завесу, исключаящую подсос воздуха. Таким образом, количество и частота, а также вертикальное расположение сопел позволило полностью исключить подсос воздуха, вторичное окисление стали и дробление струи металла на всей ее протяженности.

7.3. Преодолевающие психологические барьеры

Следующие технические проблемы, связанные с металлургическим производством, были разрешены доцентом кафедры "Технология металлов" Курганского машиностроительного института изобретателем А.Г. Юшковским. Они наглядно демонстрируют, как преодолеваются психологические барьеры, часто мешающие изобретателю видеть эффективное конечное решение.

На металлургическом заводе необходимо было вырезать плиты из многослойного слитка стали длиной 1,5 и диаметром 0,5 метра. Слиток закреплялся на токарном станке. К нему подводилось несколько больших резцов. Расстояние между резцами соответствовало необходимой толщине плиты. Слиток вращался в токарном станке, и все резцы постепенно его разрезали.

Но полностью нарезать стальной слиток на плиты было невозможно. В этом случае тяжелые плиты рухнули бы на станок. Поэтому в слитке оставляли шейку толщиной в несколько сантиметров, которая позволяла удерживать его в станке. После этого слиток снимали со станка, резко ударили по нему, отчего он и распадался на отдельные плиты. Однако во время удара у 10 - 15 % плит происходит вырыв - разрушение не шло по центру шейки. Плиты с вырывом отбраковывались!

Как ликвидировать брак по вырыву тела плиты?

Первый психологический барьер изобретатель преодолел быстро: надо на шейке делать неглубокую канавку и тогда при ударах разрыв будет идти по этому месту. Возникает новая задача, как делать канавку? Для этого надо иметь "надрезные" резцы длиннее обычных, чтобы после окончания резки ими можно было выточить канавку на шейке. Но где их расположить и когда они должны вступать в действие? Решение казалось бы простое - дополнительный резец должен быть приведен в действие тогда, когда основные резцы закончили работу. Следовательно, надо изготовить приспособление, чтобы основные резцы отводить, а "надрезные" подводить. Но конструктивно это осуществить трудно, такой метод не годится. Снова барьер, который надо преодолеть.

А что если "надрезные" резцы поставить с другой стороны заготовки и подводить их, когда основные уже сделали надрез и образовали шейку? Да, это проще. Но и тут оказалось, что станок надо значительно реконструировать, ведь он не приспособлен для "двусторонней" обработки стали. И снова поиски, размышления, догадки. Но оказалось все так просто! Надо только изменить геометрию основного режущего резца, сделать его в виде остроугольного треугольника (рис. 33). Тогда он будет и резать, и канавку делать! Вот так родилось это интересное и простое изобретение, которое позволило сэкономить многие тонны дорогой стали.

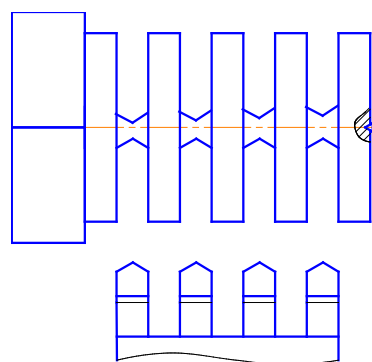


Рис. 33. Нарезка плит

Сварные трубы большого диаметра сваривают из стального листа. Но в процессе сварки трудно обеспечить круглое сечение трубы, обычно оно полу-

чатся эллипсоидальным. Поэтому после сварки трубу помещают в специальную камеру и нагнетают в нее под большим давлением воду.

Как известно, давление жидкости по всем направлениям одинаковое, поэтому такая операция обеспечивает трубам строго круглое сечение. Кроме этого, под давлением металл деформируется ("течет"), и диаметр трубы увеличивается. Давление "снимается" в тот момент, когда диаметр трубы достигнет нужного размера. Если диаметр трубы больше требуемого, то совершенно ясно, что при монтаже трубопровода стыки отдельных труб нельзя будет сварить. Но точно измерить диаметр трубы во время "правки и доводки" было достаточно трудным делом. Поэтому фиксировали то давление воды в трубе, которое по опытным данным обеспечивало необходимый размер ее диаметра.

При таком способе количество брака возрастало, так как механические свойства каждой трубы даже из одной и той же стали чуть-чуть, но отличаются друг от друга. И это "чуть-чуть" не позволяло часто получать необходимые размеры диаметра трубы - трубы шли в брак.

Многие специалисты в нашей стране и за рубежом пытались решить проблему точного измерения диаметра трубы в период "доводки", но не решились. Не смогли преодолеть простого психологического барьера. А.Г. Юшковский его преодолел и необыкновенно простым способом решил эту проблему. Дело в том, что он нашел совершенно другие ориентиры. Он поставил перед собой вопрос: "Непосредственно измерить диаметр трубы в этом процессе практически невозможно, следовательно, надо искать пути косвенного замера".

Такой путь был найден, и измерение диаметра трубы было осуществлено замером нагнетаемого в трубу объема воды. Определить необходимый объем воды легко. И этот объем обеспечивает заданный диаметр трубы.

7.4. Используя приемы при создании элементов машин

Ниже рассмотрены технические задачи, для решения которых использовались разработанные Альтшуллером Г.С. приемы разрешения технических противоречий (приложение 2). Несмотря на свою простоту, данный способ позволяет получить, причем весьма быстро, интересные технические решения, прийти к которым методом проб и ошибок затруднительно. Вот некоторые из этих задач относящиеся как непосредственно к металлургической промышленности, так и к смежным ей отраслям.

Для непрерывного циклического перемещения (плунжера, груза и т.п.) при значительной высоте подъем используется привод с электродвигателем, редуктором и барабаном с навиваемым на него гибким тяговым органом, например, выполненным из стальной ленты. При вращении в одну сторону – тяговый орган разматывается и груз опускается вниз.

Если требуется подъем груза, то двигатель переключается на реверс и груз поднимается. Отключение двигателя и включение его в обратную сторону простая задача, но вызывающая дополнительный расход энергии и повышающая нагрузку на силовые элементы привода и тягового органа. Можно

ли при минимальных затратах и переделках сократить расход энергии и повысить надежность работы элементов привода?

Для решения задачи используем приемы (см. приложения 2). Выбор пал на приемы 13 и 15. Прием 13 «наоборот» или принцип инверсии (от латинского — «переворачивание», «перевертывание», «перестановка»). Он заключается в обращении функции, формы и расположения элементов и системы в целом. Прием 15 «принцип динамизации» предполагает, что характеристики, параметры всей системы или ее элементов должны быть изменяющимися и оптимальными на каждом этапе процесса или на новом режиме. Изменения должны происходить постоянно, плавно и не быть ступенчатыми или фиксированными во времени.

Результатом реализации этих приемов явился барабан для ленточного тягового органа [17] схема которого в разрезе представлена на рис. 34.

Барабан содержит обечайку 1 с ребрами 2, имеющую выемку, в которой размещено устройство для крепления ленточного тягового органа 3,

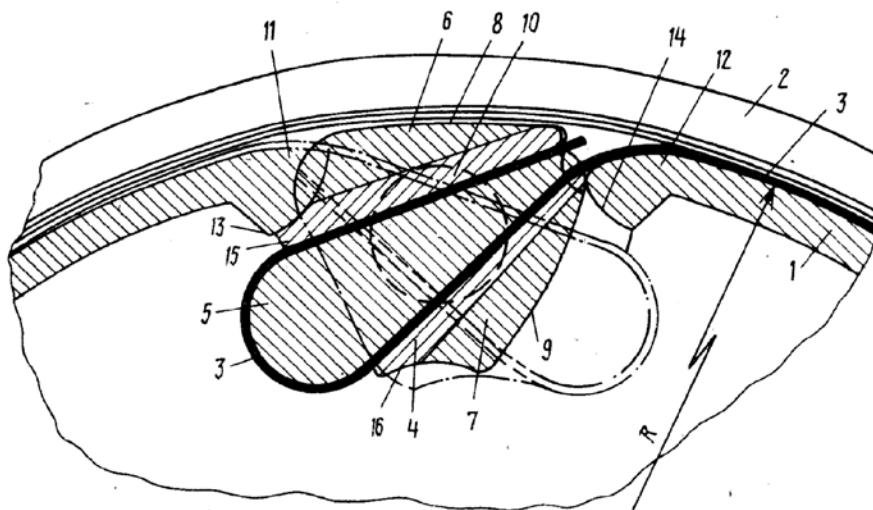


Рис. 34. Барабан для ленточного тягового органа

содержащее обойму 4 с клином 5 и закрепленными на ней вкладышами 6 и 7 с наружными цилиндрическими поверхностями 8 и 9. Радиус их равен радиусу наружной поверхности обечайки. Обойма снабжена цапфами 10, установленными в отверстиях реборд, при этом обойма 4 с вкладышами 6 и 7 может поворачиваться относительно цапф, оси которых параллельны оси барабана. Края 11 и 12 выемки обечайки скруглены. На внутренней части краев, выемки обечайки имеются опорные поверхности 13 и 14, а в коренной части обоймы опорные поверхности 15 и 16.

Работает барабан следующим образом. При вращении барабана, например, против часовой стрелки под действием усилия, передаваемого от груза ленточным тяговым органом 3, обойма 5 с вкладышами 6 и 7 повернется в цапфах по часовой стрелке в правое фиксированное положение (сплошная линия на рис. 34.). Фиксация достигается тем, что опорная поверхность 15

обоймы 4 упирается в опорную поверхность 13 внутреннего края выемки обечайки 1. При этом ленточный тяговый орган 3, закрепленный в обойме посредством клина 5, ляжет на скругленную поверхность 12 выемки обечайки. В процессе дальнейшей навивки лента, обогнув по окружности обечайку, ляжет на цилиндрическую поверхность 8 вкладыша 6, а последующие витки ленты будут располагаться на первом и т.д. витках.

При вращении барабана по часовой стрелке обойма с вкладышами поворачивается против часовой стрелки и занимает левое фиксированное положение (штрихпунктирная линия на рис. 34). Теперь фиксация достигается тем, что опорная поверхность 16 обоймы 4 упирается в опорную поверхность 14. Лента, выходя из выемки, расположится на поверхности скругления 11, обогнет обечайку и ляжет уже на цилиндрическую поверхность 9 вкладыша 7.

Так как устройство для крепления ленточного тягового органа в предлагаемом барабане выполнено динамичным, с возможностью поворота, то этим достигается уменьшение угла поворота самой ленты при выходе на обечайку. Следовательно, радиус закругления при этом можно выполнить большим, а изгибные напряжения меньшими, чем в известных конструкциях барабана. Кроме того, предлагаемый барабан позволяет уменьшить относительную величину выходящей на поверхность обечайки выемки, так как часть выемки перекрывается цилиндрической поверхностью вкладышей, выполненных с радиусом, равным радиусу самой обечайки. Это также позволяет снизить величину изгибных напряжений в витках первого и последующих витков ленты.

Таким образом, использование только двух приемов позволило модернизировать конструкцию барабана и обеспечить более высокую надежность при навивке ленты на барабан как в одну, так и в другую стороны без переключения электродвигателя!

Указанные выше прием с успехом срабатывают и в следующих изобретениях, относящихся уже к агрегатам, обеспечивающим прохождение жидкого металла на машинах непрерывного литья заготовок, в частности, к выпуску стали из промежуточных ковшей при непрерывной разливке.

Для непрерывной разливки металлов применяются различные промежуточные ковши. Предлагаются промежуточные ковши, которые содержат два разливочных стакана в своем днище, подвижные перегородки, снабженные приводами их перемещения, и разделяющие рабочую полость промежуточного ковша на три зоны, сообщающиеся между собой, - одну приемную и две разливочные (см. патент РФ № 2109593, В22 D 11/00, 11/10).

Большим минусом такого ковша является недостаточное качество металла в условиях непрерывной разливки, особенно при использовании последовательной схемы подачи сталеразливочных ковшей методом "плавка на плавку". Это объясняется тем, что при последовательной смене сталеразливочных ковшей с металлом различного химического состава, при перемещении подвижных перегородок в сторону приемной камеры, изменяются уровни металла и плавного шлака. В центральной приемной камере уровень повышается, а в крайних разливочных камерах понижается, при этом через боковые зазоры чи-

стый металл из приемной камеры сливается на покровный шлак, находящийся в разливочных камерах. В этом случае происходит смешивание металла с покровным шлаком, находящимся на поверхности металла в разливочной камере, и далее последующее распределение шлака в металле, находящемся в разливочных камерах. Это приводит к последующему затягиванию шлака в разливочное отверстие промежуточного ковша и далее в кристаллизатор. В результате ухудшается качество металла.

Техническая задача заключается в повышении качества металла при разливке, с одновременным обеспечением повышения выхода годных непрерывнолитых слитков по химическому составу при использовании последовательной схемы подачи разливочных ковшей методом "плавка на плавку".

Поставленная техническая задача решается тем [18], что каждая из перегородок, выполнена в виде попарно установленных поворотных стенок. Отсекающей, установленной со стороны разливочной зоны. И регулирующей, установленной со стороны приемной зоны. При этом стенки шарнирно установлены на индивидуальных опорных осях, центры которых смещены друг относительно друга в сторону приемной зоны, а на днище установлен ориентатор стенок, часть которого выполнена в разливочных зонах с цилиндрическими поверхностями радиусами равными высоте отсекающей стенки, проведенных вокруг опорных осей отсекающих стенок (рис. 35).

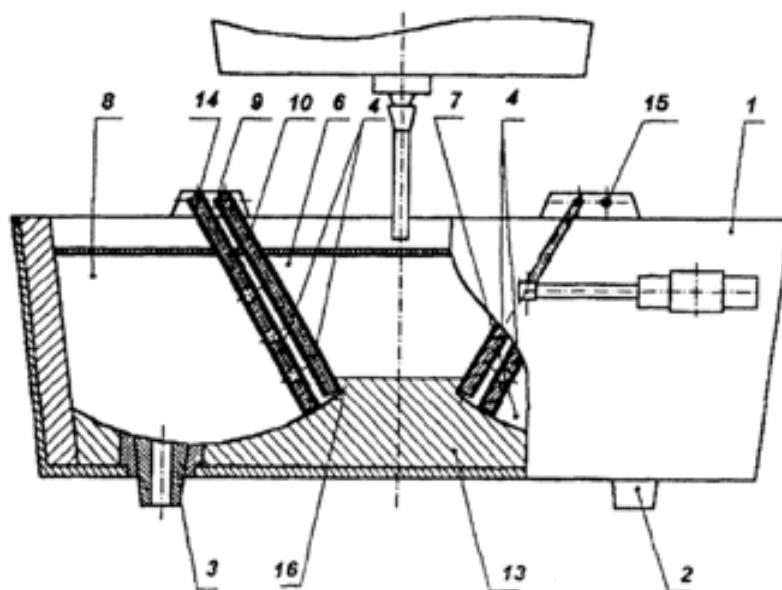


Рис. 35. Промежуточный ковш для непрерывной разливки металла с подвижными перегородками

Ковш включает футерованный корпус 1, два разливочных стакана 2, 3 закрепленные в днище, подвижные перегородки 4, снабженные приводами 5 их перемещения, и разделяющие рабочую полость промежуточного ковша на три зоны, сообщающиеся между собой: одну приемную зону 6 и две разливочные зоны 7 и 8. Каждая из перегородок 4, выполнена в виде попарно установленных поворотных стенок: отсекающей стенки 9, установленной со стороны разливочных зон 7, 8, и регулирующей стенки 10, установленной со стороны прием-

ной зоны 6. При этом отсекающие стенки 9 шарнирно закреплены на опорных осях 11, а регулирующие стенки 10 шарнирно закреплены на опорных осях 12. Центры осей 11 и 12 смещены друг относительно друга в сторону приемной зоны 6. На днище установлен ориентатор 13 стенок 9 и 10. Часть ориентатора 13 стенок 9 и 10, выполнена в разливочных зонах 7 и 8 с цилиндрическими поверхностями радиусами равными высоте отсекающих стенок 9, проведенных вокруг центров 14 и 15 опорных осей 11 отсекающих стенок 9.

В процессе непрерывной разливки производят последовательную разливку сталеразливочных ковшей с металлом различного химического состава методом "плавка на плавку" без перерыва струй металла в кристаллизаторы. Металл подают в промежуточный ковш на ориентатор 13. Из промежуточного ковша металл направляется через разливочные стаканы 2, 3 в кристаллизаторы, из которых вытягивают непрерывнолитые заготовки. Стенки перегородок 4 при этом устанавливаются в промежуточное положение, определяемое расходом металла через разливочные стаканы.

Перед началом подачи металла в промежуточный ковш из очередного сталеразливочного ковша перегородки находятся в исходном положении. При этом уровень металла предыдущей плавки в разливочных зонах должен остаться на уровне некотором рабочем уровне в промежуточном ковше. Приемная зона замыкается, и вновь поступающий металл постепенно заполняет ее полость, не смешиваясь с металлом предыдущей плавки. По мере заполнения приемной зоны, приводятся в движение посредством цилиндров отсекающие стенки 9, они поворачиваются на опорных осях с угловой скоростью, соответствующей расходу металла через разливочные стаканы. Регулирующие стенки в это время остаются на исходной позиции.

Как только отсекающие стенки достигают положения, над разливочными стаканами, начинают поворачиваться регулирующие стенки. Через зазоры между поверхностями ориентатора и стенками металл начинает поступать в разливочные зоны.

Отсекающие стенки продолжают поворачиваться до крайнего положения, обеспечивающего минимальный объем разливочных зон. Отсечение металла различных плавков происходит в момент прохождения отсекающих стенок над разливочными стаканами, металл очередной плавки начинает поступать в кристаллизатор.

Из крайнего положения отсекающие стенки перемещаются в сторону приемной зоны и устанавливаются между разливочными стаканами и регули-

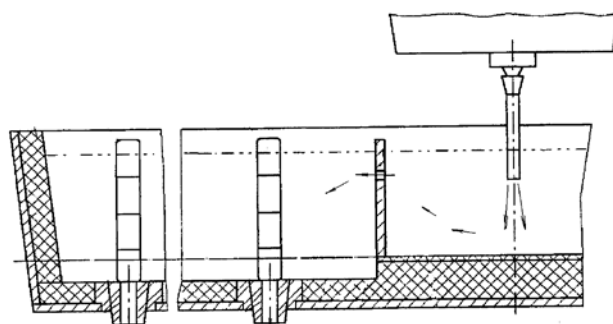


Рис. 36. Ковш промежуточный для разливки металла

рующими стенками. В таком положении происходит вся дальнейшая разливка металла определенного химического состава. Перед сменой сталеразливочного ковша с металлом другого химического состава перегородки возвращаются в исходное положение и цикл повторяется. Эти же приемы применены и в других конструкциях промежуточных ковшей [19] для непрерывной разливки металла (рис. 36 и рис. 37). Цель - обеспечить снижение негативного действия энергии струй металла путем их нейтрализации.

В конструкции промежуточного ковша приведенного на рисунке 37, вместо привычных плоских стенок в соответствии с приемом 14 применены криволинейные стенки, обеспечивающие их лучшую устойчивость напорю металла.

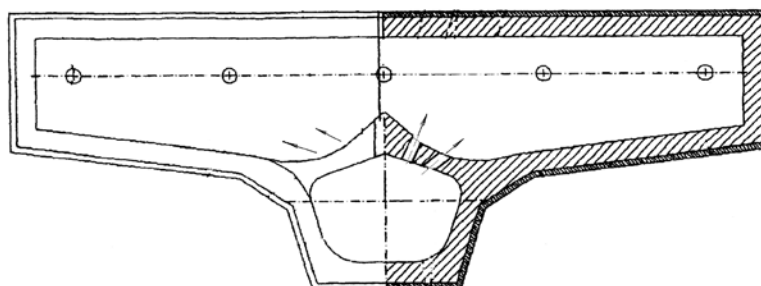


Рис. 37. Промежуточный ковш для разливки металла

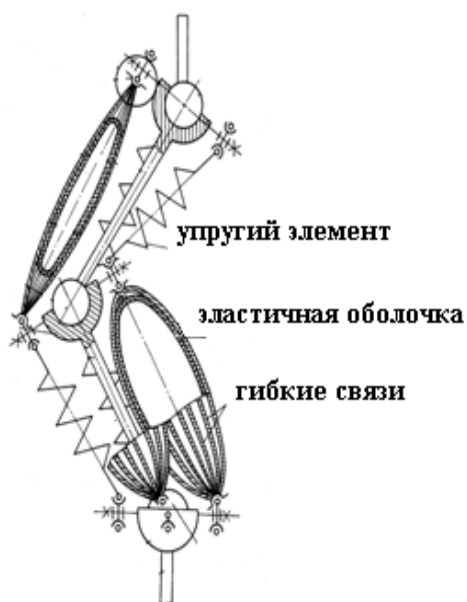


Рис. 38. Манипулятор с гибкими связями

Далее рассмотрены примеры на использовании приемов 29 и 30. В приеме 29 предлагается использовать пневмо- и гидроконструкций: вместо твердых частей объекта использовать газообразные и жидкие: надувные и гидронаполняемые. А в приеме 30, а - использование гибких оболочек и тонких пленок: вместо обычных конструкций использовать гибкие оболочки и тонкие пленки.

Предложения касаются хоботов манипуляторов. Это силовая часть промышленного робота или другого устройства, предназначенного для манипулирования различными объектами. Привычным являются устройства, которые выполнены в виде жестких звеньев с приводами в виде двигателей с вращательными или поступательными движениями. Установка обычного привода на

звене ведет к повышению массы звена с вытекающими отсюда нежелательными последствиями. Установка привода на неподвижной опоре требует разработки специальных устройств для передачи движения и, как правило, ведет к

снижению точности позиционирования объекта. Не говоря уже о сложности эксплуатации данного манипулятора.

Ни рис. 38 – 40 представлены хоботы манипулятора, в конструкции которых используются надувные пневматические элементы, воздействующие на гибкие элементы и обеспечивающие, таким образом, вращательный момент на звене хобота манипулятора.

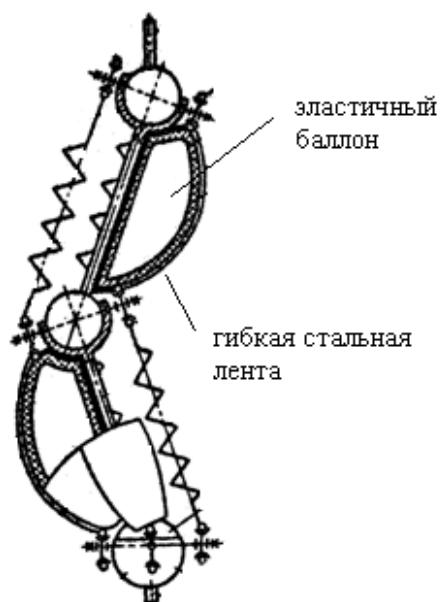


Рис. 39. Хобот манипулятора

На рис. 38 приведен исполнительный орган манипулятора с гибкими связями [20]. Приводы звеньев выполнены в виде эллипсоидальных армированных в продольном направлении гибкими элементами эластичных оболочек, соединенных с системой подвода рабочей среды (не показана). Приводы установлены на звеньях симметрично относительно продольной оси стойки с упругими элементами, выполненными, например, в виде пружин.

В конструкции [21, 22, 23], представленной на рис. 40, гибкие элементы выполнены из стальной тонкой ленты воспринимающие давление от эластичного баллона и передающие усилие на элементы соответствующего звена.

В конструкции [24] приведенной на рис. 40, хобот манипулятора снабжен дополнительными гибкими элементами и упругими эластичными связями, установленными на эластичных пластинах модулей. Все эти элементы ориентированы на пластинах вдоль гибкой ленты и связаны упругими эластичными связями.

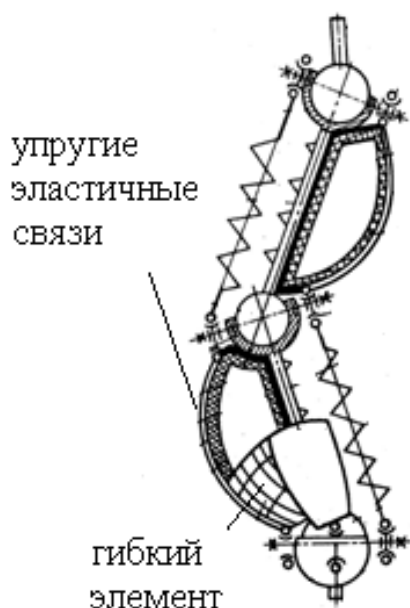


Рис. 40. Хобот манипулятора

В исходном положении упругие элементы сжаты. При подаче в один из баллонов рабочей среды под определенным рабочим давлением вследствие того, что баллон ограничен эластичными пластинами, он заполняет полость и способствует изгибу ленты. Это обеспечивает поворот одного из звеньев относительно другого на определенный угол. Возврат звеньев в исходное состояние осуществляется за счет сжатия упругих элементов. При этом гибкие элементы, свободно изгибаясь совместно с пластинами, работают на растяжение, упругие эластичные связи при этом растягиваются.

В результате того, что в процессе эксплуатации модуля обеспечивается рациональная работа эластичных пластин, гибких элементов и упругих эластичных связей, уменьшаются нагрузки, действующие на эластичные пластины при тех же силовых параметрах привода. Применение предлагаемых схем хобота манипулятора в промышленных роботах позволяет последним работать в широком диапазоне пространства.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Декарт Ренэ. Правила для руководства ума. М.- Л.. Государственное социально-экономическое издательство. 1936. 176 с.
2. Альтшуллер Г.С. Творчество как точная наука. М.: Советское радио, 1979. 184 с.
3. Альтшуллер Г.С. Найти идею. Введение в теорию решения изобретательских задач. Новосибирск: Наука, 1986. 209 с.
4. Рыжов К.В. 100 великих изобретений – М.: Вече, 2015. - 320 с.
5. Хубка И. Теория технических систем. М.: Мир, 1987. 208 с.
6. Сухотин А. К. Превратности научных идей. – М.: Молодая гвардия, 1991. 181 с.
7. Филатов А. М., Точилкин В. В. Естественно-научные основы разработки искусственных систем: Учеб. пособие. - Магнитогорск: МГМА, 1997. 85 с.
8. А.с. СССР 954367 SU, МКИ³ В66D 3/04. Полиспаств / А.М. Филатов, Ю.И. Мелентьев, В.В. Точилкин, В.А. Пестряков. Заявл. 04.01.1981; Оpubл. 30.08.1982. Бюл. № 32.
9. Орлов П.И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие в 3-х книгах, 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Машиностроение, 1977.
10. Джонс Дж. К. Методы проектирования: Пер. с англ. – 2-е изд., доп. - М.: Мир, 1986.
11. Вдовин К.Н., Мысик В.Ф., Точилкин В.В., Чиченев Н.А. Проектирование цехов сталеплавильного производства: учебник. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2016. 505 с.
12. Точилкин В.В. Пневматические манипуляторы для отсечки конвертерного шлака // Вестник машиностроения. 2007. № 10. С. 42 – 44.
13. Точилкин В.В., Кольга А.Д. Автоматический манипулятор для отсечки конвертерного шлака // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. - 1995. - № 10. - С. 68 - 69.
14. Точилкин, В. В. Проектирование элементов металлургических машин и оборудования : учебное пособие / В. В. Точилкин, О. А. Филатова ; МГТУ. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsistema.ru/uploader/fileUpload?name=3319.pdf&show=dcatalogues/1/1138305/3319.pdf&view=true> (дата обращения: 04.10.2019). - Макрообъект. - Текст : электронный. - ISBN 978-5-9967-0975-5. - Сведения доступны также на CD-ROM.
15. Пат. 41017 РФ, МПК⁷ С21С 5/46, F27D 3/15. Устройство для закрытия выпускного отверстия конвертера / В.Ф. Рашников, Р.С. Тахаутдинов, В.М. Корнеев, К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, А.Н. Даровских, А.М. Филатов, Д.А. Бодяев, С.Ю. Зайцев. Заявл. 16.06.2004; Оpubл. 10.10.2004. Бюл. № 28.
16. Пат. 41463 РФ, МПК⁷ С21С 5/46, F27D 3/15. Устройство для отсечения шлака и закупорки выпускного отверстия металлургического агрегата /

В.Ф. Рашников, Р.С. Тахаутдинов, К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, А.Н. Даровских, А.М. Филатов, Д.А. Бодяев, С.Ю. Зайцев. Заявл. 16.06.2004; Оpubл. 27.10.2004. Бюл. № 30.

17. Пат. на изобретение 2005063 РФ, МПК³ В25J 1/2. Исполнительный орган манипулятора / В.В. Точилкин, А.М. Филатов. Заявка 5025141/08; Заявлено 31.01.1992; Оpubл. 30.12.1993. Бюл. № 47- 48.

18. А.с. СССР 1049417 SU, МКИ³ В66D 1/34. Барабан для ленточного тягового органа / Ю.И. Мелентьев, А.М. Филатов, В.В. Точилкин, В.Я. Панасенко. Заявлено 14.07.1982; Оpubл. 23.10.1983. Бюл. № 39.

19. Пат. 37332 РФ, МПК⁷ В22D 11/10. Промежуточный ковш для непрерывной разливки металла / К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, О.А. Филатова. Заявл. 15.12.2003; Оpubл. 20.04.2004. Бюл. № 11.

20. Пат. 37476 РФ, МПК⁷ В22D 41/00. Ковш промежуточный для непрерывной разливки металла / В.Ф. Рашников, В.Ф. Дьяченко, К.Н. Вдовин, В.В. Точилкин, В.М. Корнеев, Е.Ю. Мацко, В.С. Климов. Заявл. 31.12.2003; Оpubл. 27.04.2004. Бюл. № 12.

21. А.с. СССР 1348164 SU, МКИ⁴ В25J 1/02. Исполнительный орган манипулятора / В.М. Рябков, В.В. Точилкин, А.Н. Макаров, А.М. Филатов, С.А. Торощин, К.Ю. Терещенко. Заявл. 23.06.1986; Оpubл. 30.10.1987. Бюл. № 40.

22. А.с. СССР 1021596 SU, МКИ³ В25J 1/02. Хобот манипулятора / Ю.И. Мелентьев, В.М. Рябков, В.В. Точилкин, Н.И. Иващенко. Заявл. 15.01.1982; Оpubл. 07.06.1983. Бюл. № 21.

23. А.с. СССР 1127763 SU, МКИ³ В25J 1/02. Хобот манипулятора / В.В. Точилкин, Ю.И. Мелентьев, А.Г. Минаев, С.А. Торощин. Заявл. 17.05.1983; Оpubл. 07.12.1984. Бюл. № 45.

24. А.с. СССР 1283079 SU, МКИ³ В25J 1/02. Исполнительный орган манипулятора / В.В. Точилкин, В.А. Новоселов, А.М. Филатов, Г.Н. Доценко. Заявл. 06.06.1985; Оpubл. 15.01.1987. Бюл. № 2.

25. А.с. СССР 1085802 SU, МКИ³ В25J 1/02. Хобот манипулятора / Ю.И. Мелентьев, В.В. Точилкин. Заявл. 24.12.1982; Оpubл. 15.04.1984. Бюл. № 14.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Принципы разрешения физических противоречий (по Альтшуллеру Г.С. [2, 3])

Принципы	Примеры
Разделение противоречивых свойств в пространстве	А.с. СССР № 256708. Для пылеподавления при горных работах капельки воды должны быть мелкими. Но мелкие капли образуют туман. Предложено окружать мелкие капли конусом из крупных капель.
Разделение противоречивых свойств во времени	А.с. СССР № 258490. Ширину ленточного электрода меняют в зависимости от ширины сварного шва.
Системный переход 1 а: объединение однородных или неоднородных систем надсистему.	А.с. СССР № 722624. Слябы транспортируют по ролюгангу впритык один к другому чтобы не охлаждались торцы.
Системный переход 1 б: от системы к антисистеме или сочетанию системы с антисистемой,	А.с. СССР № 510350. Рабочие части тисков для зажимов деталей сложной формы каждая часть (стальная втулка) твердая, а в целом зажим податливый, способен менять форму.
Системный переход 1 в: вся система наделяется свойством С, а ее части — свойством анти-С.	А.с. СССР № 179479. Вместо механического, крана — «термокран» из двух материалов с разными коэффициентами теплового расширения. При нагревании образуется зазор.
Системный переход 2: переход к системе работающей на микроуровне,	А.с. СССР № 252262. Способ энергоснабжения потребителей сжатого газа в шахтах — транспортируют сжиженный газ.
Фазовый переход 1: замена фазового состояния части системы или внешней среды.	А.с. СССР № 958837. Теплообменник снабжен прижатыми к нему «лепестками» из никелида титана; при повышении температуры «лепестки» отгибаются, увеличивая площадь охлаждения.
Фазовый переход 2: «двойственное» фазовое состояние одной части системы(переход этой части из одного состояния в другое в зависимости от условий работы).	А.с. СССР № 601192. Приспособление для транспортировки мороженых грузов имеет опорные элементы в виде брусков льда (снижение трения за счет таяния).
Фазовый переход 3: использование явлений, сопутствующих фазовому переходу	Способ полирования изделия. Рабочая среда состоит из жидкости (расплав свинца) и ферромагнитных абразивных частиц.

Окончание табл.

Принципы	Примеры
Фазовый переход 4: замена однофазного вещества двухфазным,	А.с. СССР № 342761. Для пластификации древесины аммиаком осуществляют пропитку древесины солями аммония, разлагающимися при трении.
Физико-химический переход: возникновение — исчезновение вещества за счет разложения — соединения, ионизации — рекомбинации.	

физических противоречий (по Альтшуллеру Г.С. [2, 3])

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Приемы разрешения технических противоречий

1. **Дробление:** а) разделить объект на независимые части; б) выполнить объект разборным; в) увеличить степень дробления объекта.

2. **Вынесение:** отделить от объекта «мешающую» часть («мешающее» свойство) или, наоборот, выделить единственно нужную часть или нужное свойство.

3. **Местное качество:** а) перейти от однородной структуры объекта или внешней среды (внешнего воздействия) к неоднородной; б) разные части объекта должны выполнять различные функции; в) каждая часть объекта должна находиться в условиях, наиболее благоприятных для ее работы.

4. **Асимметрия:** а) перейти от симметрической формы объекта к асимметрической; б) если объект уже асимметричен, увеличить степень асимметрии.

5. **Объединение:** а) соединить однородные или предназначенные для смежных операций объекты; б) объединить во времени однородные или смежные операции.

6. **Универсальность:** объект выполняет несколько разных функций, благодаря чему отпадает необходимость в других объектах.

7. **«Матрешка»:** а) один объект размещен внутри другого, который, в свою очередь, находится внутри третьего и т. д.; б) один объект проходит сквозь полость в другом объекте.

8. **Антивес:** а) компенсировать вес объекта соединением с другим объектом, обладающим подземной силой; б) компенсировать вес объекта взаимодействием со средой (преимущественно за счет аэро- и гидродинамических сил).

9. **Предварительное антидействие:** если по условиям задачи необходимо совершать какое-то действие, надо заранее совершить антидействие,

10. **Предварительное действие:** а) заранее выполнить требуемое действие (полностью или хотя бы частично); б) заранее расставить объекты так, чтобы они могли вступить в действие без затрат времени на доставку и с наиболее удобного места.

11. **«Заранее положенная подушка»:** компенсировать относительно невысокую надежность объекта аварийными средствами.

12. **Эквипотенциальность:** изменить условия работы так, чтобы не приходилось поднимать или опускать объект.

13. **«Наоборот»:** а) вместо действия, диктуемого условиями задачи, осуществить обратное действие; б) сделать движущуюся часть объекта или внешней среды неподвижной, а неподвижную — движущейся; в) повернуть объект «вверх ногами», вывернуть его.

14. **Сфероидальность:** а) перейти от прямолинейных частей к криволинейным, от плоских поверхностей к сферическим, от частей, выполненных в виде куба или параллелепипеда, к шаровым конструкциям; б) использовать ролики, шарики, спирали; в) перейти от прямолинейного движения к вращательному, использовать центробежную силу.

15. **Динамичность:** а) характеристики объема (или внешней среды) должны меняться так, чтобы быть оптимальными на каждом этапе работы; б) разделить объект на части, способные перемещаться относительно друг друга; в) если объект в целом неподвижен, сделать его подвижным.

16. **Частичное или избыточное действие:** если трудно получить 100% требуемого эффекта, надо получить «чуть меньше» или «чуть больше»,— задача при этом может существенно упроститься.

17. **Переход в другое измерение:** а) трудности, связанные с движением (или размещением) объекта по линии, устраняются, если объект приобретает возможность перемещаться в двух-трех измерениях; б) использовать многоэтажную компоновку объектов вместо одноэтажной; в) наклонить объект или положить его набок; г) использовать обратную сторону данной площади; д) использовать оптические потоки, падающие на соседнюю площадь или на обратную сторону имеющейся площади.

Прием 17а можно объединить с приемами 7 и 15в. Получается цепь, характеризующая общую тенденцию развития технических систем: от точки к линии, затем к плоскости, потом к объему и, наконец, к совмещению многих объектов.

18. **Использование механических колебаний:** а) привести объект в колебательное движение; б) если такое движение уже совершается, увеличить его частоту (вплоть до ультразвукового); в) использовать резонансную частоту; г) применить вместо механических вибраторов пьезовибраторы; д) использовать ультразвуковые колебания в сочетании с электромагнитными полями.

19. **Периодическое действие:** а) перейти от непрерывного действия к периодическому (импульсному); б) если действие уже осуществляется периодически, изменить периодичность; в) использовать паузы между импульсами.

20. **Непрерывность полезного действия:** а) вести работу непрерывно (все части объекта должны все время работать с полной нагрузкой); б) устранить холостые и промежуточные ходы.

21. **Проскок:** вести процесс или отдельные его части (например, вредные или опасные) на большой скорости.

22. **«Обратить вред в пользу»:** а) использовать вредные факторы (в частности, вредное воздействие среды) для получения положительного эффекта; б) устранить вредный фактор за счет сложения с другими вредными факторами; в) усилить вредный фактор, чтобы он перестал быть вредным.

23. **Обратная связь:** а) ввести обратную связь; б) если обратная связь есть, изменить ее.

24. **«Посредник»:** а) использовать промежуточный объект, переносящий или передающий действие; б) на время присоединить к объекту другой (легко удаляемый) объект.

25. **Самообслуживание:** а) объект должен сам себя обслуживать, выполняя вспомогательные и ремонтные операции; б) использовать отходы (энергии, вещества).

26. **Копирование:** а) вместо недоступного, сложного, дорогостоящего, неудобного или хрупкого объекта использовать его упрощенные и дешевые копии; б) заменить объект или систему объектов их оптическими копиями (изоб-

ражениями). Использовать при этом изменение масштаба (увеличить или уменьшить копии); в) если используются видимые оптические копии, перейти к копиям инфракрасным или ультрафиолетовым.

27. Дешевая недолговечность взамен дорогой долговечности: заменить дорогой объект набором дешевых объектов, поступившись при этом некоторыми качествами (например, долговечностью).

28. Замена механической схемы: а) заменить механическую схему оптической, акустической или «запаховой»; б) использовать электрические, магнитные и электромагнитные поля для взаимодействия с объектом; в) перейти от неподвижных полей к движущимся, от фиксированных к меняющимся во времени, от неструктурных к имеющим определенную структуру; г) использовать поля в сочетании с ферромагнитными частицами.

29. Использование пневмо- и гидроконструкций: вместо твердых частей объекта использовать газообразные и жидкие: надувные и гидронаполняемые, воздушную подушку, гидростатические и гидрореактивные.

30. Использование гибких оболочек и тонких пленок: а) вместо обычных конструкций использовать гибкие оболочки и тонкие пленки; б) изолировать объект от внешней среды с помощью гибких оболочек и тонких пленок.

31. Применение пористых материалов: а) выполнить объект пористым или использовать дополнительные пористые элементы (вставки, покрытия и т. д.); б) если объект уже выполнен пористым, предварительно заполнить поры каким-то веществом.

32. Изменение окраски: а) изменить окраску объекта или внешней среды; б) изменить степень прозрачности объекта или внешней среды; в) для наблюдений за плохо видимыми объектами или процессами использовать красящие добавки; г) если такие добавки уже применяются, использовать люминофоры.

33. Однородность: объекты, взаимодействующие с данным объектом, должны быть сделаны из того же материала (или близкого ему по свойствам).

34. Отброс и регенерация частей: а) выполнившая свое назначение и ставшая ненужной часть объекта должна быть отброшена (растворена, испарена и т. д.) или видоизменена непосредственно в ходе работы; б) расходимые части объекта должны быть восстановлены непосредственно в ходе работы.

35. Изменение агрегатного состояния объекта: сюда входят не только простые переходы, например от твердого состояния к жидкому, но и переходы к «псевдосостояниям» («псевдожидкость») и промежуточным состояниям, например использование эластичных твердых тел.

36. Применение фазовых переходов: использовать явления, возникающие при фазовых переходах, например изменение объема, выделение или поглощение тепла и т. д.

37. Применение теплового расширения: а) использовать тепловое расширение (или сжатие) материалов; б) использовать несколько материалов с разными коэффициентами теплового расширения.

38. Применение сильных окислителей: а) заменить обычный воздух обогащенным; б) заменить обогащенный воздух кислородом; в) воздействовать на воздух или кислород ионизирующими излучениями; г) использовать озони-

рованный кислород; д) заменить озонированный (или ионизированный) кислород озоном.

39. Применение инертной среды: а) заменить общую среду инертной; б) вести процесс в вакууме. Этот прием можно считать антиподом предыдущего.

40. Применение композитных материалов: перейти от однородных материалов к композитным.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Физические эффекты и явления, используемые при решении изобретательских задач

Требуемое действие, свойство	Физическое явление, эффект, фактор, способ
1. Изменение температуры	Тепловое расширение и вызванное им изменение собственной частоты колебаний. Термоэлектрические явления. Спектр излучения. Изменение оптических, электрических, магнитных свойств веществ. Переход через точку Кюри. Эффекты Гопкинса и Баркхаузена
2. Понижение температуры	Фазовые переходы. Эффект Джоуля - Томсона. Эффект Ранка. Термоэлектрические явления
3. Повышение температуры	Электромагнитная индукция. Вихревые токи. Поверхностный эффект. Диэлектрический нагрев. Электронный нагрев. Электрические разряды. Поглощение излучения веществом. Термоэлектрические явления
4. Стабилизация температуры	Фазовые переходы (в том числе переход через точку Кюри)
5. Индикация положения и перемещения объекта	Введение меток — веществ, преобразующих внешние поля (люминофоры) или создающих свои поля (ферромагнетики) и потому легко обнаруживаемых. Отражение и испускание света. Фотоэффект. Деформация. Рентгеновское и радиоактивное излучение. Люминесценция. Изменение электрических и магнитных полей. Электрические разряды. Эффект Доплера
6. Управление перемещением объектов	Действие магнитным полем на объект или на ферромагнетик, соединенный с объектом. Действие электрическим полем на заряженный объект. Передача давления жидкостями и газами. Механические колебания. Центробежные силы. Тепловое расширение. Световое давление
7. Управление движением жидкости и газа	Капиллярность. Осмос. Эффект Томса. Эффект Бернулли. Волновое движение. Центробежные силы. Эффект Вайс-сенберга
8. Управление потоками аэрозолей (пыль, дым, туман)	Электризация. Электрические магнитные поля. Давление света
9. Перемешивание смесей. Образование рас-	Ультразвук. Гравитация. Диффузия. Электрические поля. Магнитное поле в сочетании с ферромагнитным веществом. Электрофорез. Солюбилизация

Требуемое действие, свойство	Физическое явление, эффект, фактор, способ
творов	
10. Разделение смесей	Электро- и магнитосепарация. Изменение кажущейся плотности жидкости-разделителя под действием электрических и магнитных полей. Центробежные силы. Сорбция. Диффузия. Осмос
11. Стабилизация положения объекта	Электрические и магнитные поля, фиксация в жидкостях, твердеющих в магнитном и электрическом полях. Гироскопический эффект. Реактивное движение
12. Силовое воздействие. Регулирование сил. Создание больших давлений	Действие магнитным полем через ферромагнитное вещество. Фазовые переходы. Тепловое расширение. Центробежные силы. Изменение гидростатических сил путем изменения кажущейся плотности магнитной или электропроводной жидкости в магнитном поле. Применение взрывчатых веществ. Электрогидравлический эффект. Оптикогидравлический эффект. Осмос
13. Изменение трения	Эффект Джонсона-Рабека. Воздействие излучений. Эффект аномально низкого трения. Эффект безыносного трения - явление Крагельского. Колебания
14. Разрушение объекта	Электрические разряды. Электрогидравлический эффект. Резонанс. Ультразвук. Кавитация. Индуцированное излучение - лазер
15. Аккумуляция механической и тепловой энергии	Упругие деформации. Гироскопический эффект. Фазовые переходы
16. Передача энергии: механической, тепловой, лучистой, электрической	Деформация. Колебания. Эффект Александра. Волновое движение, в том числе ударные волны. Излучения. Теплопроводность. Конвекция. Явление отражения света (световоды). Индуцированное излучение. Электромагнитная индукция. Сверхпроводимость
17. Установление взаимодействия между подвижным и неподвижным объектами	Использование электромагнитных полей (переход от «вещественных» связей к «полевым»)
18. Измерение	Измерение собственной частоты колебаний. Нанесение и

Требуемое действие, свойство	Физическое явление, эффект, фактор, способ
размеров объекта	считывание магнитных и электрических меток
19. Изменение размеров объекта	Тепловое расширение. Деформация. Магнитоэлектрострикция. Пьезоэлектрический эффект
20. Контроль состояния и свойств поверхности	Электрические разряды. Отражение света. Электронная эмиссия. Муаровый эффект. Излучения
21. Изменение поверхностных свойств	Трение. Абсорбция. Диффузия. Эффект Баушингера. Электрические разряды. Механические и акустические колебания. Ультрафиолетовое излучение
22. Контроль состояния и свойств в объеме	Введение «меток» — веществ, преобразующих внешние поля (люминофоры) или создающих свои поля (ферромагнетики), зависящие от состояния и свойств исследуемого вещества. Изменение удельного электрического сопротивления в зависимости от изменения структуры и свойств объекта. Взаимодействие со светом. Электрические и магнитооптические явления. Поляризованный свет. Рентгеновские и радиоактивные излучения. Электронный парамагнитный и ядерный магнитный резонансы. Магнитоупругий эффект. Переход через точку Кюри. Эффекты Гопкинса и Баркхаузена. Измерение собственной частоты колебаний объекта. Ультразвук. Эффект Мессбауэра. Эффект Холла
30. Инициирование и интенсификация химических превращений	Ультразвук. Кавитация. Ультрафиолетовое, рентгеновское, радиоактивное излучения. Электрические разряды. Ударные волны. Мицеллярный катализ
23. Изменение объемных свойств объекта	Изменение свойств жидкости (кажущейся плотности, вязкости) под действием электрических и магнитных полей. Введение ферромагнитного вещества или действие магнитным полем. Тепловое воздействие. Фазовые переходы. Ионизация под действием электрического поля. Ультрафиолетовое, рентгеновское, радиоактивное излучения. Деформация. Диффузия. Электрические и магнитные поля. Эффект Баушингера. Термоэлектрические, термомагнитные и магнитооптические эффекты. Кавитация. Фотохромный эффект. Внутренний фотоэффект
24. Создание	Интерференция волн. Стоячие волны. Муаровый эффект.

Требуемое действие, свойство	Физическое явление, эффект, фактор, способ
заданной структуры. Стабилизация структуры объекта	Магнитные поля. Фазовые переходы. Механические и акустические колебания. Кавитация
25. Индикация электрических и магнитных полей	Осмоз. Электризация тел. Электрические заряды. Пьезо- и сегнетоэлектрические эффекты. Электреты. Электронная эмиссия. Электрооптические явления. Эффекты Гопкинса и Баркхаузена. Эффект Холла. Ядерный магнитный резонанс. Гиромагнитные и магнитооптические явления
26. Индикация излучения	Опико-акустический эффект. Тепловое расширение. Фотоэффект. Люминесценция. Фотопластический эффект
27. Генерация электромагнитного излучения	Эффект Джозефсона. Явление индуцированного излучения. Тоннельный эффект. Люминесценция. Эффект Ганна. Эффект Черенкова
28. Управление электромагнитными полями	Экранирование. Изменение состояния среды, например увеличение или уменьшение ее электропроводности. Изменение формы поверхностей тел, взаимодействующих с полями
29. Управление потоками света. Модуляция света.	Преломление и отражение света. Электро- и магнитооптические явления. Фотоупругость, эффекты Керра и Фарадея. Эффект Ганна. Эффект Франца—Келдыша

Учебное текстовое электронное издание

**Точилкин Виктор Васильевич
Филатова Ольга Анатольевна**

**СОЗДАНИЕ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАШИН**

Учебное пособие

1,60 Мб

1 электрон. опт. диск

г. Магнитогорск, 2021 год
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Адрес: 455000, Россия, Челябинская область, г. Магнитогорск,
пр. Ленина 38

ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова»
Кафедра проектирования и эксплуатации
металлургических машин и оборудования
Центр электронных образовательных ресурсов и
дистанционных образовательных технологий
e-mail: ceor_dot@mail.ru