Методы поиска новых инженерных решений.

Метод итераций (последовательного приближения)

Процесс проектирования ведется в условиях информационного дефицита, который проявляется в следующем:

невозможность заранее точно указать условия работы проектируемого объекта, не зная его конкретного вида и устройства (исходные данные зависят от вида конечного решения);

выявление в процессе проектирования противоречивых исходных данных, т.е. невозможность достижения технического решения при первоначально предложенных данных, оказавшихся взаимоисключающими;

появление в процессе проектирования необходимости учета дополнительных условий и ограничений, 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 устраняется посредством выполнения итерационных процедур. Первоначально задача решается при предположительных значениях исходных данных и ограниченном числе учитываемых факторов (первый цикл итераций, так называемое «первое приближение»). Далее возвращаемся в начало задачи и повторяем ее решение, но уже с уточненными значениями исходных данных и перечнем факторов, найденными на предыдущем этапе (второй цикл итераций, «второе приближение»). И т.д. Число циклов итераций зависит от степени неопределенности начальной постановки задачи, ее сложности, опыта и квалификации проектировщика, требуемой точности решения. В процессе приближений возможно не только уточнение, но и отказ от первоначальных предположений.

Если хотят подчеркнуть, что первоначальное решение задачи выполнялось в условиях полной или большой неопределенности, первый цикл итераций называют «нулевым приближением».

Не надо бояться итераций в своей работе, поскольку еще ни один технический объект (а также законопроект, книга и т.д.) не был создан с первого раза. С другой стороны, желательно не увлекаться итерациями при выполнении дорогих или продолжительных проектных работ.

В частном случае, когда нет никаких предположений по решению задачи, метод последовательных приближений можно сформулировать в виде совета:

- если не известно, что и как делать (нет идей, данных, определенности и т.п.), возьмите в качестве исходного решения любое известное (идею, схему, данные,...) или предположите какое-нибудь (но желательно разумное) решение задачи. Проанализировав выбранное решение на соответствие условиям задачи, станет видно, что вас в нем не устраивает и в каком направлении его надо улучшать.

Метод декомпозиции

Любой объект-систему можно рассматривать как сложный, состоящий 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 получаются подсистемы первого уровня. Расчленение этих подсистем или некоторых из них, приводит к появлению подсистем второго уровня и т.д.

Упрощенное графическое представление декомпозированной системы называется ее иерархической структурой.

Иерархическая структура может быть изображена в виде ветвящейся блок-схемы. Здесь на нулевом уровне располагается исходный объект-система С1, на следующих уровнях — его подсистемы (число уровней и количество подсистем, показанных на рисунке, выбрано произвольно). С целью получения более полного представления о системе и ее связях в структуру включают надсистему и составляющие ее части (системы нулевого уровня, например, вторая система С 2).

Для анализа иерархической структуры могут применять теорию графов. Это позволяет перейти от графической модели к математической, в которой описание ведется по уравнениям, аналогичным законам Кирхгофа в электротехнике или уравнениям гидравлики.

Граф — это совокупность вершин и ребер (ветвей). Вершины — элементы структур, а ребра — связи между ними, изображаемые линиями. Если ребрам поставить в соответствие некоторые структурные параметры (веса'), то такой граф называется взвешенным. Граф называется направленным, если для его ребер указаны определенные направления.

Наряду с И-деревом используют ИЛИ-дерево, в котором на одинаковых уровнях располагаются вершины возможных элементов структур, их варианты. Например, автомобиль может иметь двигатель ИЛИ внутреннего сгорания, ИЛИ газотурбинный, ИЛИ электрический.

Часто применяют И-ИЛИ-дерево, которое соединяет уровни с обязательными элементами структуры с уровнями вариантов всех или части этих элементов. Сочетание И и ИЛИ уровней может быть произвольным и не обязательно они должны чередоваться.

Иерархическая структура объектов-систем часто изображается в виде дерева, т.е. графа без замкнутых маршрутов, с расположением вершин по определенным уровням. Вершина верхнего уровня называется корнем.

2. Объект-система расчленяется только по одному, постоянному для всех уровней, признаку. В качестве такого признака может быть:

функциональное назначение частей,

конструктивное устройство (вид материалов, формы поверхностей и др.),

структурные признаки (вид схемы, способы и др.).

Так, в приведенном выше примере выделение в составе автомобиля мотора, шасси и кузова проводилось в соответствии с функциональным признаком. При построении И-ИЛИ деревьев возможно сочетание нескольких признаков: одного — постоянного для И структуры, и одного или различных на каждом уровне — для ИЛИ структуры.

3. Вычленяемые подсистемы в сумме должны полностью характеризовать систему, но при этом взаимно исключать друг друга (особенно это касается ИЛИ-деревьев).

Например, если при перечислении частей автомобиля опустить, допустим, мотор, то функциональное взаимодействие остальных подсистем не обеспечит нормальное функционирование всей системы (автомобиля) в целом. В другом примере, перечисляя возможные виды двигателей, используемые в автомобиле, необходимо охватить всю известную область (декомпозиция — по принципу действия). Если это сложно сделать, допускается неупомянутые (или неизвестные) элементы объединить в одну группу (подсистему) и назвать ее «другие», либо «прочие», либо провести деление двигателей, например, на «тепловые» и «нетепловые». К неоднозначности может привести использование на одном уровне взаимно пересекающихся подсистем, например, «двигатели электрические» и «двигатели переменного тока», так как неясно куда же нужно в таком случае отнести асинхронный двигатель.

Для обозримости рекомендуют выделять на каждом уровне не более 7 подсистем. Недопустимо, чтобы одной из подсистем являлась сама система.

4. Глубина декомпозиции (степень подробности описания) и количество уровней определяются требованиями обозримости и удобства восприятия получаемой иерархической структуры, ее соответствия уровням знаний работающему с ней специалиста.

Обычно в качестве нижнего (элементарного) уровня подсистем берут такой, на котором располагаются подсистемы, описание или понимание устройства которых доступно исполнителю (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 обозримость структуры: много уровней — задача труднообозримая, 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 механический привод, в качестве элементарного уровня можно взять колеса, валы, подшипники, двигатель в целом. Хотя подшипники и двигатель являются сложными по устройству элементами и трудоемкими 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. Наиболее сильна субъективность в ИЛИ-деревьях, когда вид системы еще не известен и возможно различное их представление.

В процессе проектирования декомпозиция неразрывно связана с последующей композицией, т.е. сборкой и увязкой отдельных частей (подсистем) в единый объект (систему) с проверкой на реализуемость в целом, совместимость (особенно подсистем, принадлежащих разным ветвям) и согласованность параметров (восходящее проектирование). В процессе согласования может возникать потребность в новой, корректирующей декомпозиции.

Методы декомпозиции и последовательных приближений очень распространены, причем часто те, кто применяет их, даже не воспринимают их как методы. Очень эффективным является совместное использование этих методов.

Метод контрольных вопросов

Суть метода заключается в ответе на специально подобранные по содержанию и определенным 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, удается всесторонне представить решаемую задачу, отыскать новые пути ее решения. Контрольные вопросы, с одной стороны, подобны консультанту, в ненавязчивой форме предлагающему попробовать те или иные подходы и пути решения проблемы, а с другой стороны, позволяют спокойно и не спеша поразмышлять в одиночестве. В составлении и группировании вопросов участвуют и психологи.

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

Например, при анализе известного решения с целью его улучшения рекомендуют задавать себе следующие вопросы:

- Почему так или такое? А как еще иначе? (применительно к назначению узлов и деталей, их частей и форм, к последовательности выполнения действий и т.д.).

- Зачем это нужно?

- Что произойдет, если этого не будет?

Метод мозговой атаки

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 мозговой атаки (или, как его еще называют, мозгового штурма).

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

Коллективное обсуждение как способ решения 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 выдает 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 большинство 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...10 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 неспециалисты 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 члены 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:

главное — высказать идею, а не задумываться о ее содержании и аргументации (это — дело аналитиков, количество предпочтительнее качества). Мысли должны выражаться кратко, в течение не более полминуты, поскольку длительное высказывание снижает активность и притупляет внимание остальных участников, а возникающие в головах идеи могут забываться;

запрещена любая критика идей, а также осуждающие реплики, усмешки, одергивания и т.п., что порождает психологические барьеры. Задача каждого — поддержание атмосферы доброжелательности, что высвобождает мысль;

желательно развитие идей, высказанных другими.

4. Проведение сеанса мозговой атаки. Перед началом сеанса или накануне руководитель излагает членам группы суть задачи (в случае, 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 (зацикливания на какой-то одной идее или направлении поиска).

Продолжительность сеанса обычно составляет один-два часа. Возможны перерывы. Высказываемые идеи должны фиксироваться, но так чтобы участники сеанса не отвлекались (например, записывая разговоры на магнитофон).

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 аналогии, 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 аналогии, использование гипотетичных, фантастических, вымышленных и сказочных средств и персонажей. Например, ... попробовать использовать коверсамолет, сдвинуть берега;

личностной аналогии (эмпатия), 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 аналогии, 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, создает тень,... .

На основе метода мозговой атаки разработан ряд других методов, среди которых наиболее известен метод синектики. Его существенной чертой является значительное задействование возможностей подсознания.

Метод мозговой атаки совместно с методом контрольных вопросов лежит в основе некоторых «думающих» программ: компьютер выступает в качестве собеседника, активизирующего мышление, предоставляющего огромное количество сведений и быстро обрабатывающего информацию.

Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ)

На основе анализа собственного опыта и многочисленных патентов Г.С. Альтшуллер предложил метод под названием «алгоритм решения изобретательских задач» (АРИЗ, в котором слово «алгоритм» означало «четкая программа действий»). Позднее на его основе был создан более совершенный метод — ТРИЗ.

Этот метод предназначен для выявления истинных причин (противоречий), мешающих совершенствованию исследуемого объекта, и выбора эффективного средства для их преодоления.

Предлагается 4 способа устранения противоречий:

1. Переход от рассматриваемого объекта к объекту с идеальными характеристиками (показателями качества) посредством формирования идеального конечного результата (ИКР). Способ служит для уточнения целей решаемой задачи, поскольку в такой формулировке ярче проявляются главные противоречия в виде барьеров на пути совершенствования объекта, отсеиваются второстепенные факторы, проясняются необходимые свойства

ИКР можно формировать по следующим направлениям:

масса, размеры, время действия стремятся к нулю, т.е. потребная функция выполняется мгновенно, а самого объекта как материального тела нет. Например, необходимо устройство для нагрева воды, используемой для питья. ИКР — нагревать прямо в чашке, не используя дополнительного устройства, либо нагревать воду в чайнике мгновенно. Далее нужно посмотреть, что этому мешает, в чем заключается противоречие;

объект обладает идеальными характеристиками, такими как автономность (часы, не нуждающиеся в подзаводе; доска, с которой записи исчезают через заданное время сами, ...), независимость от окружающих условий, самонастраиваемость (очки, которые обеспечивают глазам постоянную освещенность, независящую от интенсивности внешнего освещения, ...);

в функционирующем объекте полностью отсутствуют недостатки. Например, устройство для нагрева воды без потерь.

2. Замена одного типа противоречия на другое, для которого решение уже известно или легче достижимо. Так, например, задачу нагрева воды без потерь энергии можно сформулировать в другой постановке — нагревать только воду.

3. Применение вепольных преобразований для устранения противоречий. Веполь (ВЕщество-ПОЛе) — система из трех элементов В1, В2, П, которая лежит в основе каждого технического процесса и является его простейшим устойчивым элементом. Так, процесс наворачивания гайки (В1) на винт (В2) будет записан в виде П->В1->В2 , где П — механическое движение (как разновидность поля).

4. Применение системы операторов: ИКР, РВС, ММЧ.

Оператор РВС (размер, время, стоимость) — это серия мысленных экспериментов по преодолению привычного представления об объекте и исследование его поведения при изменении составляющих оператора (замедление-ускорение времени, увеличение-уменьшение размеров, ...).

Оператор ММЧ (метод маленьких человечков) связан с мысленным населением объекта маленькими человечками, которые связывают между собой отдельные элементы, выполняют действия, необходимые для получения требуемого результата. Далее мысленно или графически изучают их поведение (что изменить в расположении объекта, какие у человечков возникают проблемы, ...).

ТРИЗ предлагает систему типовых приемов для устранения противоречий. Их количество колеблется в зависимости от модификации метода и для АРИЗ-77 включает 40 видов.

В процессе решения задачи последовательно просматривают все приемы, пытаясь реализовать предлагаемый совет либо на его основе развить решение. Эффективно использовать данные приемы во время сеанса мозговой атаки.

Метод морфологического анализа

Метод предназначен для существенного расширения области поиска возможных решений задачи. Он основан на предложении возможных решений для отдельных частей задачи (так называемых 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 30-х годах 20-го века, но практическое применение получил с 1942 г., во время работы Цвикки в США в авиастроительной фирме. Употребляются также другие названия этого метода: метод морфологического ящика, метод морфологических карт.

Содержание метода:

1. Выясняется цель задачи — поиск вариантов функциональных схем, либо принципов действия, либо структурных схем, либо конструктивных разновидностей разрабатываемого объекта. Возможен поиск одновременно по нескольким признакам.

2. Выделяют узловые точки (оси, отдельные части задачи), которые характеризуют разрабатываемый объект с позиции ранее сформулированной цели. Это могут быть частные функции подсистем, их принципы работы, их форма, расположение, характеристики и свойства (состояние вещества и энергии, вид совершаемого движения, физические, химические, биологические, психологические, потребительские свойства и т.д.). Удобно предварительно (допустим, из анализа аналогичного объекта) построить соответствующую блок-схему (функционирования, принципа действия, структурную схему), элементы которой и образуют узлы.

Количество узлов обычно выбирается из условия обозримости и реальности анализа получаемых впоследствии вариантов: при ручной обработке — 4...7 узлов, при работе на компьютере — в пределах физической возможности вычислительной техники и отведенного на решение задачи времени. Удобно задачу решать в ряд этапов: сначала по ограниченному числу наиболее важных узловых точек, а затем — для дополнительных, второстепенных или выявленных в ходе анализа и представляющих интерес новых узлов.

3. Для каждой узловой точки предлагаются варианты решений: либо исходя из личного опыта (зависит от эрудиции), либо беря их из справочников и банков (баз) данных (т.е. на каждую ось нанизываются возможные решения, по аналогии со счетами).

Варианты должны охватывать всю область возможных решений для данной узловой точки. Но чтобы задача была обозримой, рекомендуется сначала выделять укрупненнообобщенные группы вариантов, которые при необходимости впоследствии конкретизируются. Варианты могут быть не только реальные, но и фантастические.

4. Проводят полный перебор всех вариантов решений (каждый раз берут по одному варианту для каждой оси) с проверкой комбинаций 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 узлы (оси) и варианты.

Морфологический анализ удобнее и нагляднее проводить с применением морфологических таблиц.

Формальное комбинирование вариантов создает впечатление автоматизма в применении метода. Однако его эвристическая природа весьма существенна и зависит от следующих субъективных факторов:

интуитивное выделение узлов и их признаков, состава вариантов. Отсутствие уверенности, что учтены все (и особенно, перспективные) узлы и варианты;

конкретное решение является следствием анализа просматриваемых комбинаций, возникновения продуктивных ассоциаций и образов.

Метод морфологического анализа служит основой большинства интеллектуальных программ.

Приведем пример поиска принципов действия транспортного средства. В качестве узловых точек приняты основные элементы его принципа действия: получение энергии обеспечение перемещения — способ управления, а также структурный признак — расположение источника энергии.

Функционально-стоимостной анализ

Основное назначение функционально-стоимостного анализа (ФСА) — добиться максимального снижения стоимости изделия за счет совершенствования его конструкции и технологии изготовления. Его принципы применительно к совершенствованию производства были сформулированы Ю.М.Соколовым в 1943 г., но как самостоятельный метод ФСА был введен в широкую практику Майлзом (США) в 1961 г.

Метод применяется к уже известным объектам — подлежащим улучшению изделию, технологическому процессу. Известно, что потребитель изделия оплачивает (с его точки зрения) стоимость удовлетворения своих потребностей, т.е. выполнения потребных функций. ФСА, основываясь на выявлении всех функций Фi исследуемого объекта и соотнесении их с его элементами (деталями, узлами, сборочными единицами), нацелен на минимизацию полной стоимости С выполнения этих функций, например, минимизацию С= Σ Сi · Фi . Для этого необходимо знать функциональную структуру объекта, стоимость отдельных функций Сi и их значимость Фi.

Стоимость функций Сj включает затраты на материалы, изготовление, сборку, транспортировку и последующие обслуживание и утилизацию и т.п. (этот круг определяется целями задачи и жизненным циклом). Эффективны действия, направленные на совмещение выполнения одной частью изделия нескольких функций и на максимальную реализацию принципа ИКР (функция выполняется, а ее носителя нет). На практике этому соответствует то, если стоимость нового объекта, совмещающего ряд функций, будет меньше суммарной стоимости объектов, выполнявших эти функции поврозь. Стоит отметить, что важнее искать ненужные и неэффективно работающие части изделия и отказываться от них, а не снижать их стоимость.

Для проведения анализа необходимо знание не только стоимости функций, выполняемых исследуемым изделием, но и стоимость выполнения аналогичных функций другими доступными деталями или узлами. Возможно назначение стоимости в виде сравнительных оценок — отталкиваться от стоимости исходной функции, принимаемой за единицу.

В первую очередь минимизируют стоимость выполнения главных функций. При этом качество функционирования изделия стремятся сохранить на прежнем уровне. Однако не следует упускать из внимания и вспомогательные функции, часто решающим образом определяющие спрос на выпускаемое изделие (например, внешняя привлекательность, удобство эксплуатации и т.п.). Это указывает на важность знания не только стоимости каждой функции, но и ее ценности (значимости).

На стоимость функции влияют:

стоимость реализации принципа действия: энергетические затраты, доступность и стоимость материалов, последствия от побочных эффектов и т.д.;

структурные признаки: простота (технологичность) форм деталей, их взаимное расположение и количество (разнообразие) и т.д.;

параметрические характеристики: материалоемкость деталей, их размеры и качество поверхностей, точность изготовления и сборки и т.д.

Следует помнить, решение задачи методом ФСА конкретно и зависит от условий производства и применения исследуемого изделия. Например, на стоимость изделия влияют отличия в цене на электроэнергию в разных районах, имеющееся на данном заводе оборудование.

ФСА можно вести бессистемно с целью решения какой-то частной задачи. Например, рассматривается шероховатость некоторой поверхности. Почему здесь нужно такое качество поверхности? Нельзя ли его понизить (а, следовательно, заменить, допустим, шлифование точением) и что для этого нужно сделать или изменить?

Эффективное проведение ФСА включает выполнение следующих этапов:

1. Планирование и подготовка: уточняется объект и цели (минимизация стоимости или повышение качества выполнения функции при сохранении прежней стоимости), формируется рабочая группа.

2. Информационный: сбор сведений по условиям применения и изготовления изделия, требованиям к его качеству, возможным проектным решениям, недостаткам.

3. Аналитический: составление функциональной структуры, определение стоимости и ценности отдельных функций, выбор направления работы.

4. Поисковый: улучшение решения на основе привлечения эвристических, математических и экспериментальных методов, выбор лучших вариантов.

5. Рекомендательный: оформление протоколов и рекомендаций по реализации предложений.

ФСА широко применяется для повышения конкурентоспособности выпускаемых изделий, «вылизывания конструкций», т.е. такого снижения стоимости изделия и улучшения его конструкции, чтобы не допустить (сделать экономически нецелесообразным) выпуск подобного по функциям и их качеству изделия конкурирующими фирмами. Так, в Японии 100% экспортируемых промышленных изделий подвергается ФСА.

Обычно на несовершенство конструкции и неосознанное применение ФСА указывают подаваемые в процессе выпуска продукции рацпредложения.

Более подробно с содержанием приведенных и других эвристических методов можно познакомиться в книге Дж.Джонса.

Методы конструирования

Приведенные выше эвристические методы позволяют найти оригинальные или неожиданные идею, техническое решение, образ объекта. Однако на практике такое требуется примерно в 10% решаемых задач, когда важны существенные прорыв в новое или отрыв от конкурентов. Чаще необходимо усовершенствовать уже известное решение. Это объясняется тем, что инженерное решение всегда должно увязываться с его практической реализуемостью, с возможностью «воплощения в металле», т.е. быть, прежде всего, технологичным, экономичным и не требовать длительных по времени работ. Известна следующая поговорка практиков: «Кончай дедукцию, давай продукцию». А потому новое решение обычно получают путем постепенного внесения малых изменений в прежнюю, уже существующую конструкцию, используя разные методы и подходы, условно называемые методами конструирования.

К методам конструирования относятся методы на основе преемственности, унификации, агрегатирования, модификации, стандартизации, инверсии и другие /Орлов П.И./. По своему характеру эти методы являются эвристическими.

Конструктивная преемственность — это постепенное совершенствование конструкции путем введения в нее отдельных новых или дополнительных деталей, узлов, агрегатов взамен морально устаревших и неудовлетворяющих современным требованиям, либо с целью изменения прежних характеристик изделия. Метод основан на совершенствовании уже существующей конструкции. Он включает следующие этапы:

составление списка новых требований к конструкции и его анализ,

выявление в конструкции частей, препятствующих удовлетворению этих требований,

поиск путей по усовершенствованию данных частей или поиск вариантов для их замены.

Метод широко использует основные эвристические методы. Так, для поиска слабых мест в конструкции эффективно применять метод иерархической декомпозиции, расчленяя 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 другим входным и выходным параметрам) и обращать внимание на то, чтобы согласование размеров, создание специальных условий и т.д. не усложняло технологию изготовления и сборки соседних взаимодействующих частей.

Метод базового агрегата — выпуск разнообразных изделий, объединенных наличием у них общей, базовой части (агрегата). Обычно таким агрегатом является наиболее сложная часть будущих изделий. Разработка базового агрегата ведется с таким учетом, чтобы, присоединяя к нему дополнительные части, можно было достаточно просто и быстро создавать изделия с измененными внешним видом, числом выполняемых функций, характеристиками. Метод базируется на унификации форм и параметров состыковочных поверхностей, согласованности величин мощности и основных входных и выходных параметров.

Метод агрегатирования — создание изделия путем сочленения унифицированных агрегатов, устанавливаемых в различном сочетании на общем основании. Для удобства сочленения комбинируемые агрегаты обладают полной взаимозаменяемостью по эксплуатационным показателям и присоединительным размерам.

Метод модификации — переделка изделия с целью его приспособления к новым требования, условиям работы, технологическому процессу (способу изготовления и сборки) без изменения в нем наиболее дорогих и ответственных частей. Часто основывается на замене материалов или изменении их механических или химических свойств, либо замене одних частей на другие.

Метод стандартизации — создание конструкции и ее последующее совершенствование на основе применения стандартных деталей и узлов, элементов со стандартными параметрами. Это позволяет, несмотря на сложность стандартных элементов, использовать уже разработанную техническую документацию и, возможно, покупные части (например, асинхронный электродвигатель, подшипник качения), применять типовые технологические операции и оборудование, упрощает обслуживание и ремонт.

Метод инверсии — создание новой конструкции на основе изменения функций, форм или положения частей существующего изделия. Например, пружину растяжения заменить пружиной сжатия, выпуклую поверхность сделать вогнутой.

Машинный эксперимент

Использование математических моделей дает возможность заменить реальный эксперимент работой с компьютерными моделями. Такое исследование часто называют машинным экспериментом (это исторически сложившийся термин, появление которого связано с первоначальным названием компьютеров — ЭВМ). Работа с компьютерной моделью, когда для пользователя скрыты зависимости между параметрами, исходные принципы и допущения, подобна исследованию «черного ящика», а поиск взаимосвязей между входными и выходными параметрами — подобно экспериментированию с физическими моделями. Эта схожесть позволяет применять методы экспериментальных исследований к работе с программными комплексами. Следует также учитывать следующее:

получаемые в процессе машинного эксперимента результаты могут иметь случайный разброс, вызываемый не только неустойчивой работой вычислительной системы, но и особенностями используемых численных методов (необходимость получения высокоточных результатов с числом значащих цифр, сопоставимых с длиной числа, обрабатываемого процессором, расчет вблизи особых точек при малой разности больших чисел, делении на число, близкое к нулю, и т.п.). Убедиться в достоверности результатов расчетов можно проверкой их на соответствие физическому смыслу или повторением расчетов на более совершенном компьютере;

результаты расчета, несмотря на свою однозначность, в действительности имеют разброс, обусловленный случайным характером физических величин, используемых в качестве исходных данных. Так, если вводимые параметры известны с погрешностью 5...10% (например, модуль упругости материала, его предел прочности), то и погрешность результатов расчетов (например, величин прогибов, напряжения) будет не меньше и не зависит от увеличения количества цифр в ответе.

Мысленный эксперимент

Это одна из разновидностей экспериментальных исследований, но проводимых мысленно. Задача мысленного эксперимента — быстрое получение качественного или оценочного результата. Достоверность получаемых таким образом суждений, прежде всего, зависит от практического опыта исследователя, его фантазии и аналитических способностей мышления.

Задачи оптимального проектирования

В процессе решения задачи всегда появляется несколько вариантов. Это происходит и случайно, в силу неоднозначности и неопределенности процесса решения, и целенаправленно, как основа поиска лучшего результата. Но задача, и особенно техническая, считается решенной тогда, когда будет сделан выбор окончательного, единственного варианта. Только такая деятельность считается продуктивной.

Рекомендуемые к исполнению решения должны быть:

обоснованными,

своевременными,

директивными (обязательными к исполнению),

правомочными,

непротиворечивыми (согласованными с другими, в том числе и ранее принятыми).

Выбираемое решение всегда взаимосвязано с конкретной личностью (индивидуальное решение) или группой людей (коллективное решение). Человек, который

- имеет право выбирать окончательное решение,

- несет за него ответственность,

- заинтересован в решении проблемы,

называется лицом, принимающим решение (ЛИР). Принятие решения в значительной степени носит социальный характер, поскольку нацелено на удовлетворение общественных потребностей.

Выбор возможен одним из следующих способов:

случайным образом (способом необъяснимым и независящим от условий задачи),

волевым образом (выбор не обосновывается и индивидуален, определяется чертами характера ЛИР),

критериальным образом (выбор имеет обоснование, доступное пониманию другими людьми).

В проектировании предпочтителен критериальный выбор: разработчик должен уметь аргументировано доказать верность и эффективность полученных результатов.

Ранее критериальный подход больше базировался на опыте (экспертных оценках), на обосновывающих верность рассуждениях и умозаключениях (логических построениях). В последнее время к выводам стали предъявлять требования четкости и точности. Появилась новая наука, теория исследования операций, изучающая проблемы, связанные с принятием решений (см. работы Е.С. Вентцель). А задачи, решаемые на основе ее принципов, стали называть задачами оптимального проектирования.

Как уже отмечалось ранее, реальный объект характеризуется огромным числом параметров, и для упрощения его описания выделяют принцип действия, структурный и параметрический уровни. Аналогично, задачи оптимального проектирования подразделяют на задачи выбора оптимального принципа действия, структурной и параметрической оптимизации.

Разработка методов выбора оптимального принципа действия пока относится к задачам перспективных исследований: еще не известны такие методы и критерии, которые бы позволили на основе ограниченного числа данных, которое соответствует этому уровню описания объекта, дать полную и точную картину его поведения в реальных условиях и позволить выбрать предпочтительный принцип действия.

Решение задачи структурной оптимизации более реально. В ее основе могут лежать представление структуры в виде графов, сравнительный анализ структур на основе ограниченного числа структурных параметров, объединение исследуемых структур в одну, обобщенную. Но неполнота учитываемых данных не позволяет однозначно указать на лучший вариант, и выводы носят рекомендательно-оценочный характер.

Наиболее разработаны математические методы параметрической оптимизации, т.е. методы поиска оптимальных параметров объекта в рамках заданных его принципа действия и структуры.

Основой для поиска оптимального варианта служат правила (критерии) оптимальности, а мерой предпочтения — показатели качества. Показатели могут иметь либо количественную оценку (формализованные показатели), либо качественную характеристику (неформализованные показатели). В задачах параметрической оптимизации используют формализованные показатели, которые также называют критериями оптимизации (критериями эффективности объекта). Но стоит помнить, что назначение количества и типов критериев осуществляется человеком, что придает им эвристический характер. А с другой стороны, критерии определяют конечный вид проектируемого объекта, и, следовательно, случайный их выбор ведет к случайным и неэффективным результатам (хотя эти результаты могут быть получены на основе многократно проверенных и общепринятых методик).

Однокритериальные задачи

Поиск решений в однокритериальных задачах (задачах скалярной оптимизации) зависит от вида математической модели и описывающих ее выражений. Это могут быть задачи:

поиска экстремума алгебраической функции-зависимости критерия от параметров объекта К = f(х). Для задачи с плавным изменением функции экстремум находится дифференцированием. Решение — конкретное численное значение;

вариационного исчисления, если критерий описывается функционалом, т.е. интегралом от выражения, зависящего от параметров, их функции и производных. Решение имеет вид функциональной зависимости (аналитического уравнения), например, уравнения формы поверхности равнопрочного вала, закона нагружения;

линейного программирования, когда критерий и условия, накладываемые на решение задачи, являются линейными функциями параметров (равенства или неравенства). Решение — численное значение;

нелинейного программирования;

полного или частичного перебора.

Поведение параметров реального объекта достаточно сложно: часть может принимать только целые (например, число зубьев) или дискретные (например, стандартные величины шага резьбы) значения, связи между параметрами выражаться нелинейными или кусочно-нелинейными зависимостями, оптимизируемые функции иметь один или несколько экстремумом или вид террасных функций (например, при плавном увеличении нагрузки, растягивающей болт, величина его диаметра, определяемая из условия прочности, возрастает скачками, от одного стандартного значения к другому) и т.п. В таких случаях используют компьютерные модели, и решение выбирают на основе сравнения величин критерия, полученных для вариантов, рассчитанных с учетом всех или части возможных значений параметров.

Задачи многокритериальной оптимизации

В большинстве случаев абсолютно лучшее решение выбрать невозможно, так как при переходе от одного варианта к другому (например, от PA к PB ) улучшаются одни критерии (на рис.7а — К2), но ухудшаются другие (К1). Состав таких критериев называется противоречивым, и окончательно выбранное решение всегда будет компромиссным.

Компромисс разрешается введением тех или иных дополнительных ограничений или субъективных предположений. Поэтому невозможно говорить об объективном единственном решении такой задачи.

В задачах многокритериальной оптимизации поиск решений возможен рядом способов.

Выделение области компромиссов и отбрасывание заведомо неудовлетворительных решений.

Множество допустимых решений Мд(к) разделяется на множество худших Мх(к) и множество нехудших Мнх(к) решений. Худшим считается такое решение, если можно найти другое решение, значения критериев у которого не хуже (такие же) или лучше, чем у рассматриваемого. Решение, для которого из множества допустимых решений нельзя найти ни одного лучшего по всем критериям, называется нехудшим. Так, для множества, представленного на рис. 7а: множество худших решений Мх(к)={ PD, PE } и множество нехудших решений Мнх(к)={PA, PB, PC }, поскольку, например, у решения PB ={К1В , К2в} значения всех критериев лучше, чем у решения PD ={К1D, К2D}. С другой стороны, решение PА по сравнению с решением PВ лучше по критерию К1, но хуже по критерию К2.

Принятие решений в условиях неопределенности

Условия неопределенности могут быть следствием недостаточности сведений о задаче (например, на начальном этапе проектирования) или качественного представления показателей, т.е. когда неизвестно их точное значение. При принятии решения в таких ситуациях применяют следующие методы приближенной оценки вариантов с последующим выбором лучшего (на примере четырех изделий Р1 ... Р4 по показателям качества стоимость, масса, потери энергии и надежность).

Информация для презентации взята:

https://www.cfin.ru/management/controlling/sys\_project.shtml#p3