

Министерство науки и образования РФ

САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

Механико-машиностроительный факультет

Л.Б.Аксенов

СИСТЕМНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Методическое пособие
к курсу лекций и выполнению курсовой работы

Санкт-Петербург

2011 г.

УДК 519.81

Системное проектирование в машиностроении: Метод. пособие/
Сост.: *Л.Б.Аксенов*. СПб.: 2011. 54 с.

Под современными проблемами технологии машиностроения понимаются проблемы обоснованного выбора предпочтительного варианта технологии и оборудования для производства определенного изделия в конкретных условиях производства. Рассмотрены методика и примеры применения формализованных и неформализованных подходов при сравнительном анализе и выборе предпочтительного варианта объектов машиностроения и других отраслей в условиях их многокритериальной оценки. Анализируются условия принятия решения, возникающие при развитии предприятий, приобретении новой техники и технологий, определении сопоставительного уровня разрабатываемого продукта.

Пособие предназначено для магистров шестого курса механико-машиностроительного факультета, обучающихся по направлениям «Машиностроение», «Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств», «Управление качеством».

© Л.Б.Аксенов

ОГЛАВЛЕНИЕ

1. Программа дисциплины	3
1.1. Цели изучения дисциплины	3
1.2. Место дисциплины в учебном плане	3
1.3. Объем дисциплины по видам учебной работы и формы контроля	4
1.4. Разделы дисциплины и виды занятий	4
2. Содержание разделов дисциплины	5
2.1. Современные концепции проектирования сложных конструкций, технических и технологических систем	5
2.2. Постановка целей	9
2.3. Синтез альтернативных вариантов	13
2.4. Оценка альтернативных вариантов	15
2.5. Выбор предпочтительного варианта	27
2.6. Принятие решений в условиях неопределенности	38
3. Рекомендации по выполнению курсовой работы	39
3.1. Цель курсовой работы	39
3.2. Объект исследований	39
3.3. Структура курсовой работы	40
3.4. Содержание этапов работы	41
3.4.1. Образец титульного листа	41
3.4.2. Введение	42
3.4.3. Описание характерных особенностей исследуемых объектов	43
3.4.4. Построение структурной схемы исследуемого объекта	43
3.4.5. Построение функциональной схемы объекта	44
3.4.6. Обоснование и выбор критериев сравнения	45
3.4.7. Характеристики объектов сравнения	46
3.4.8. Определение для каждого объекта сравнения комплексной оценки с использованием экспертных методов	47
3.4.9. Выделение множества эффективных вариантов сравниваемых объектов	50
3.4.10. Выбор предпочтительного варианта объекта, соответствующего конкретным условиям выбора	52

1. Программа дисциплины «Системное проектирование в машиностроении»

1.1 Цели изучения дисциплины: овладение методом комплексной оценки, выбора предпочтительного варианта и прогнозирования развития объектов различной физической и технической природы, и в первую очередь, объектов машиностроения.

Дисциплина содержит методики и примеры применения формализованных и неформализованных подходов при сравнительном анализе и выборе предпочтительного варианта объектов машиностроения и других отраслей в условиях их многокритериальной оценки. Имитируются условия принятия решения, возникающие при развитии предприятий, приобретении новой техники и технологий, определении сопоставительного уровня разрабатываемого продукта.

В процессе изучения дисциплины студенты учатся:

- обоснованно выбирать параметры и критерии оценки технических объектов, используя функциональный анализ;
- производить сравнительную оценку технических объектов, используя экспертные процедуры;
- производить анализ и выявлять тенденции изменений данного вида изделий.

Необходимость в использовании этих навыков возникает в следующих ситуациях:

- при аттестации различных видов изделий с целью определения их соответствия требованиям потребителей и достигнутому мировому уровню;
 - определение целесообразности внедрения новой конструкторской разработки;
 - формирования "портфеля заказов" на опытно-конструкторские разработки с учетом прогнозируемых тенденций изменения;
- а также во многих других ситуациях, связанных с определением направления научно-технического направления развития предприятий, технического обновления выпускаемой продукции.

1.2. Место дисциплины в учебном плане: 11-й семестр

Предшествующие дисциплины: Высшая математика (математический анализ, математическое программирование);

Математические задачи специальности (математическая статистика);
Экономика (понятие эффективного множества).

Дисциплины, обеспечиваемые данной: НИРС, курсовое и дипломное проектирование, написание магистерских диссертаций.

Указанная дисциплина позволяет выпускнику выработать основы системного подхода к анализу различного рода проблем, что позволяет ускорить процесс адаптации к любой новой ситуации, в том числе связанной с развитием карьеры.

1.3. Объем дисциплины по видам учебной работы и формы контроля

Виды занятий и формы контроля	Объем в семестре (11- й семестр)
Лекции, ч/нед.	2
Практические занятия, ч/нед.	1
Самостоятельные занятия, ч/нед.	1,5
Экзамены, шт/сем.	1
Зачеты, шт/сем.	1
Общая трудоемкость дисциплины составляет, часов	72

1.4. Разделы дисциплины и виды занятий

	Разделы	Объемы занятий, часов программы		
		ЛК	ПЗ	Сам
1	Современные концепции проектирования сложных конструкций, технических и технологических систем	2	-	1
2	Построение дерева целей	4	2	3
3	Методы создания альтернативных вариантов	4	1	2,5
4	Оценка альтернативных вариантов	8	4	6
5	Построение оценок критериев нижнего уровня	6	3	4,5
6	Выбор предпочтительного варианта	6	3	4,5
7	Принятие решение в условиях неопределенности	2	1	1,5
	Итого	32	16	24

2. Содержание разделов дисциплины

2.1. Современные концепции проектирования сложных конструкций, технических и технологических систем

В последние годы наряду с развитием методов решения определенных технических задач все большее влияние уделяется проблемам методологии проектирования. Прежде всего, это связано с тем, что усложнение технологических процессов и задач, стоящих перед ними, превращение их в сложные технические системы, приводит в противоречие с традиционными принципами проектирования, которое обычно осуществляется по схеме, приведенной на рис. 1.1, а. Согласно этой схеме, исходя из задач (целей) процесса выбираются несколько альтернативных вариантов технологического процесса на усмотрение технолога, причем далеко не все возможные. Здесь главную роль играют опыт, знания, интуиция разработчика. Эти варианты сравниваются по технико-экономическим показателям. Обычно считается, что продукция во всех случаях имеет одинаковые технические показатели. Тогда основным критерием сравнения становятся экономические показатели. Однако в ряде случаев выбор предпочтительного варианта не может быть строго обоснован. После выбора одного из вариантов для него осуществляется разработка технической документации, приобретается, если необходимо, оборудование, изготавливается оснастка и т.д. За этим следует апробация процесса. Только тут у технолога появляется возможность достоверно оценить реальные показатели процесса, и сравнительно часто эта оценка значительно отличается от первоначально принятой (особенно для новых процессов). На основе испытаний осуществляется доработка процесса, в ходе которой могут быть изменены и цели. Такой подход удорожает процессы и удлиняет сроки их реализации. Кроме того, может оказаться, что реальные показатели процесса столь значительно отличаются от исходных, что он теперь уже не является предпочтительным. Но изменять положение поздно, так как затрачены средства на реализацию процесса, а показатели других процессов начинают рассматриваться с позиций определенного риска. Это дает возможность проникать в производство неэффективным процессам. Конечно, технолог должен нести ответственность за свою работу. Но новое – это всегда поиск, риск. Сегодня такой поиск, осуществляемый методом проб и ошибок, в условиях сложного производства обходится очень дорого.

Таким образом, традиционные методы проектирования, к которым относится рассмотренный метод, стали неэффективными. Основные трудности проектирования на современном этапе связаны с синтезом, с увязкой всего многообразия особенностей будущей технологии. Эти трудности возрастают экспоненциально с увеличением числа параметров, определяющих процесс.

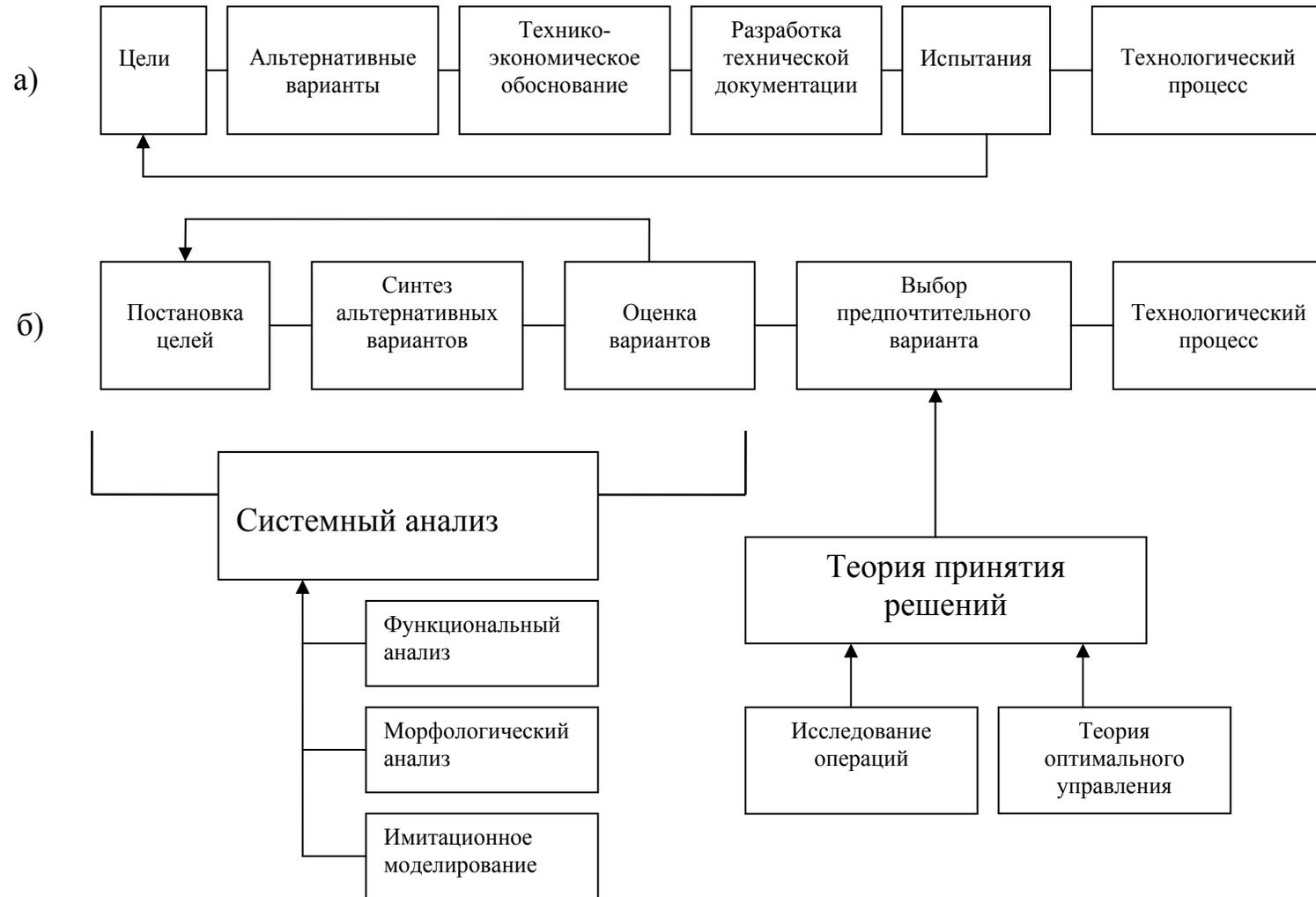


Рис. 1. Схемы: а) традиционного проектирования; б) проектирования на основе системного анализа и теории принятия решений

Следует также учитывать, что одновременное применение всех передовых решений приводит к резкому росту затрат на производство. Кроме того, реальные производственные условия ограничивают возможности технолога. Следовательно, важно уметь выбрать оптимальный вариант технологического процесса применительно к конкретной ситуации. Вопрос это не простой и связан с решением задач многокритериальной оптимизации, но он может быть достаточно успешно решен с привлечением объективной и субъективной информации. Однако это требует изменения самого подхода к проектированию и, прежде всего, его ориентации на получение достоверных априорных оценок проектируемого технологического процесса.

Современное развитие вычислительной техники и отказ от желания получить результат в виде достаточно простой формулы позволяют моделировать сложные технологические процессы и обойтись без «натурного» эксперимента. Получаемые при этом оценки процесса более близки к реальным. Таким образом, проектирование должно быть одной из областей наиболее широкого использования вычислительной техники и современных методов исследования.

Можно сформулировать следующие проблемы, возникающие при проектировании технологических процессов:

- 1) рост длительности и трудоемкости разработки и внедрения технологических процессов;
- 2) ограниченность числа сравниваемых вариантов, обусловленная недостаточным использованием научных методов создания альтернативных вариантов и трудностью их сравнения;
- 3) трудность предсказания результатов проектирования технологических процессов до их апробации;
- 4) трудности выбора предпочтительного варианта, вызванные несовершенством их оценки (малой достоверностью и недостаточной разработанностью системы самих оценок);
- 5) отсутствие объективных критериев выбора оптимального технологического процесса.

В области создания сложных технических систем темпы проектирования являются основным сдерживающим фактором на пути сокращения сроков разработок. Поэтому важнейшая задача науки в области проектирования – путем полного учета взаимосвязей в системе и влияния внешних факторов сократить число циклов уточнения системы и обеспечить в кратчайший срок создание системы с предельными показателями качества. Успешное достижение этой цели возможно путем перехода на системное проектирование технических решений. Методологией такого проектирования являются системный анализ и теория принятия решений, позволяющие соединить системный подход с

многоцелевой оптимизацией (Рис. 1б), т.е. осуществить синтез формальных и неформальных методов исследования.

Проектирование часто начинается при нечеткой формулировке целей работы. Для их уточнения на этапе постановки задачи необходимо определить структуру множества целей и соответствующих критериев оценки степени их достижения

Общая задача синтеза вариантов решения поставленной технической проблемы состоит в составлении обширного (в идеальном случае – исчерпывающего) набора гипотетических способов его реализации, разработанных достаточно подробно для их оценки в свете выбранных целей. На этом этапе эффективно применение специализированных методов направленного синтеза как неупорядоченных, так и упорядоченных.

На этапе оценки возможных вариантов решения необходимо классифицировать возможные варианты решения по степеням предпочтительности. Если на этапе постановки задачи получают качественное описание проблемы, то на этапе оценки качественное представление переходит в количественное. Имитационное моделирование на этом этапе является наиболее современным инструментом исследования. Системный подход к оценке решения состоит в определении подходящей меры для всех критериев оценки с последующим объединением численных значений всех критериев таким образом, чтобы можно было выбрать предпочтительный вариант.

Под принятием решения понимают выбор наиболее предпочтительного решения (способа достижения поставленной цели) из множества допустимых альтернативных решений или вообще некоторое упорядочивание этого множества. Выбор предпочтительного варианта объекта относится к классу сложных задач принятия решения, характеризующихся множеством целей и множеством вариантов достижения этих целей. Многоцелевой анализ требует рассмотрения всей совокупности целей с позиций соответствующего множества критериев эффективности достижения целей.

Таким образом, решение имеющихся проблем проектирования сложных технических систем может быть достигнуто на основе разработки и использования, новых научно-обоснованных методов их проектирования. При этом первостепенными задачами являются создание формы системного описания объекта; разработка методологии проектирования с использованием имитационного моделирования и многокритериальной оптимизации.

Расширение и углубление фронта проектных работ требует качественно нового уровня технических наук. Качественные изменения должны коснуться интеграции технических наук, структуры технических знаний, методологии исследования и проектирования, уровня

автоматизации исследований и проектирования, стиля научного мышления. Еще не так давно ведущей стороной развития технических наук была дифференциация. В современных условиях ведущая роль принадлежит интеграции технических знаний. Движущей силой интеграции является необходимость целостного рассмотрения сложных объектов и создания универсальных методов описания и теории проектирования систем разных видов.

2.2. Постановка целей

Определение цели: цель – результат, ради которого предпринимаются те или иные действия. Построение целей требует некоторого комплекса действий, в противном случае можно поставить «ложные», заведомо невыполнимые цели. Это не исключает дальнейшего корректирования целей в ходе выполнения этапов системного анализа.

Условия истинности цели:

- а. цель должна быть в принципе достижима;
- б. цель может быть и не достигнута.

Как достигается цель: обычно непосредственно ее достичь нельзя, поэтому надо строить какие-то подчиненные цели, достигнув которые, легче достичь главную цель. Пусть M - множество целей. На нем вводится отношение порядка: цель x младше y (обозначается $x \leq y$), если для достижения цели y необходимо достижение цели x . Это отношение удовлетворяет аксиомам порядка:

а. *асимметричность*: если $x \leq y$ и $y \leq x$, то цели x и y достижимы при условии, что они совпадают. Если они не совпадают, то для достижения x предварительно надо достигнуть y , а для достижения y - достигнуть x . Следовательно, они могут быть достигнуты только одновременно и потому совпадают. Это противоречит сделанному предположению о том, что цели не совпадают.

б. *транзитивность*: если $x \leq y$ и $y \leq z$, то $x \leq z$. Это свойство очевидно.

с. *рефлексивность*: $x \leq x$, так для достижения x необходимо достигнуть x .

Таким образом, множество целей M является упорядоченным. Иерархическая структура множества целей M представляет дерево, называемое деревом целей (Рис. 2).

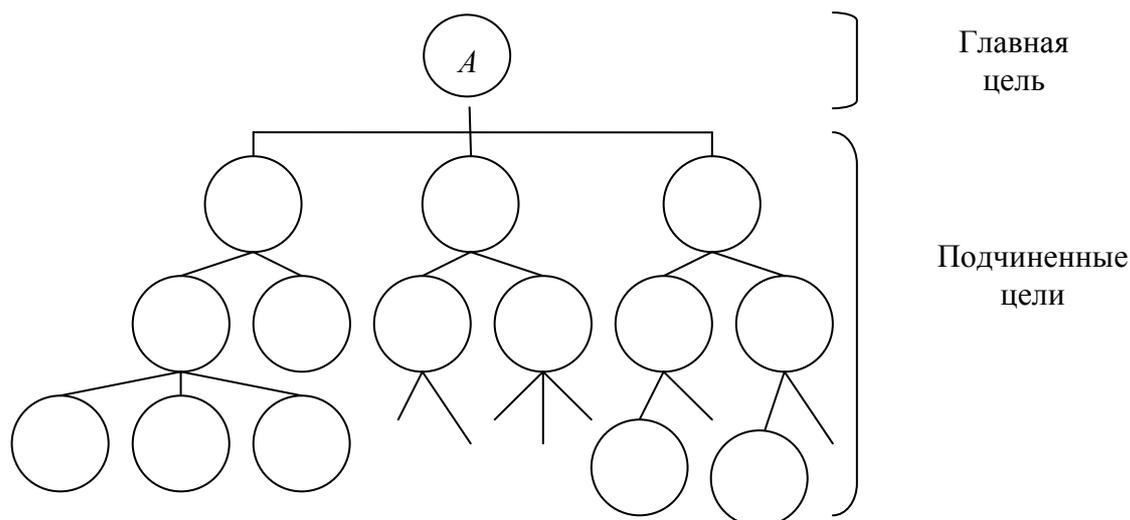


Рис. 2. Пример структуры дерева целей

На рис. 2 A - главная цель, поскольку она «больше» всех остальных: все остальные необходимы для ее достижения, это подчиненные ей цели. Подчиненные цели принципиально отличаются от главной цели тем, что они лишь средства достижения главной цели. Ценность главной цели не требует оправдания, она существует априорно, иначе она уже не будет главной целью. Выбор подчиненных целей может быть до некоторой степени произвольным, так как они оправданы лишь как средства.

Будем считать, что подмножество целей Q есть минимальное достаточное для достижения цели A , если его любое собственное подмножество Q' уже не достаточно для достижения цели A . Такое минимальное множество не обязано быть единственным. Однако в рамках некоторого проекта система целей обычно ограничивается так, что для каждой цели существует единственное минимально достаточное множество целей.

Построение дерева целей может осуществляться различными путями – от интуитивного до строго регламентированных. Одним из формализованных путей является применение функционального анализа (анализа функций). Идея метода состоит в формулировке целей в глагольной форме, например, «что мы хотим» и «что нужно сделать для ...» (Рис. 3). На этапе функционального анализа важно разобраться, что от чего зависит в исследуемом объекте.

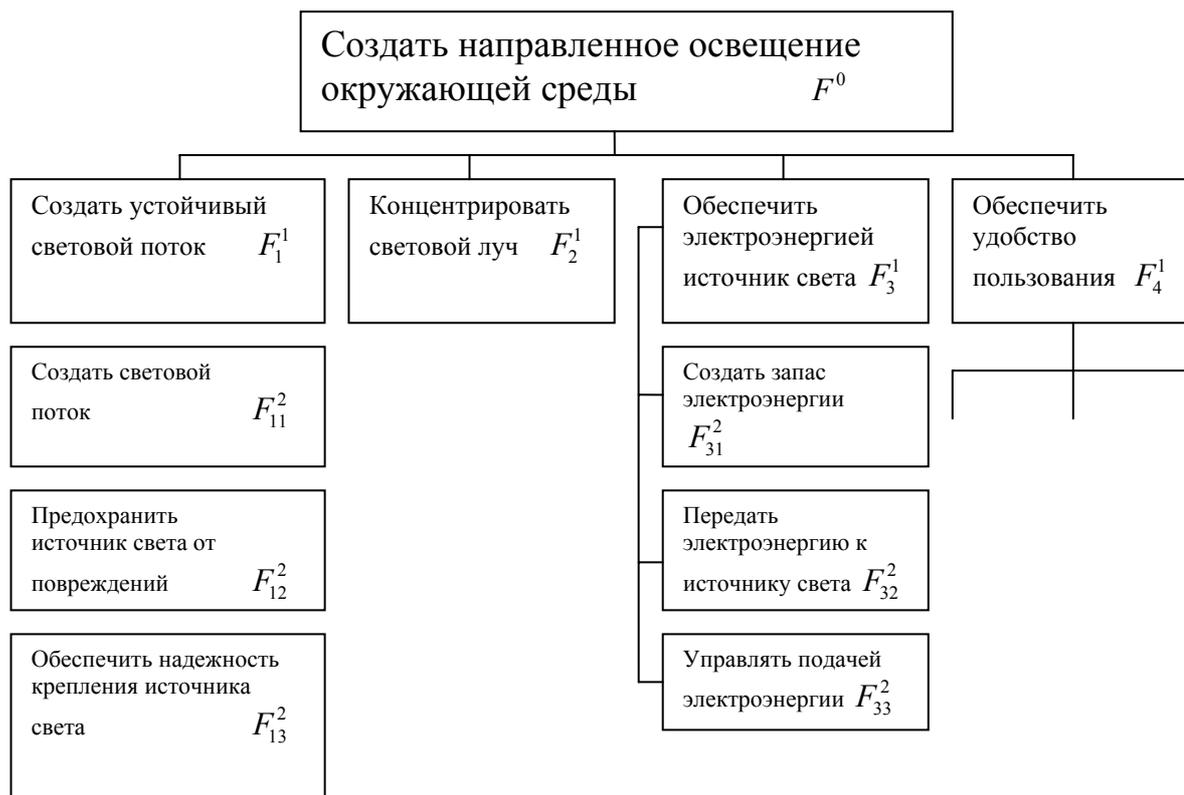


Рис. 3. Дерево функций для ручного фонарика

Формулировка функций во многих случаях похожа на формулировку целей, что позволяет перейти от дерева функций к дереву целей.

Степень достижимости целей оценивается значениями соответствующих критериев оценки. Таким образом, для каждой цели необходимо знать значение соответствующего критерия оценки. В результате наряду с деревом целей рассматривается дерево критериев оценки, имеющее такое же строение (Рис. 4). Критерии верхнего уровня обычно называют обобщенными или комплексными. Например, для ручного фонарика главная функция (и главная цель): Создать направленное освещение окружающей среды – F^0 , и ей соответствует критерий оценки: Комплексный критерий оценки направленного освещения окружающей среды – W^0 . Значения комплексных критериев называют оценкой. Она представляет наибольший интерес, так как является основой для сравнения различных вариантов объекта.

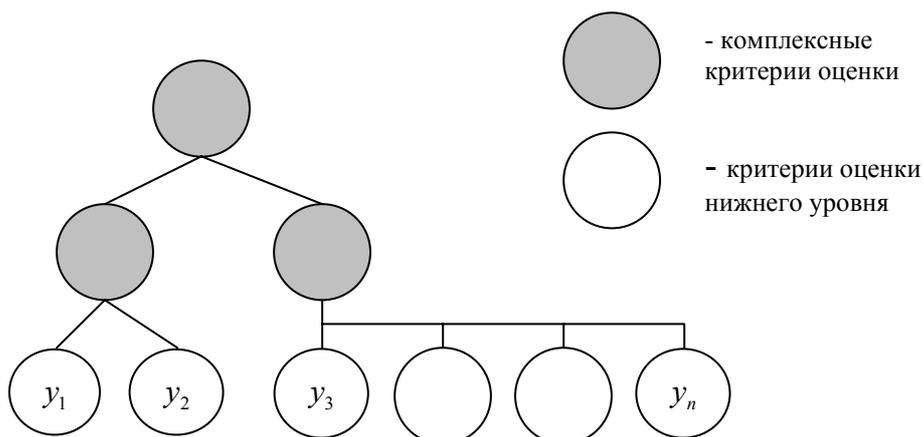


Рис. 4. Дерево критериев оценки степени достижения целей

Наиболее часто рассматриваются структуры критериев двух видов:
 - дерево критериев для оценки технологического производства (Рис. 5).
 Эта совокупность критериев удобна для внутренней оценки производства.

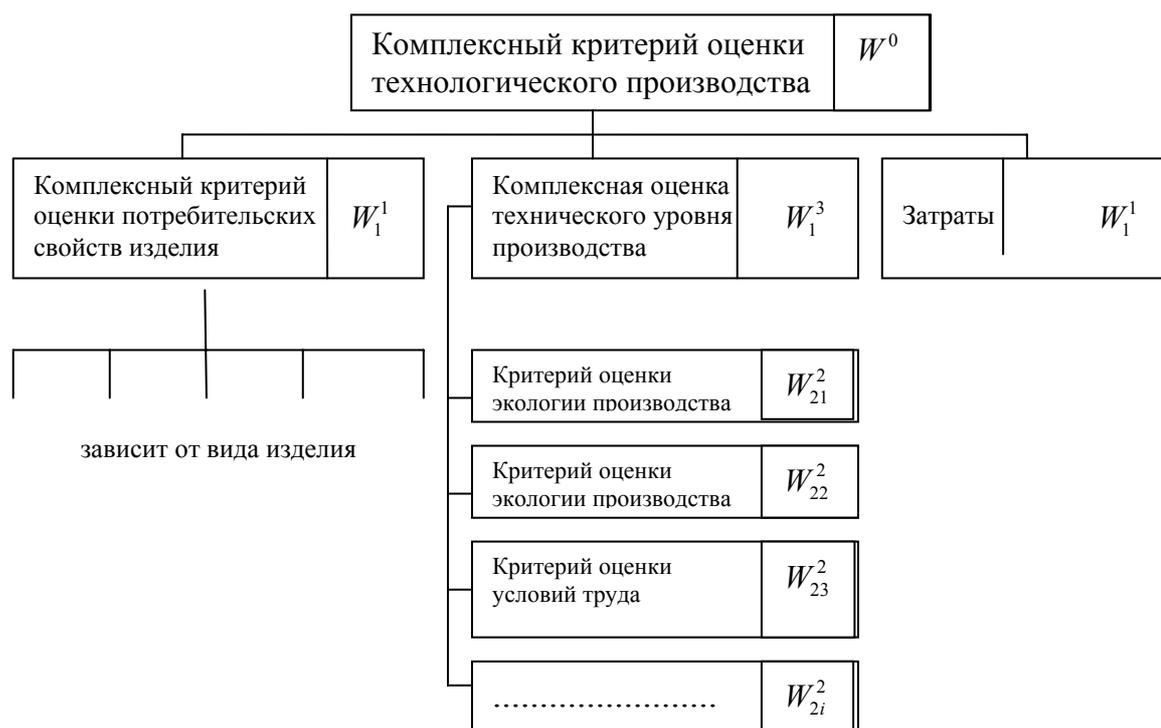


Рис. 5. Дерево критериев оценки технологического производства

- дерево критериев для оценки объектов (изделий) с позиции потребителя (Рис. 6).

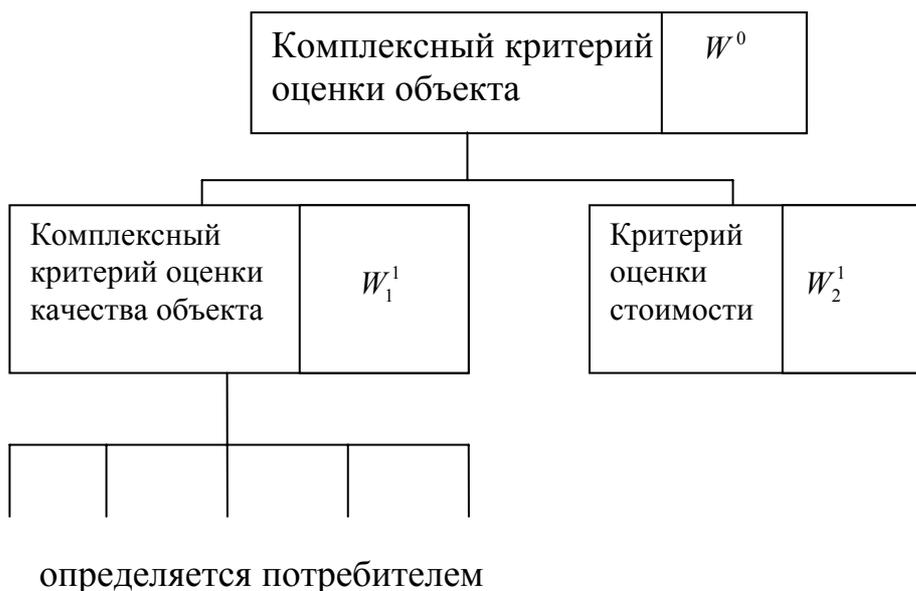


Рис. 6. Дерево критериев оценки объектов с позиции потребителя

Важным вопросом является насколько подробно нужно строить дерево целей и соответствующее дерево критериев оценки достижения этих целей. Нижний уровень считается достигнутым, если значение критерия оценки можно измерить в физических единицах измерения, или при их отсутствии в других единицах, например, в баллах.

2.3. Синтез альтернативных вариантов.

Цель синтеза заключается в составлении обширного (в идеальном случае исчерпывающего) набора гипотетических реализаций объекта, разработанных достаточно подробно для их оценки в свете выбранных целей.

Первый шаг при синтезе процесса - сбор известных альтернатив из всех возможных источников: литературы, патентов, опыта (собственного и чужого) и т.д. Таким образом, большая часть синтеза выполняется путем применения ранее полученных результатов. Любой технолог поступает так при разработке вариантов процесса. Однако требование максимальной полноты набора альтернативных вариантов обеспечить только на основе интуиции достаточно

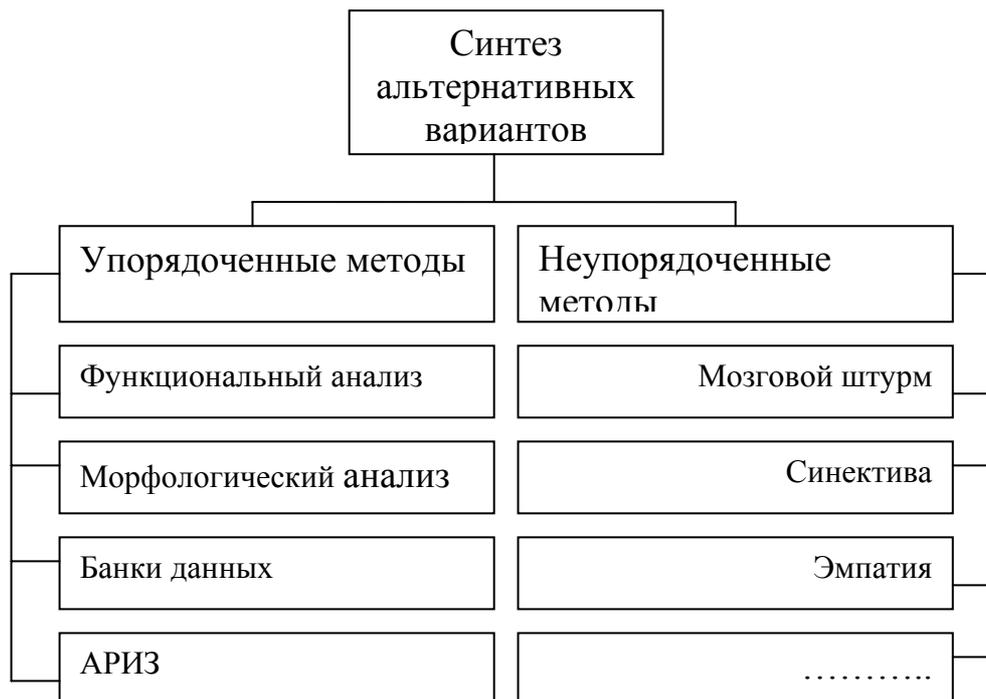


Рис. 7. Методы синтеза альтернативных вариантов объекта

трудно. Поэтому в проектировании стали широко применяться методы направленного синтеза как упорядоченные или формализованные, так и неупорядоченные или неформализованные (Рис. 7). Формализованные методы (банки данных, анализ функций, морфологический анализ, Алгоритм Рационализатора-Изобретателя и др.). Неформализованные методы (мозговой штурм, синектика, эмпатия и др.).

Из всех приемов, облегчающих процесс синтеза альтернативных вариантов, наибольшее распространение получил функциональный анализ. Применение функционального анализа значительно повышает вероятность того, что все известные альтернативы попадут в рассмотрение, и открывает дорогу новым техническим решениям.

Функциональный анализ, уже использованный при построении дерева критериев оценки, может быть также использован и для построения альтернативных вариантов и проводится в два этапа. Первый этап совпадает с действиями, выполненными для построения дерева целей. На втором этапе дерево функций развивается далее критериев нижнего уровня и его структура становится структурой вида «или» (Рис. 8). На этом этапе формулировка функции должна быть достаточно абстрактной, т.е. не привязанной к конкретному техническому решению. На рис. 8 синтезированы восемь различных вариантов реализации функции повышения прочности изделия.



Рис. 8. Использование функционального анализа для синтеза альтернативных вариантов

Морфологический анализ мало известен в практике проектирования. Это анализ независимых переменных, связанных с решаемой проблемой или поставленной задачей. Морфологический анализ состоит в следующем:

- а. более широкая и общая постановка задачи;
- б. перечисление всех независимых переменных желательной системы. Эти переменные X_1, X_2, \dots, X_i будут координатами морфологической матрицы;
- в. Перечисление значений, которые может принимать каждая из переменных:

$$N_1(X_{11}, X_{12}, \dots), N_2(X_{21}, X_{22}, \dots), N_3(X_{31}, X_{32}, \dots).$$

Тогда общее число возможных альтернативных вариантов будет $N = N_1 N_2 \dots N_i$.

Неформализованные методы синтеза альтернативных вариантов достаточно хорошо известны, также как и АРИЗ.

2.4. Оценка альтернативных вариантов

На этом этапе исследования последовательно выполняются следующие процедуры:

- определение значений критериев нижнего уровня;
- построение критериев оценки нижнего уровня;
- построение комплексных критериев оценок.

Определение значений критериев нижнего уровня производится как с использованием традиционных путей: литературные источники, опыт собственный и чужой, интуиция, прототипы и др., так и с применением моделирования. Способы использования традиционных источников информации достаточно понятны. Моделирование в системном анализе является наиболее современным средством при проектировании новых объектов служит для получения значений критериев оценки нижнего уровня. Моделирование предполагает использование моделей (Рис. 9), где $\bar{A}(a_1, \dots, a_k)$ - вектор входных параметров, характеризующих альтернативные варианты;

- вектор выходных параметров, которые являются критериями оценки нижнего уровня.

Для поиска наилучших значений критериев оценки проектируемого объекта удобно вектор входных параметров разделить на два (Рис. 9): \bar{A} - вектор входных неизменных параметров; \bar{X} - вектор входных изменяемых параметров (параметров управления).

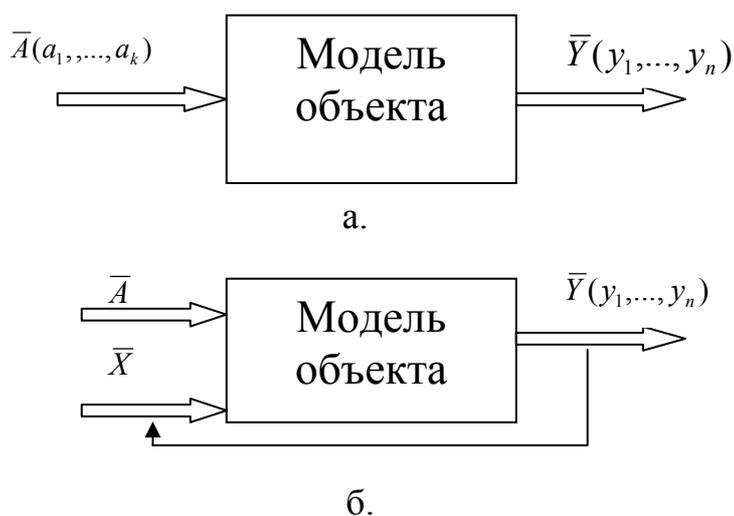


Рис. 9. Использование модели объекта для получения значений критериев оценки нижнего уровня (а) и их оптимизации (б)

Модель всегда идеализированное приближение к реальному объекту, создается для определенных целей. Модель - субъективна и отвечает целям

– установить необходимые исследователю взаимосвязи. Типы моделей, используемые в рассматриваемых исследованиях, приведены на Рис. 10.

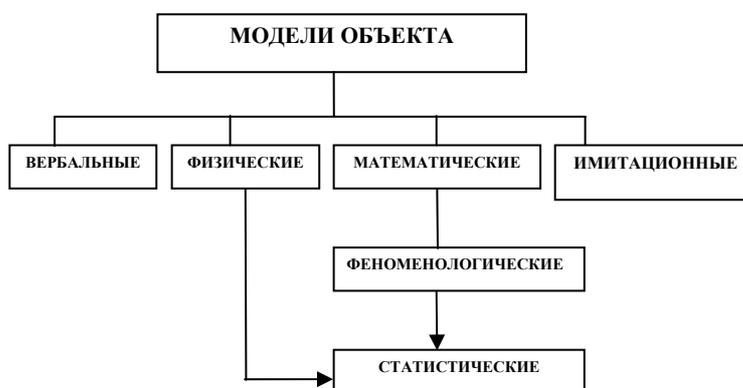


Рис. 10. Виды моделей объекта

Вербальные модели (гипотезы) появляются в результате наблюдения. Эти модели характеризуются названием, определением входных и выходных параметров, формулировкой. Например, для вербальной модели, приведенной на Рис. 11:

Название: Модель взаимного притяжения двух масс.

Входные параметры: массы тел m_1 и m_2 , расстояние между центрами масс - r .

Выходные параметры: F – сила взаимного притяжения двух тел.

Формулировка: Сила взаимного притяжения двух тел зависит от массы тел и их взаимного расстояния.

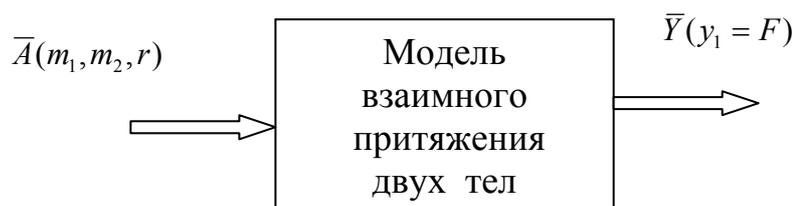


Рис. 11. Вербальная модель взаимного притяжения двух тел

Информация о значениях критериев оценки нижнего уровня анализируемого объекта получается из формулировки вербальной модели. Вербальные модели не дают возможности определить точные значения критериев нижнего уровня. Связь между вектором входных параметров \bar{A} и вектором выходных параметров \bar{Y} не является количественной. Однако в ряде случаев удастся получить ранжирование значений выходных параметров по принципу «больше – меньше». Вербальные модели

являются первым и важным шагом в познании сущности изучаемого объекта или явления.

Физические модели являются источником получения значений критериев оценки нижнего уровня на основе измерений на модели реального объекта или самом объекте. Объект при измерениях сам становится физической моделью. Вербальная формулировка модели заменяется описанием эксперимента (Рис. 12).

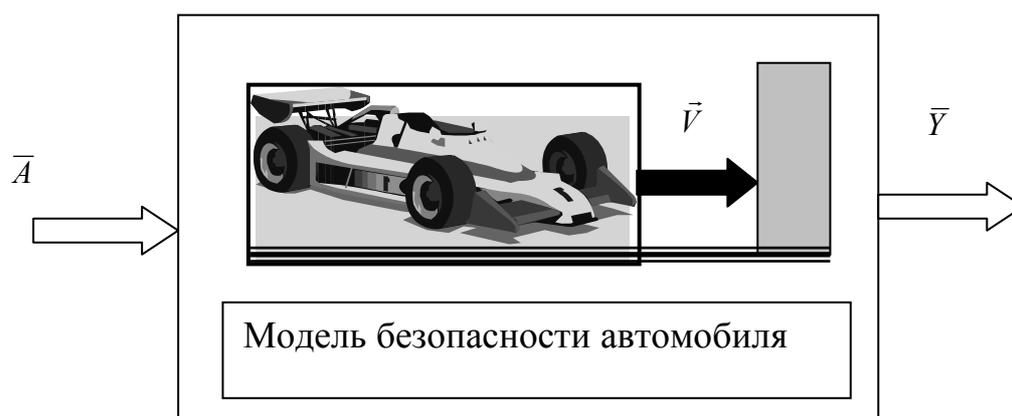


Рис. 12. Пример физической модели

Входными параметрами упрощенной модели безопасности автомобиля являются: $a_1 = V$ - скорость соударения с препятствием; a_2, \dots, a_k - характеристики средств защиты водителя и пассажиров. Выходными параметрами являются: y_1 - количество полученных травм; y_2 - количество тяжелых травм.

Наибольшее количество информации исследователями получено с помощью физических моделей. Одна и та же физическая модель может быть использована для различных целей. При этом важно соблюдение подобия модель и реального объекта. Следует учитывать, что полное подобие объектов и моделей в ряде случаев в принципе невозможно.

Математические модели связывают входные и выходные параметры с помощью математических выражений: формул, уравнений и т.д. (Рис. 13).

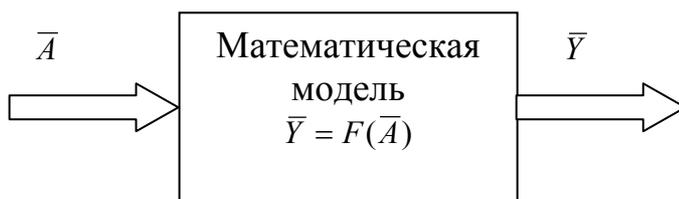


Рис. 13. Математическая модель объекта

Математические модели разделяются на феноменологические и статистические. Феноменологические модели строятся на основе изучения объекта, явления, процесса и т.п. Все физические законы – есть феноменологические модели. К примеру, закон Ома есть феноменологическая модель силы тока в замкнутой цепи (Рис. 14).

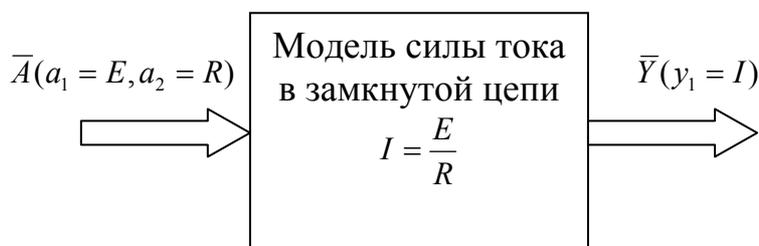


Рис. 14. Пример феноменологической модели

Статистические модели являются результатом математической обработки экспериментальных данных, полученных с использованием физических моделей (Рис. 15). Статистические модели имеют ограниченное применение, определяемое возможностями использованной физической модели. Существенное сокращение числа потребных экспериментов для построения адекватных статистических моделей можно достигнуть при применении требований теории размерностей. При этом в ходе экспериментов измеряются значения безразмерных комплексов образованных из комбинации входных и выходных параметров.



Рис. 15. Пример вида статистической модели

Имитационные модели используются для одновременного моделирования объектов разной физической сущности. В технологии машиностроения достаточно полная модель любого технологического процесса является имитационной, т.к. физика поведения обрабатываемого материала, технологического оборудования и инструмента существенно различаются (Рис. 16).

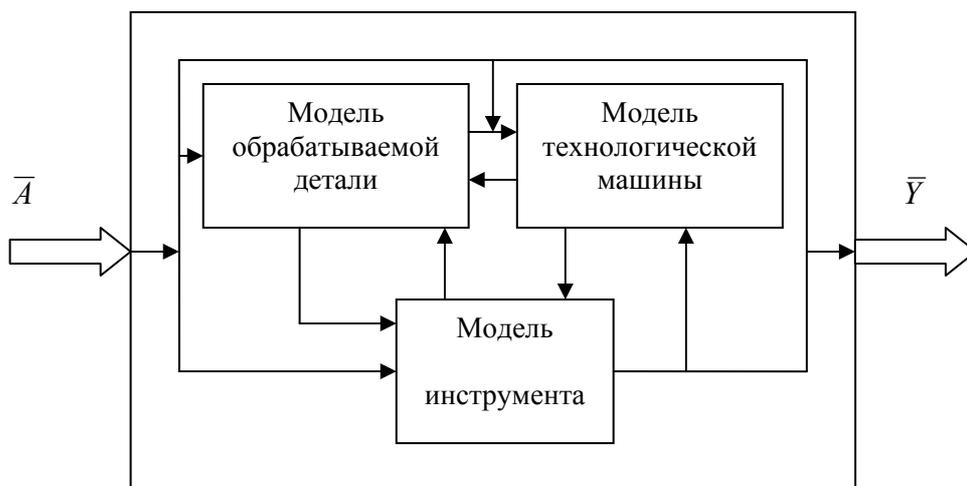


Рис. 16. Имитационная модель технологического процесса машиностроительного производства

Имитационной моделью является модель любого технологического производства в целом (Рис. 17), где объединены модели, описывающие технологический процесс, экологию и экономику производства.

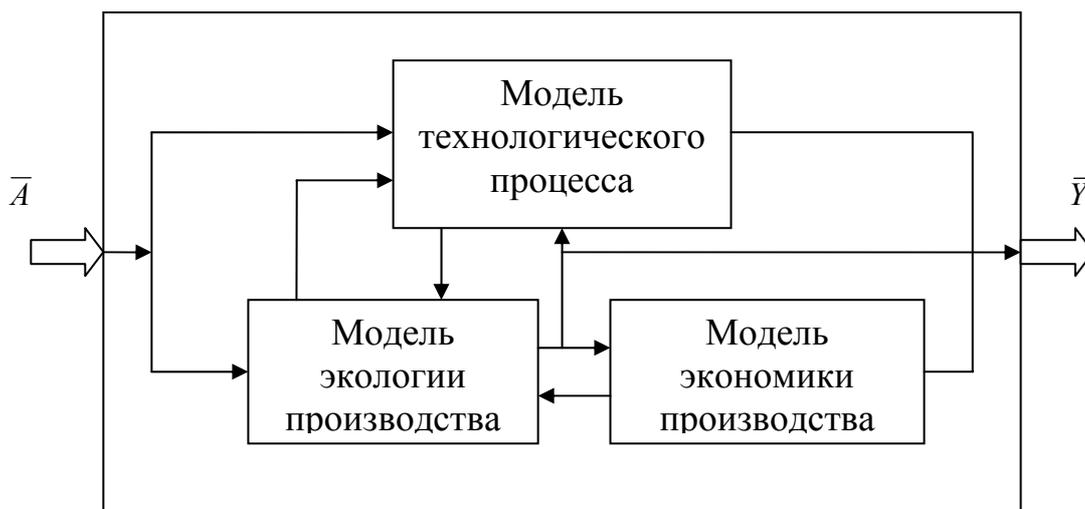


Рис. 17. Имитационная модель технологического производства

Компонентами вектора входных параметров $\bar{A}(a_1, a_2, \dots)$ могут являться

a_1 - геометрия детали; a_2 - материал детали; a_3 - технология изготовления; a_4 - характеристики оборудования и т.д. Вектор выходных параметров $\bar{Y}(y_1, y_2, \dots, y_n)$ характеризуется компонентами, которые являются критериями оценки объекта нижнего уровня:

y_1 - точность получаемой детали; y_2 - прочность детали; y_3 - требуемый расход металла; y_4 - трудоемкость изготовления детали; y_5 - энергоемкость; y_6 - затраты и др.

Основа имитации – математическая модель. Математическая модель становится имитационной, если используется в системном анализе для прогнозирования значений критериев оценки нижнего уровня и управления, т.е. оптимизации значений критериев нижнего уровня.

Под имитацией понимается численный метод проведения машинных экспериментов с математическими моделями сложных систем. Имитационное моделирование – метод изучения объектов (процессов, явлений) во всей их сложности, не помещая их в модели, удобные для применения, тех или иных математических методов анализа.

Основы для имитационного моделирования:

- накопленные знания о большом числе объектов, описание их определяющими уравнениями, которые можно решить только численно;
- появление мощных вычислительных средств, способных за реальные сроки обеспечить решение определяющих уравнений.

Основные положения имитации:

1. Имитация численный метод и используется, когда нет аналитических способов исследования данной модели.

2. ЭВМ – необходимый инструмент для имитации. Использование ЭВМ значительно ускоряет процесс получения результатов, освобождает людей от однообразной вычислительной работы и уменьшает возможность ошибок.
3. Имитация это эксперимент похожий на эксперимент с физическими моделями. При этом вместо природного процесса или явления используется модель, запрограммированная на ЭВМ. Поскольку имитация это эксперимент, то должное внимание должно обращаться на планирование эксперимента и обработку его результатов.
4. Машинная имитация позволяет исследовать поведение модели
 - в определенный момент времени (статическая имитация), расчет повторяется несколько раз в различных условиях проведения эксперимента (при разных значениях входных параметров);
 - в течение продолжительных периодов времени (динамическая имитация).
5. Имитация также бывает:
 - детерминированная, когда случайные параметры отсутствуют, т.е. случайность не учитывается;
 - стохастическая, когда случайные параметры включаются в модель, и учитывается вероятностное распределение случайных параметров. Одним из наиболее известных методов стохастической имитации является метод Монте-Карло.

Этапы разработки имитационной модели:

1. Определение целей моделирования, значения каких критериев оценки должна воспроизводить модель.
2. Построение математической модели.
3. Составление программы для ЭВМ.
4. Оценка пригодности модели – реализм и простота.
5. Планирование эксперимента.
6. Обработка экспериментальных данных.

Построение имитационной модели следует начинать с глубокого изучения моделируемого явления (объекта, процесса), так как проблема построения имитационной модели, как и всякой иной, - это проблема адекватного описания объективных законов реального мира. После этого следует к формулировке проблемы, т.е. ясному изложению целей эксперимента, поскольку эксперимент, проведенный ради самой имитации, даст мало пользы.

После того как сформулированы цели эксперимента, надо построить математическую модель, связывающую выходные и входные параметры. Как правило, выходные параметры модели выбрать нетрудно, так как они обычно определяются уже в процессе формулировки целей исследования. Трудности возникают при выборе входных параметров, воздействующих

на выходные. Если входных параметров слишком мало, то модель может стать неадекватной реальности; если их слишком много, из-за сложности вычислительных процедур машинная имитация может оказаться нереализуемой.

В связи с этим возникает вопрос о сложности математической модели. С одной стороны, можно утверждать, что технические системы крайне сложны и поэтому математические модели, претендующие на описание поведения этих систем, по необходимости должны быть достаточно сложными. Это верно лишь до некоторой степени, так как строить модели настолько сложные (вне зависимости от степени и реалистичности), что реализация их потребует непомерно больших затрат времени, не имеет смысла.

При построении модели необходимо помнить об оценке ее адекватности. Надо определить, правильно ли модель описывает поведение системы. Пока этот вопрос не решен, ценность модели остается незначительной, а имитационный эксперимент превращается в простое упражнение в области дедуктивной логики. Математическая модель должна подходить к предполагаемому типу эксперимента и позволять проводить его планирование.

Успех применения машинной имитации во многом зависит от используемых моделей. Построение моделей всегда процедура неформальная и имеет феноменологическую основу. Имитационная модель должна не только правильно отражать исследуемый объект, но и быть удобной для использования. Поэтому широкое применение находят модели, основанные на анализе конкретных объектов и опирающиеся на общие идеи.

Имитационное моделирование все шире применяется при проектировании сложных объектов и изучении сложных процессов, особенно в тех случаях, когда реальный эксперимент слишком дорог или вообще невозможен.

При применении моделей любого типа (вербальных, физических, математических или имитационных) результатом данного этапа исследований является определение значений всех критериев нижнего уровня в соответствующих единицах измерения для всех сравниваемых вариантов объекта $y_i^j, i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, m.$, т.е. заполнение таблицы вида Табл. 1.

Табл. 1
Значения критериев оценки нижнего уровня

Критерий Вариант	1	2	i	n
1	y_1^1	y_2^1	y_i^1	y_n^1
2	y_1^2	y_2^2	y_i^2	y_n^2
j	y_1^j	y_2^j	y_i^j	y_n^j
m	y_1^m	y_2^m	y_i^m	y_n^m

Построение оценок критериев нижнего уровня по значениям этих критериев. При построении оценок критериев нижнего уровня используются их значения y_i^j , где i- номер критерия нижнего уровня; j- вариант объекта. Прежде всего, для значений критериев нижнего уровня производится операция нормирования, при которой изменение всех критериев нижнего уровня переводятся в диапазон от 0 до 1. При этом худшему значению критерия придается значение- 0, а лучшему- 1. Нормирование производится с помощью зависимости

$$\bar{y}_i = \frac{y_i - y_{ix.}}{y_i - y_{ia.}};$$

где \bar{y}_i - нормированное значение i-го критерия нижнего уровня;

$y_{ix.}$ - худшее значение i-го критерия нижнего уровня;

$y_{ia.}$ - лучшее значение i-го критерия нижнего уровня.

Таким образом, операция нормирования переводит все шкалы измерений значений критериев нижнего уровня в единую безразмерную шкалу со значениями критериев, лежащими в диапазоне от 0 до 1 (Рис. 18).

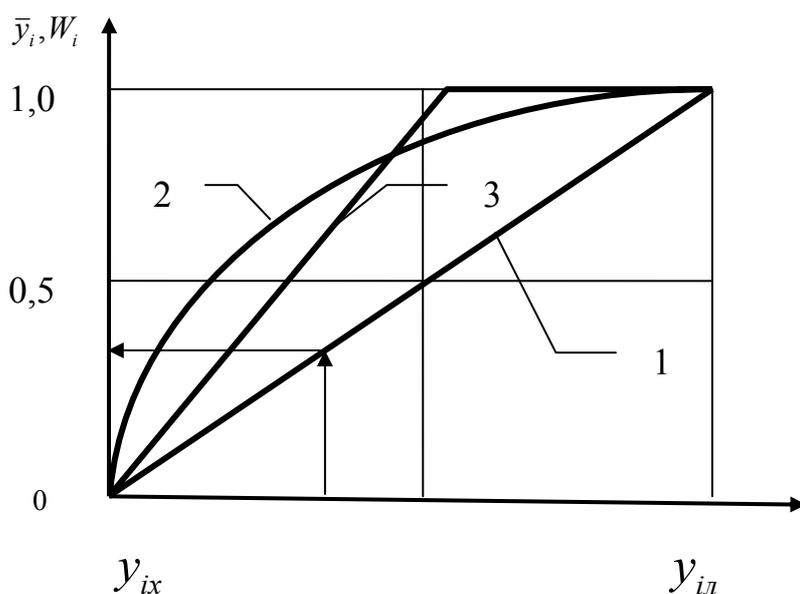


Рис. 18. Функции для построения нормированных значений и оценок критериев нижнего уровня.

- 1- функция перевода в нормированные значения;
- 2- предполагаемая оценочная функция;
- 3- аппроксимация оценочной функции.

В качестве одного из методов построения оценок критериев нижнего уровня в некоторых случаях можно использовать операцию нормирования, т.е. принять за оценку критерия его нормированное значение $W_i = \bar{y}_i$. Действительно при этом наибольшую оценку (1) получает критерий с наилучшим значением и наоборот. Оценки критериев нижнего уровня могут и не совпадать с их нормированными значениями. Замечено, что по мере увеличения нормированного значения критерия приращение его оценки уменьшается. Тогда реальная оценочная функция должна иметь вид типа 2 на Рис.***. Использование нелинейных оценочных функций затруднительно, поэтому чаще используется их приближенное представление (функция 3 на Рис. 18) или функция нормирования.

Построение значений комплексных критериев оценки.

С получением значений критериев нижнего уровня встает проблема агрегирования (свертки) их для получения значения комплексного критерия более высокого уровня. Наиболее распространенным приемом является аддитивная свертка оценок критериев в оценку более высокого уровня.

Пусть $W_{11}^2, W_{12}^2, \dots, W_{1n}^2$ - оценки критериев нижнего уровня. Тогда аддитивная свертка представляет $W_1^1 = \sum_{i=1}^n \alpha_i W_{1i}^2$; где n - число критериев нижнего уровня; α_i - весовые коэффициенты такие, что $\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$.

Проблемы на пути использования аддитивной свертки:

1. Требование к аддитивной форме независимости по предпочтению. Формулировка независимости: Если каждая пара критериев не зависит по предпочтению от своего дополнения, то критерии считаются независимыми по предпочтению.

Для выяснения независимости по предпочтению требуется провести $(n-1)$ проверок. Пусть $n = 3$, тогда

Пара критериев (y_{11}^2, y_{12}^2) должна быть независима от дополнения y_{13}^2 ,

пара критериев (y_{12}^2, y_{13}^2) должна быть независима от дополнения y_{11}^2 ,

пара критериев (y_{11}^2, y_{13}^2) должна быть независима от дополнения y_{12}^2 .

2. Проблема определения весовых коэффициентов $\alpha_i, i = 1, \dots, n, \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1$.

Здесь возможны разные подходы. Все они основаны на субъективной информации, получаемой от экспертов.

а. Использование прямых мнений экспертов. При этом эксперт или эксперты должны «напрямую» указать значения α_i . При использовании мнений нескольких экспертов проводится статистическая обработка результатов. Однако практика показала, что эксперты очень трудно (с большой погрешностью) дают оценки для искомым весовых коэффициентов и получаемые результаты часто не удовлетворяют критериям согласия.

б. Методы компенсации. Существует группа методов определения α_i , основанных на идее приравнивания оценок, т.е. компенсации, по определяемым комплексным критериям. Рассмотрим один из методов. Другой метод рассмотрен в рекомендациях к курсовой работе. Пусть $n = 3$ и структура критериев имеет вид, приведенный на Рис. 19. При этом находится значение комплексного критерия W_1^1 в виде аддитивной функции оценок критериев более низкого уровня $W_{11}^2, W_{12}^2, W_{13}^2$.

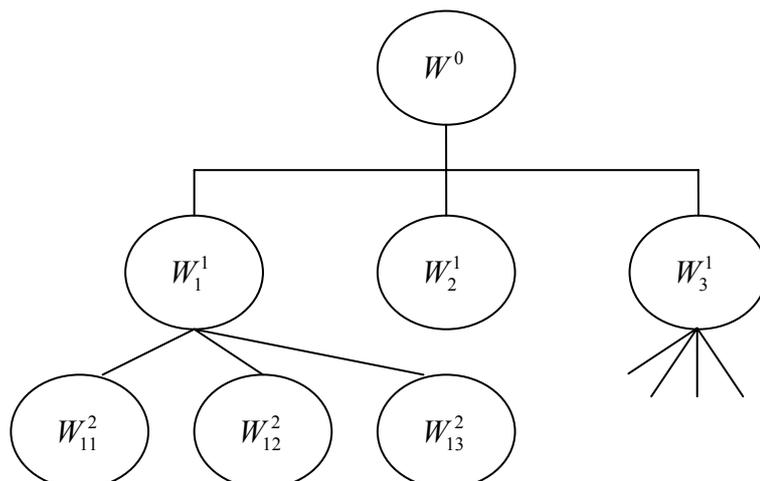


Рис. 19. Структура критериев оценки объекта

Сравним три варианта объекта, каждый из которых оценивается тремя критериями нижнего уровня, т.е. вариант $\{j\} = \{W_{11}^{2j}, W_{12}^{2j}, W_{13}^{2j}\}$.

Пусть вариант $\{1\}$ имеет следующие оценки критериев

$$\{1\} = \{W_{11 \max}^{21}, W_{12 \min}^{21}, W_{13 \min}^{21}\} \text{ или}$$

$$\{1\} = \{1, 0, 0\}.$$

Вариант $\{2\}$ имеет оценки критериев

$$\{2\} = \{0, 1, 0\}, \text{ и вариант } \{3\}$$

$$\{3\} = \{0, 0, 1\}.$$

Допустим, что $\{1\} \succ \{2\} \succ \{3\}$.

Попытаемся приравнять оценку вариантов $\{1\}$ и $\{2\}$, изменяя W_{11}^{21} в первом варианте (уменьшая ее $0 \leq W_{11}^{21} < 1$). Тогда

$$\{W_{11}^{21k}, 0, 0\} = \{0, 1, 0\},$$

где W_{11}^{21k} - компенсирующее значение W_{11}^{21} , при котором варианты признаются равноценными. При этом

$W_1^{11} = \alpha_1 W_{11}^{21k} + \alpha_2 W_{12}^{21} + \alpha_3 W_{13}^{21} = \alpha_1 W_{11}^{22} + \alpha_2 W_{12}^{22} + \alpha_3 W_{13}^{22}$, а с учетом значений критериев

$$\alpha_1 W_{11}^{21k} = \alpha_2 * 1 \text{ или } \alpha_1 W_{11}^{21k} - \alpha_2 = 0.$$

Теперь уравниваем оценки вариантов $\{2\}$ и $\{3\}$ путем изменения W_{12}^{22} в варианте $\{2\}$. При этом получим

$$\{0, W_{12}^{22k}, 0\} \approx \{0, 0, 1\}, \text{ что приводит к уравнению}$$

$$\alpha_2 W_{12}^{22k} - \alpha_3 = 0.$$

В результате получаем систему уравнений

$$\begin{cases} \alpha_1 W_{11}^{21k} - \alpha_2 = 0; \\ \alpha_2 W_{12}^{22k} - \alpha_3 = 0; \\ \alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1. \end{cases}$$

Откуда могут быть найдены весовые коэффициенты $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$

$$\alpha_1 = \frac{1}{1 + W_{11}^{21k} + W_{11}^{21k} + W_{12}^{22k}};$$

$$\alpha_2 = \frac{W_{11}^{21k}}{1 + W_{11}^{21k} + W_{11}^{21k} + W_{12}^{22k}};$$

$$\alpha_3 = \frac{W_{11}^{21k} W_{12}^{21k}}{1 + W_{11}^{21k} + W_{11}^{21k} + W_{12}^{22k}}.$$

В этом методе нет прямого выбора (назначения) значений α_i , а α_i определяются из операции сравнения вариантов с различными значениями оценок критериев, что эксперты делают гораздо точнее.

С определением α_i решается проблема построения значений комплексных критериев. Операцию свертки оценок можно повторять несколько раз. Особую проблему составляет свертка критериев первого уровня. Они слишком разной физической природы и здесь надо использовать некоторые дополнительные исследования.

2.4.1. Выбор предпочтительного варианта

Перед тем как перейти к разработке технической документации на проектируемый объект, проектировщик должен выбрать наилучший вариант. Для этого в его распоряжении имеется набор значений критериев оценки для всех альтернативных вариантов объекта. Прежде всего, эти варианты надо оценить, а затем выбрать из них предпочтительный. Таким образом, разработчик объекта сталкивается с проблемой принятия ответственного решения в некоторых уникальных условиях, в которых он находится. На этом этапе необходимо воспользоваться аппаратом теории принятия решения.

Под принятием решения понимают выбор наиболее предпочтительного варианта решения (способа достижения поставленной цели) из множества допустимых альтернативных решений или вообще некоторое упорядочивание этого множества. Выбор оптимального варианта объекта относится к классу сложных задач принятия решения, характеризующихся множеством целей и множеством вариантов достижения этих целей. Многоцелевой анализ требует рассмотрения всей совокупности целей с позиций соответствующего множества критериев оценки достижения целей. Количественно измеримые цели позволяют выбрать наилучшее решение.

Задача нахождения наилучшего решения на множестве целей, называемая задачей многоцелевой оптимизации, связана с решением многокритериальной задачи (или задачи векторной оптимизации), которая может быть сформулирована следующим образом.

Пусть \bar{x} - решение, определенное на множестве X решений, которые удовлетворяют некоторым ограничениям и рассматриваются как возможные способы достижения поставленных целей. Элементы $\bar{x} \in X$ называются также допустимыми решениями, вариантами решений, альтернативами и т.д. Каждое решение приводит к некоторому исходу, последствия которого оцениваются набором из n скалярных критериев $W_1(\bar{x}), \dots, W_n(\bar{x})$, характеризующих степень достижения целей. Вектор $W = (W_1, \dots, W_n)$ связан с решением $\bar{x} \in X$ некоторым отображением $W(\bar{x}): X \rightarrow W^*$, т.е. решение \bar{x} представляется вектором в n - мерном пространстве частных критериев, определяемом как декартово произведение

$$W^0 = W_1^* \times \dots \times W_n^*,$$

где $W_i^* (i=1, n)$ - множество допустимых значений i -го частного критерия. Необходимо найти такое допустимое и наилучшее решение $\bar{x}^0 \in X$, которое оптимизирует значение $W(\bar{x})$. Модель оптимизации имеет вид

$$W^0 = W(\bar{x}^0) = \text{opt} W(\bar{x}), \bar{x} \in X,$$

где opt - оператор оптимизации, определяющий в явном виде принцип выбора наилучшего решения из всех допустимых.

Идеальным решением называется такое, которое принадлежит пересечению множеств оптимальных решений всех однокритериальных задач, т.е.

$$\bigcap_{i=1}^n \text{Arg max } W_i(\bar{x}),$$

если цель оптимизации состоит в максимизации всех частных критериев.

Изменением знака функции $W_i(\bar{x})$ всегда можно свести задачу максимизации к задаче минимизации и наоборот. Обычно это множество пусто, так как между отдельными и всеми критериями существует противоречие: улучшение решения по одному из критериев обязательно вызывает ухудшение по другому или совокупности других критериев.

Сравнение вариантов объекта по многим критериям не дает непосредственного ответа, какой вариант рассматриваемого объекта лучше. Построение комплексной оценки объекта W^0 характеризующей степень достижения главной цели- цели нулевого уровня - и есть построение решающего правила. Делается это с помощью методов теории принятия решений.

Методы теории принятия решения существенно зависят от типа решаемых задач (Рис. 20).

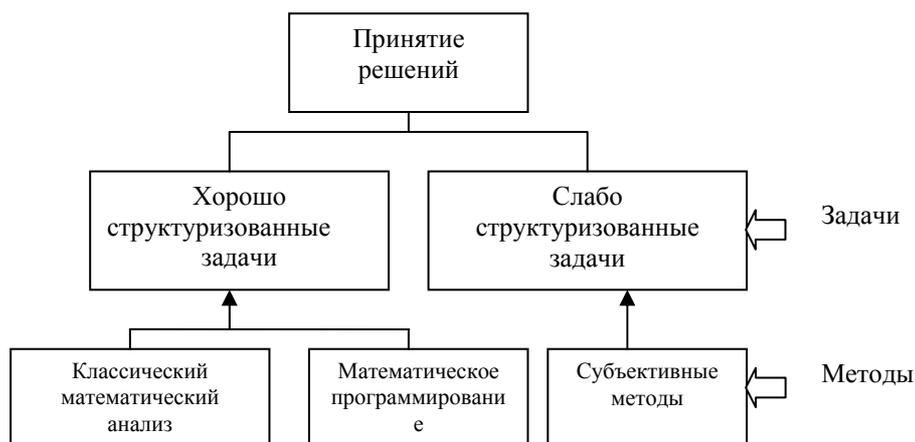


Рис. 20. Основные методы теории принятия решений

Хорошо структуризованные задачи. Во многих проблемах принятия решения объективно существует реальность, допускающая строгое количественное описание и определяющая существование единственного очевидного критерия предпочтительности (оптимальности) объекта. Такие проблемы являются хороше структуризованными. Примеры таких проблем:

- оценка проектов по приведенным затратам. Задача выделить проект с минимальными приведенными затратами.
- обеспечение минимума массы конструкции при заданных технических характеристиках.
- обеспечение максимального быстродействия объекта.
- обеспечение максимальной точности: обработки (для станка), хода (для часов), попадания (для оружия) и т.д.

Методы классического математического анализа связаны с нахождением и анализом первых и вторых производных функции, экстремум которой подлежит определению. Наиболее сильный метод решения экстремальных задач в классическом анализе - метод множителей Лагранжа - разработан для случая, когда множество условий задается системой уравнений, а не системой неравенств.

Основные методы математического программирования. Специфика задач математического программирования:

1. К задачам математического программирования не применимы методы классического математического анализа отыскания экстремумов, т.к. даже в наиболее простых задачах - линейных - экстремум достигается в точках, где нарушается дифференцируемость.

2. Число переменных и ограничений столь велико, что «простой» перебор всех точек «подозреваемых в экстремальности» требует значительных временных затрат даже современных ЭВМ.

Традиционно в математическом программировании выделяются следующие основные разделы:

- Линейное программирование - целевая функция линейна, а множество на котором ищется экстремум целевой функции, задается системой линейных равенств и неравенств.
- Нелинейное программирование - нелинейные целевая функция и ограничения, которые принято подразделять следующим образом: квадратичное программирование, когда целевая функция квадратична, а ограничения – линейные равенства и неравенства; выпуклое программирование, когда выпукла целевая функция (если рассматривается задача ее минимизации) и выпукло множество, на котором решается экстремальная задача.
- Целочисленное программирование, когда на переменные накладываются условия целочисленности.

Опираясь на одни и те же данные, различные специалисты должны получать одинаковые результаты решения хорошоструктуризованных задач принятия решений.

Слабоструктуризованные задачи (принятие решений в условиях многокритериальности, субъективные методы). В многокритериальных задачах часть информации, необходимой для полного и однозначного определения требований к решению, принципиально отсутствует. Исследователь может определить основные переменные, установить связи между ними, т.е. построить модель объекта (Рис. 21), адекватно отражающую ситуацию, т.е. связь между входными и выходными параметрам $Y = Y(A)$. Но зависимости между критериями y_i вообще не могут быть определены на основе объективной информации, имеющейся в распоряжении исследователя. Такие проблемы являются слабоструктуризованными, здесь недостаток информации принципиально неустраним на момент принятия решения.



Рис. 21. Возможности моделирования объекта

Недостаток информации для выбора наилучшего варианта решения должен быть восполнен. Он может быть восполнен лишь людьми на основе опыта и интуиции. Следовательно, существует класс проблем, для которых недостаток объективной информации принципиально не устраним и необходимы специальные средства анализа таких проблем.

Однокритериальные (хорошо структуризованные) задачи довольно часто переходят в слабоструктуризованные (многокритериальные). Примером может служить задача о распределении работ.

Пусть задано n работ, каждую из которых может выполнить любой из n исполнителей. Стоимость выполненной работы i исполнителем j - C_{ij} . Нужно распределить исполнителей по работам, т.е. назначить одного исполнителя на каждую работу таким образом, чтобы минимизировать общие затраты. Рассмотрим часто встречающийся случай, когда работы неодинаковы по важности, а исполнители отличаются по качеству. Тогда к приведенному выше критерию минимальной стоимости можно добавить критерий, характеризующий качество выполнения наиболее важных работ. Если есть уже два критерия, по которым следует оценивать качество распределения исполнителей по работам, то необходимо как-то согласовать их. Какое отклонение от минимума стоимости оправдывает высококачественное выполнение важных работ? Ответ на этот вопрос не вытекает из сформулированной модели. Этот ответ вообще не может быть получен объективным образом. Информация о компромиссе может быть дана людьми, принимающими решение, на основе их опыта и интуиции. Поэтому для устранения неопределенности, возникающей из-за наличия многих критериев, стали использовать предпочтения лица, принимающего решение.

Способы разрешения многокритериальности:

1. Выделение одного (главного критерия). При этом все критерии кроме одного переводятся в ограничения. Объективный и единственно возможный ответ на вопрос, как и на каком уровне, установить ограничения на один из критериев не вытекает из условия задачи.
2. Постулирование некоторых «принципов», определяющих наилучшее решение. Это принципы- равномерности достижения качества по всем критериям, справедливой уступки и т.д. Многокритериальность исчезает, но остается проблема обоснования этих принципов.
3. Введение агрегированного критерия, в котором объединяются все остальные. Самый распространенный способ использования суммы критериев с весовыми коэффициентами. Но объективных методик определения весовых коэффициентов не существует.

4. Выделение в процессе решения проблемы принятия решения в условиях многокритериальности двух этапов:
- а. Объективный анализ проблемы, выявление и исследование бесспорных зависимостей.
 - б. Окончательное нахождение наилучшего решения с учетом многих критериев – предоставить лицу, принимающему решение (ЛПР), которому передаются результаты первого этапа.

Необходимость принятия решений при многих критериях оценки заставляет исследователей искать способа соизмерения этих критериев, отказаться от попыток решить проблему в рамках объективных моделей. Сделано это может быть путем определения связи между любой парой альтернатив, задаваемой последовательность бинарных отношений. Для этого вводится понятие бинарного отношения на множестве.

Пусть Π - множество упорядоченных пар (x, y) , где $x \in \Pi, y \in \Pi$.

Бинарные отношения могут задаваться как аналитически, так и в вербальной формулировке. Аналитическое задание: $<, >, \approx$. Отношение « $x < y$ » читается « x менее предпочтителен, чем y ». Отношение « $x > y$ » читается, как « x более предпочтителен, чем y ». Отношение « $x \approx y$ » читается «отношение безразличия».

Различаются «сильные» и «слабые» бинарные отношения. «Сильные» бинарные отношения соответствуют большие требования к превосходству одной альтернативы над другой. Самым сильным является требование полного или абсолютного доминирования.

Принцип абсолютного доминирования.

Пусть имеются две альтернативы:

$$\{1\} = \{W_1^1, W_2^1, \dots, W_n^1\};$$

$$\{2\} = \{W_1^2, W_2^2, \dots, W_n^2\}.$$

Альтернатива $\{1\}$ доминирует над $\{2\}$, когда $W_i^1 \geq W_i^2$ для всех i , и хотя бы для одного $W_i^1 > W_i^2$.

При $n=2$ можно дать графическую интерпретацию принципа абсолютного доминирования. Пусть $W_1 \rightarrow \max, W_2 \rightarrow \max$. Тогда незакрашенная область на Рис. 22 представляет область вариантов, доминирующих над вариантом $\{2\}$. Доминирующий вариант $\{1\}$ должен находиться северо-восточнее варианта $\{2\}$.

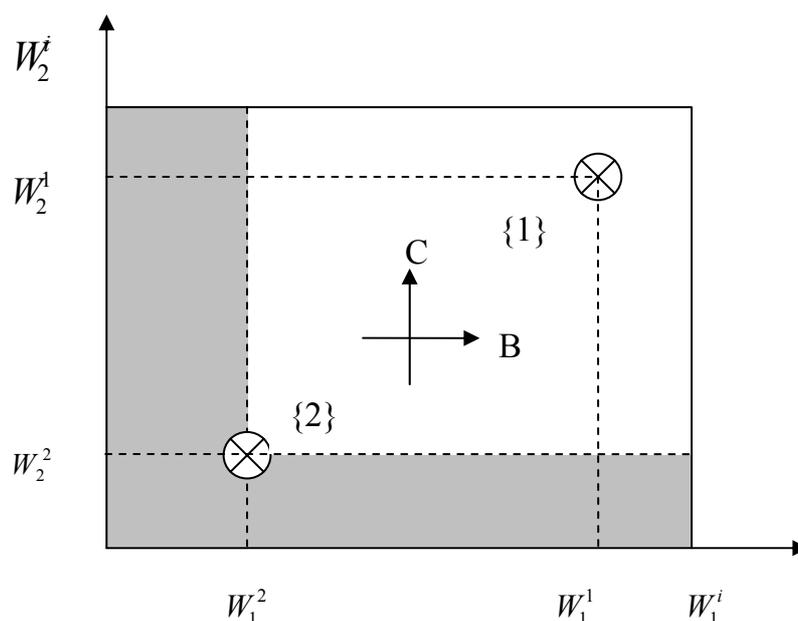


Рис. 22 Определение зоны абсолютного доминирования

На основе выбранного бинарного отношения осуществляется попарное сравнение всех альтернатив, причем альтернативы, оказавшиеся лучшими выделяются в новое множество, называемое ядром. Размер ядра характеризуется количеством альтернатив. Если бинарное отношение является отношением абсолютного доминирования одной альтернативы над другой, то появившееся при этом ядро является множеством Парето.

Согласно принципу Парето выбрать в качестве решения следует только ту альтернативу, которая принадлежит множеству Парето. Принцип Парето не выделяет единственного решения, он только сужает множество альтернатив, из которых выбирается предпочтительный вариант, что можно видеть на Рис. 23.

Более «слабые» бинарные отношения определяют условия, при которых, несмотря на противоречивые оценки критериев, одна альтернатива объявляется лучшей, чем другая.

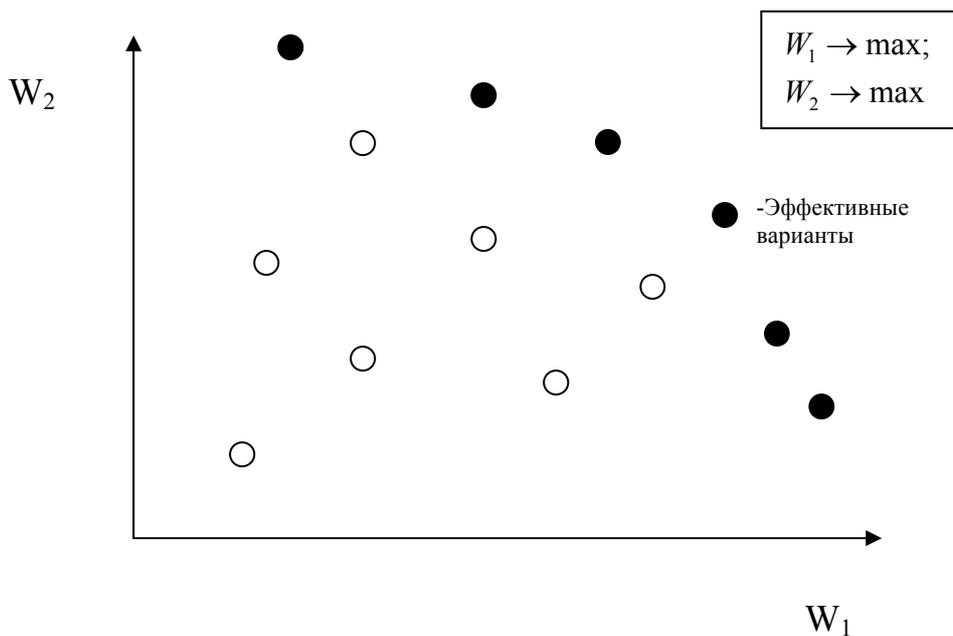


Рис. 23. Выделение эффективных вариантов

Схема определения предпочтительного варианта, сочетающая объективные и субъективные методы (Рис. 24). Формирование решающего правила выбора предпочтительного варианта объекта.

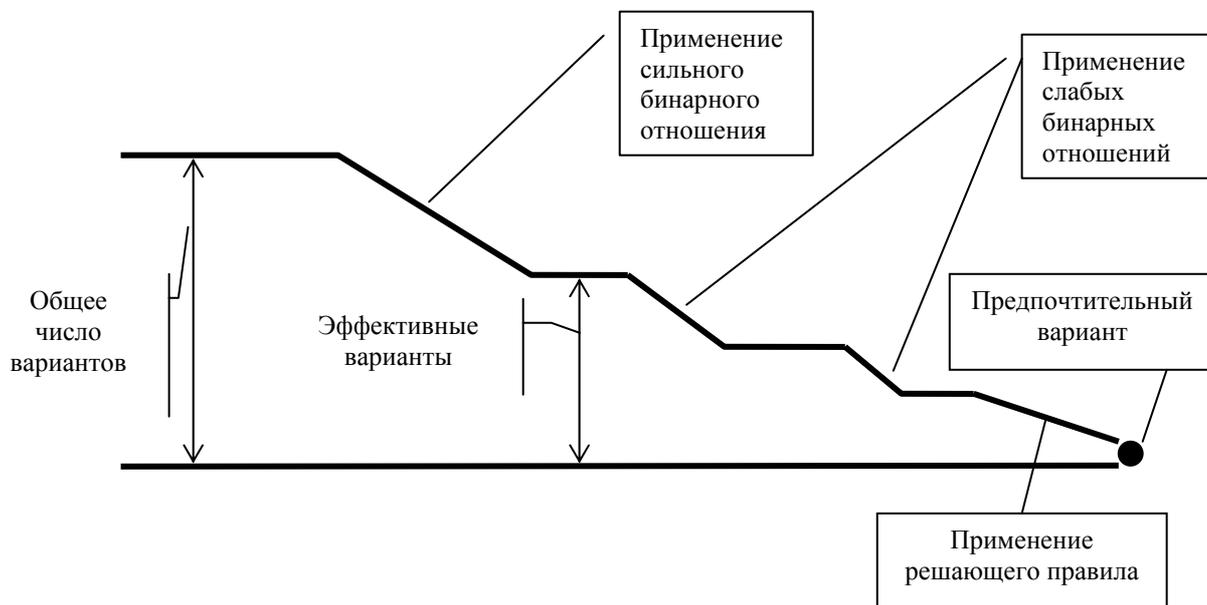


Рис. 24. Схема выбора предпочтительного варианта объекта при многокритериальной оценке

Пример выбора предпочтительного варианта технологического процесса машиностроительного производства.

Допустим, что некоторое промышленное предприятие имеет возможность изготавливать одну и ту же деталь путем реализации 11 разных технологических процессов. Пусть эти процессы характеризуются значениями трех комплексных критериев (Табл. 2):

Табл. 2

Номер технологического процесса	W^1_1	W^1_2	W^1_3
1	0,730	0,333	0,666/60
2	0,000	0,418	0,333/70
3	0,090	0,333	0,000/80
4	0,727	1,000	0,666/60
5	0,363	0,582	0,333/70
6	0,637	0,751	0,833/55
7	0,454	0,000	1,000/50
8	1,000	0,915	0,000/80
9	0,637	0,085	0,333/70
10	0,363	0,000	1,000/50
11	0,454	0,085	1,000/50

Значения комплексных критериев оценки технологических процессов

W^1_1 - значение комплексного критерия оценки качества детали;

W^1_2 - значение комплексного критерия оценки технического уровня технологического процесса;

W^1_3 - значение комплексного критерия оценки затрат на производство данной детали /затраты на производство данной детали в руб.

Согласно приведенной схеме выбора предпочтительного варианта (Рис. 24) определим эффективные варианты технологического процесса, т.е. использует «сильные» бинарные отношения. Из рассматриваемого набора 11 вариантов технологического процесса эффективными вариантами являются варианты 1, 4, 6, 8, 11.

Далее используем «слабые» отношения. Например, по мнению экспертов значения комплексных критериев должны удовлетворять ограничениям:

1. $W^1_{11} > [W^1_{11}] = 0,600$. Это условие приводит к отсеву варианта №11, для которого $W^1_{11}(11) = 0,454 < [W^1_{11}]$.
2. $W^1_{21} > [W^1_{21}] = 0,500$. Это условие приводит к отсеву варианта №1, для которого $W^1_{21}(1) = 0,333 < [W^1_{21}]$.
3. $W^1_{38} > [W^1_{38}] = 0,400$. Это условие приводит к отсеву варианта №8, для которого $W^1_{38}(8) = 0,000 < [W^1_{38}]$.

В результате применения «сильных» и «слабых» бинарных отношений количество сравниваемых вариантов сократилось до двух-№№4 и 6.

Построим решающее правило выбора предпочтительного варианта. При известных условиях независимости критериев W^1_1, W^1_2, W^1_3 можно использовать аддитивную свертку для расчета комплексной оценки технологического процесса W^0

$$W^0 = \sum_{i=1}^3 \alpha_i W^1_i.$$

Предположим, что $\alpha_i = 0,333$, тогда
 $W^0(4) = 0,333(0,727 + 1,000 + 0,666) = 0,797$;
 $W^0(6) = 0,333(0,637 + 0,751 + 0,833) = 0,740$.

По значению комплексного критерия W^0 вариант 4 превосходит вариант 6.

Для сравнительной оценки эффективных вариантов возможно использование также относительного критерия в виде

$W^0 = \frac{\alpha_1 W^1_1 + \alpha_2 W^1_2}{W^1_3}$, где W^1_3 - должно быть выражено в стоимостных единицах (руб.).

Пусть $\alpha_1 = \alpha_2 = 0,5$. Тогда

$$W^0(4) = \frac{0,5(0,727 + 1,000)}{60} = 0,0144; \quad W^0(6) = \frac{0,5(0,636 + 0,751)}{55} = 0,0126.$$

По относительному критерию, характеризующему качество на единицу затрат вариант 4 превосходит вариант 6. Поскольку весовые коэффициенты определяются субъективно, то возникает сомнение в их точности. В этом случае можно провести оценку устойчивости результатов сравнения вариантов, несколько изменяя значения весовых коэффициентов (Табл. 3).

Табл. 3

	$\alpha_1 = \alpha_2 = 0,5$	$\alpha_1 = 0,4; \alpha_2 = 0,6$	$\alpha_1 = 0,6; \alpha_2 = 0,4$
$W^0(4)$	0,0144	0,0149	0,0139
$W^0(6)$	0,0126	0,0132	0,0130

Во всех случаях вариант 4 по выбранному критерию сравнения превосходит вариант 6, что свидетельствует об устойчивости результатов сравнения. Таким образом, из рассмотренных 11 вариантов технологического процесса предпочтительным является вариант №4.

Приведенный выбор предпочтительного варианта технологического процесса (Рис. 25) соответствует общей схеме выбора (Рис. 24).

Пользоваться относительным комплексным критерием вида

$W^0 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} \alpha_i W_i^1}{W_n^1}$ для выбора предпочтительного варианта можно только:

1. если W_n^1 (в примере W_3^1) есть критерий типа затрат, стоимости и т.д. В этом случае получается понимаемый критерий «качество на руб. затрат. Делить, например, «качество» на «технический уровень» дает бессмысленный критерий.
2. для эффективных вариантов (т.е. достаточно хороших). В противном случае можно получить в результате деления плохого качества на низкие затраты высокое значение W^0 и это откроет дорогу низкокачественным процессам.

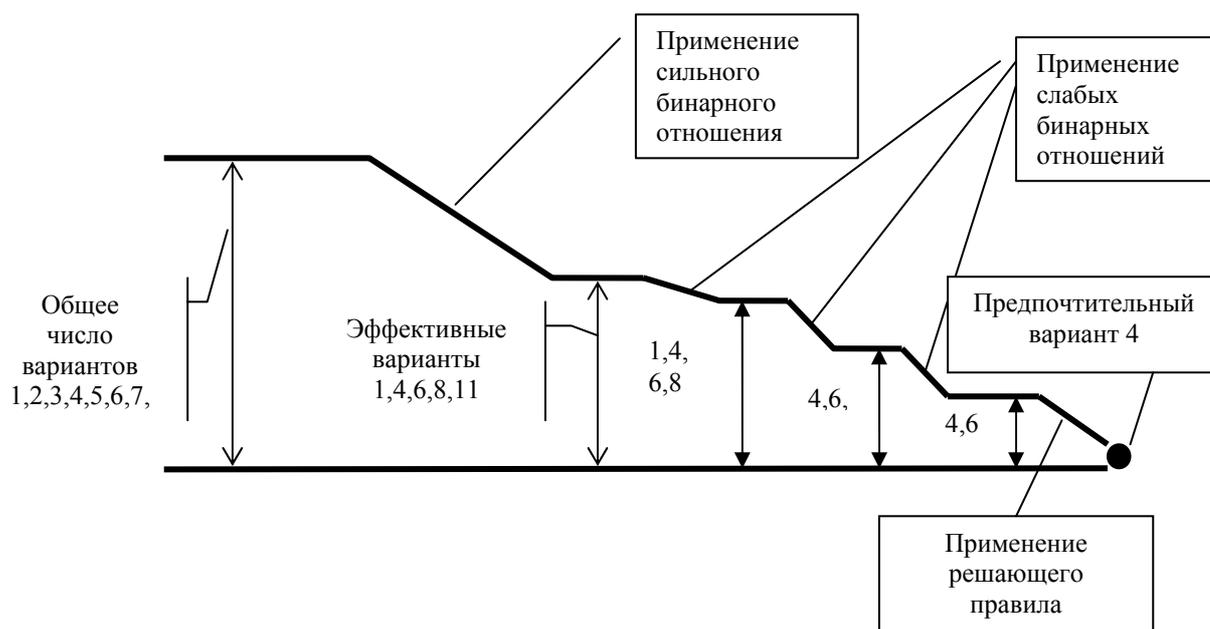


Рис. 25. Схема выбора предпочтительного варианта технологического процесса

Системный анализ является эффективным средством решения многокритериальных задач, так как он объединяет в себе системный подход, позволяющий структурировать представления ЛПР, и методы оценки и сравнения многокритериальных альтернатив на основе формализации субъективных суждений.

Методы принятия решений облегчают процесс решения; но не дают окончательного ответа относительно выбора решения, и он по-прежнему остается прерогативой человека. Однако использование на момент принятия решения всей доступной объективной и субъективной информации в систематизированном виде существенно повышает уровень принимаемых решений.

Принятие решение в условиях неопределенности

Причины появления неопределенности в задачах принятия решений.

Две стороны нечеткости мира: первая, возникающая при построении моделей реальных явлений; вторая, присущая мышлению и восприятию человека. При выделении подсистемы фактически вводятся границы, которых на самом деле не существует. Выделение подсистемы определяются целями исследований и предположениями о полной системе. Полная система не является дискретной совокупностью подсистем, а скорее представляет собой «континуум», в котором подсистемы «проникают» друг в друга. Переход от подсистемы к системе происходит не скачкообразно через четкую границу, а плавно, непрерывно. Поэтому и границ в обычном смысле между ними установить нельзя.

При получении информации от людей, имеющих представление о функционировании системы, эта информация носит субъективный характер, и ее представление, как правило, содержит большое число неопределенностей типа «много», «мало», «сильно увеличить», «высокий уровень», «очень эффективный» и т.п., которые не имеют аналогов в языке традиционной математики. Таким образом, анализ систем требует создания средств более полного учета нечетких представлений.

Понятие нечеткого множества. Нечеткое подмножество A универсального множества U характеризуется функцией принадлежности $\mu_A: U \rightarrow [0,1]$,

которая ставит в соответствие каждому элементу $u \in U$ число из отрезка $[0,1]$, характеризующее степень принадлежности элемента u подмножеству A .

Нечетко определенные цели. Нечеткой целью принятия решения может быть типа: величина x должна быть примерно равна 5; желательно, чтобы величина $x \gg 10$. Нечеткое множество G соответствует нечеткой цели. Функция принадлежности $\mu_G(x)$ показывает степень достижения цели данной альтернативы x . Если имеется несколько целей G_i ($i=1, \dots, n$), то степень достижения этих целей будет определяться

$$\mu_D = \min \{ \mu_{G_1}(x) + \dots + \mu_{G_n}(x) \}.$$

Пути принятия решений при нечеткой информации: отказаться от четкого описания в задачах принятия решений и на основе теории нечетких множеств разработать аппарат, позволяющий извлекать из нечеткого описания правило выбора альтернатив или добиться максимальной четкости информации.

3. Рекомендации по выполнению курсовой работы

3.1. Цель курсовой работы

Целью данной курсовой работы является овладение методом комплексной оценки, выбора предпочтительного варианта и прогнозирования развития технических объектов различной физической и технической природы, и в первую очередь, объектов машиностроения.

Выполняя курсовую работу, студенты учатся:
обоснованно выбирать параметры и критерии оценки технических объектов, используя функциональный анализ;
производить сравнительную оценку технических объектов, используя экспертные процедуры;
производить анализ и выявлять тенденции изменений данного вида изделий.

Необходимость в использовании этих навыков возникает в следующих ситуациях:
аттестация различных видов изделий с целью определения их соответствия требованиям потребителей и достигнутому мировому уровню;
определение целесообразности внедрения новой конструкторской разработки;
формирование "портфеля заказов" на опытно-конструкторские разработки с учетом прогнозируемых тенденций изменения.

Кроме того, такой опыт необходим и во многих других ситуациях, связанных с определением направления научно-технического направления развития предприятий, технического обновления выпускаемой продукции.

3.2. Объект исследований

Сравнительный анализ и выбор предпочтительного варианта по выбору студента и с согласия преподавателя могут проводиться для следующих объектов:

- машины, станки и оборудование машиностроения и других отраслей;
- технологические процессы машиностроения и других отраслей;
- технологическая оснастка;
- средств автоматизации и механизации;
- планы производственных участков и цехов;

средства транспорта: автомобили, автобусы и т.д.;
 бытовые приборы: холодильники, пылесосы, телевизоры, чайники,
 видеоманитофоны и др.:
 средства вычислительной техники: компьютеры, принтеры,
 мониторы, элементы вычислительной техники;
 средства программного обеспечения;
 недвижимость: площадки под застройку, квартиры, дачные участки;
 другие.

Требования к объекту исследования заключаются в следующем:
 студент должен достаточно ясно представлять сущность объекта,
 принцип его работы, структуру, функциональные связи элементов и т.д.,
 объект должен быть интересен студенту,
 число сравниваемых вариантов объектов должно быть не менее
 шести;
 число критериев оценки не должно быть менее шести, причем один
 из них - стоимость (цена) объекта;
 студент должен привлечь двух-трех экспертов, способных дать
 оценку сравниваемым вариантам объекта.

3.3. Структура курсовой работы

Курсовая работа должна состоять из следующих элементов:

Титульный лист

Введение

1. Описание характерных особенностей класса исследуемых объектов, их назначение, области применения.
2. Построение структурной схемы исследуемого объекта.
3. Построение функциональной схемы объекта.
4. Обоснование и выбор критериев сравнения. Дерево критериев оценки. Выбор основных критериев сравнения, обоснование отсева второстепенных критериев.
5. Характеристика объектов сравнения с указанием значений критериев оценки, определение диапазона изменения критериев, значений критериев оценки в нормируемом виде.
6. Определение для каждого объекта сравнения комплексной оценки с использованием экспертных методов.
7. Выделение множества эффективных вариантов сравниваемых объектов.
8. Выбор (с обоснованием) предпочтительного варианта объекта, соответствующего конкретным условиям выбора.

9. Построение временного ряда изменения качества зарубежных аналогов и отечественных образцов за рассматриваемый период. Прогнозирование изменения этого показателя в перспективном периоде.

10. Выявление тенденций изменения отдельных критериев исследуемых объектов и прогнозирование их значений в конце прогнозируемого периода.

11. Выводы о соответствии исследуемого объекта мировому уровню или заключение о рациональности начала производства нового варианта исследуемого объекта.

Пункты 9-11 выполняются по специальному указанию преподавателя.

3.4. Содержание этапов работы

3.4.1. Образец титульного листа:

Министерство науки и образования

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

Механико-машиностроительный факультет

Курсовая работа

по курсу «Системное проектирование в машиностроении»

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ВЫБОР
ПРЕДПОЧТИТЕЛЬНОГО ВАРИАНТА _____**

Студент: _____
Группа: _____
Преподаватель: _____

Санкт-Петербург
201X г. _

3.4.2. Введение

Введение включает в себя:

- а) краткие сведения об объекте;
- б) описание проблемы выбора в конкретной ситуации.

Пример 1

ОАО «Завод “Русские баранки”», где я был на практике, расширяет свое производство и, решил приобрести пяти-координатный станок для изготовления сложно профильных форм для штамповки калачей. Многокоординатные станки выпускаются многими фирмами в различных странах мира. Различные показатели станков и их стоимость различаются в значительных пределах. Известны финансовые возможности ОАО, но основные требования к покупаемому виду оборудования точно не определены. Предприятию нужен станок средней производительности, не высшего класса точности, желательно малогабаритного и малошумного, но способного изготавливать сложные пространственные формы для реализации богатой фантазии булочников и кондитеров. Привлечение методов системного анализа должно помочь в выборе станка для конкретных условий ОАО «Завод “Русские баранки”».

Пример 2

В настоящее время в России имеется большой выбор разнообразной аудиотехники. Я давно мечтаю приобрести аудио-центр с хорошими характеристиками и за доступную цену. Тот ассортимент аудиотехники, который был распространен в нашей стране еще несколько лет назад, не удовлетворял меня по своему качеству. Некоторые известные мне образцы для профессионалов могли достойно отобразить аудиозаписи, но они либо были очень дороги, либо их было просто невозможно приобрести. Сегодня техника с высоким качеством звучания стала доступной для многих потребителей. Все интересующие меня аппаратура стоит от 5000-10000 руб., что соответствует цене самых дешевых моделей техники для профессионалов. Есть ли, помимо только экономии, иная причина, способная заставить меня купить какую-либо определенную модель? Меня интересуют в аудио-центре помимо цены качество звучания, выходная мощность и дизайн. С помощью системного анализа я надеюсь оценить, насколько отличаются друг от друга аудио центры и выбрать для себя предпочтительный вариант. В качестве исходных данных использована информация о технических характеристиках аудио центров, полученная из рекламных проспектов различных фирм.

3.4.3. Описание характерных особенностей исследуемых объектов

В данном разделе должна содержаться информация об объекте исследования:

- а) назначение объекта исследования;
- б) область или сфера применения;
- в) основные производители;
- г) основные отличия разных типов объекта;
- д) цель исследований (с какой целью привлекается аппарат системного анализа и принятия решений);
- е) какой результат предполагается получить в результате проведения исследований

3.4.4. Построение структурной схемы исследуемого объекта

Структурная схема объекта – это графическое представление блок-схемы изделия в виде иерархической структуры (упрощенная структурная схема аудио центра приведена на рис.26).

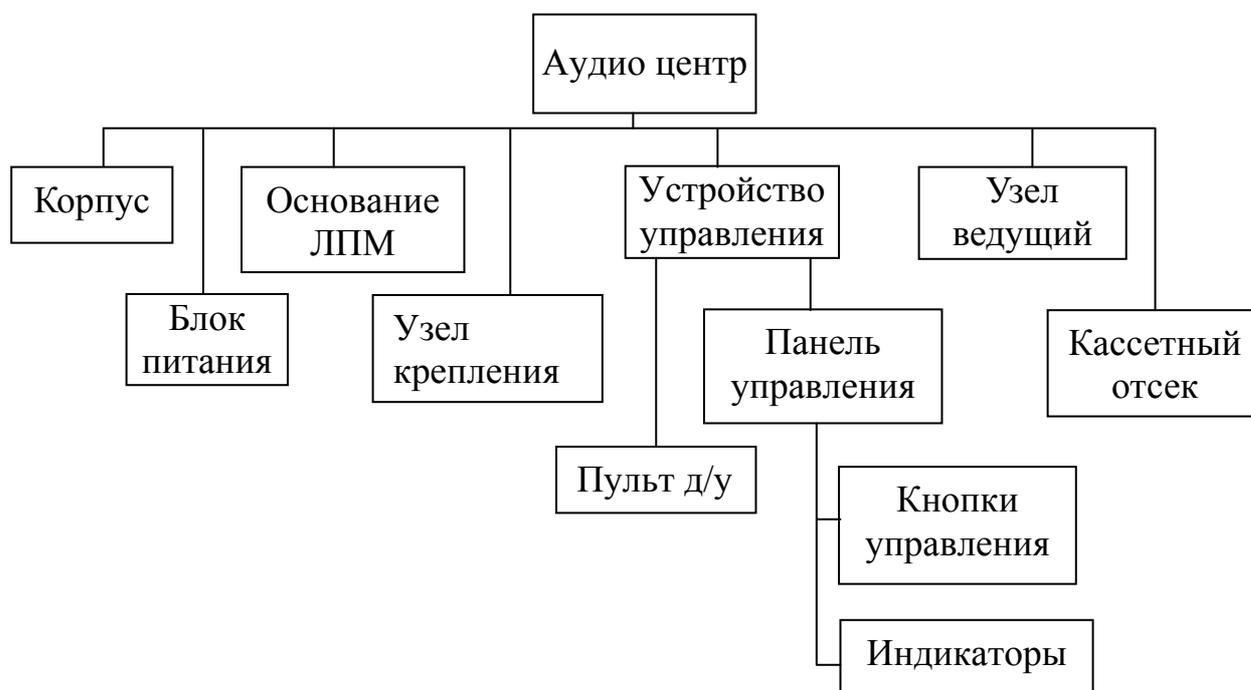


Рис. 26. Структурная схема аудио центра

3.4.5. Построение функциональной схемы объекта

Ф у н к ц и о н а л ь н а я с х е м а - логико-графическое изображение состава и взаимосвязей функций изделия, получаемое путем их формулировки и установления иерархического порядка.

Ф у н к ц и я - это назначение, цель, ради чего создается изделие или технический объект. Функция может быть определена для любого уровня системы, она не связана с каким-либо определенным техническим решением.

Процесс построения функциональной схемы включает в себя:

формулировку функций;

группировку функций;

определение правильности распределения функций;

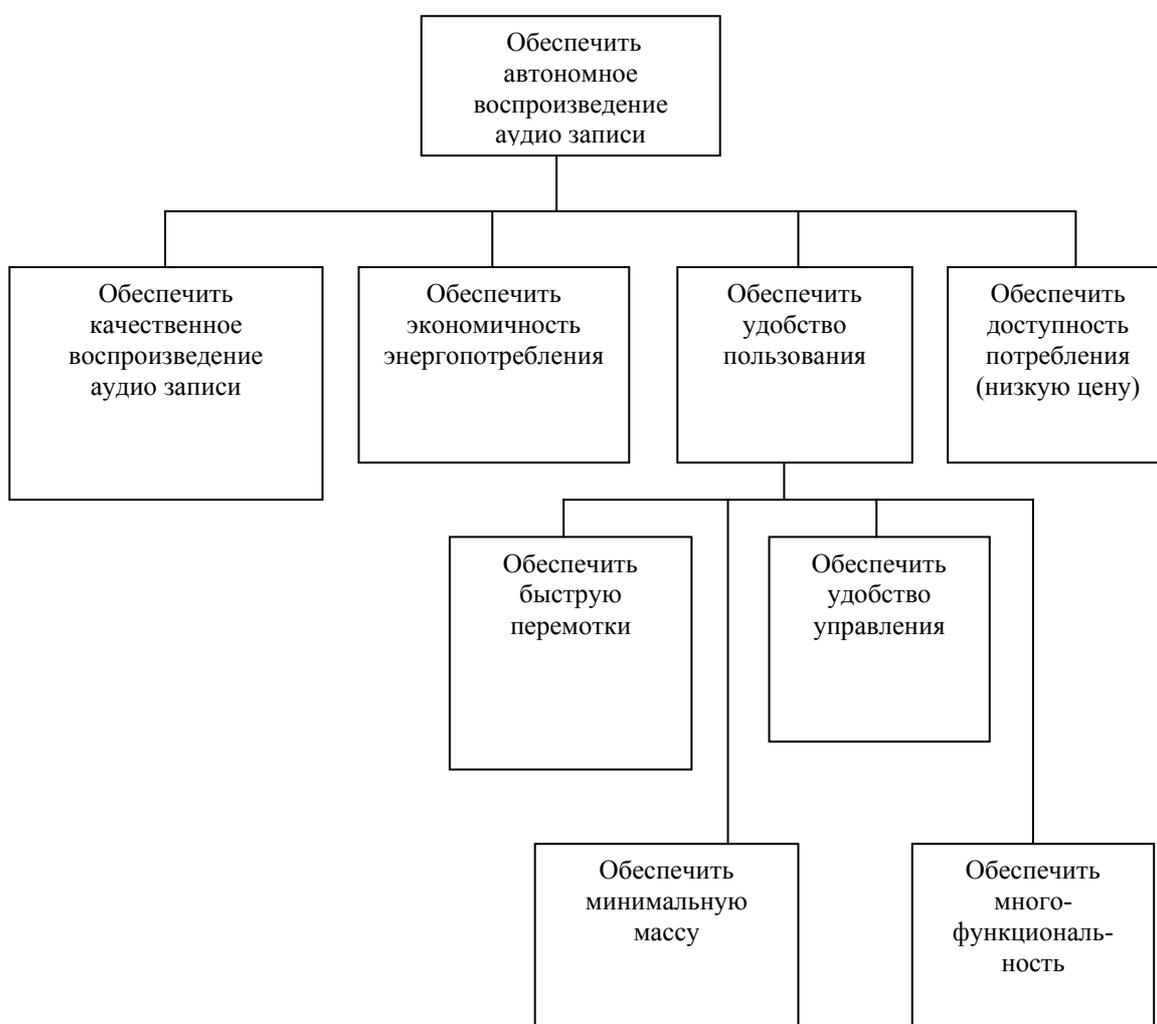


Рис. 27. Функциональная схема аудио плеера (фрагмент)

графическое изображение функциональных связей в виде иерархической структуры.

При построении функциональной схемы (рис. 27) должно учитываться, что формулировка функций должна: обязательно содержать глагол и существительное (например, «обеспечить передачу крутящего момента», «отражать свет»);

быть абстрактной и не содержать понятий, отражающих соответствующее техническое решение.

3.4.6. Обоснование и выбор критериев сравнения

Функциональная схема является основой для построения иерархической структуры критериев оценки объекта- дерева критериев.

Функции низшего порядка должны сопровождаться описанием требований к ним и количественной составляющей - критерием.

Требования к критериям сравнения

Полнота. Набор критериев является полным, если он способен показать степень достижения общей цели (основной функции), т.е. на его основе лицо, принимающее решение, имеет полное представление о степени достижения общей цели.

Действенность. Критерии должны быть сформулированы в терминах, привычных для лиц, выступающих в качестве экспертов, и принимающих участие в решении проблемы.

Неизбыточность и минимальная размерность. Критерии должны быть определены так, чтобы не дублировался учет одних и тех же аспектов возможных последствий. Необходимо, чтобы набор критериев оставался настолько малым, насколько это возможно, так как с ростом числа критериев возрастают трудности выбора

Дерево критериев оценки

Дерево критериев может быть построено на основе функциональной схемы. При этом, например, для функции «Обеспечить освещенность заданного пространства» название соответствующего критерия будет «Освещенность заданного пространства».

Далее следует произвести отсев мало важных для сравнения критериев. Оставшиеся критерии, представляющие наибольшую важность для сравнения которые, как правило, характеризуют качество объекта.

Таким образом, комплексная оценка объекта определяется комплексной оценкой качества объекта и его стоимостью (рис. 28).

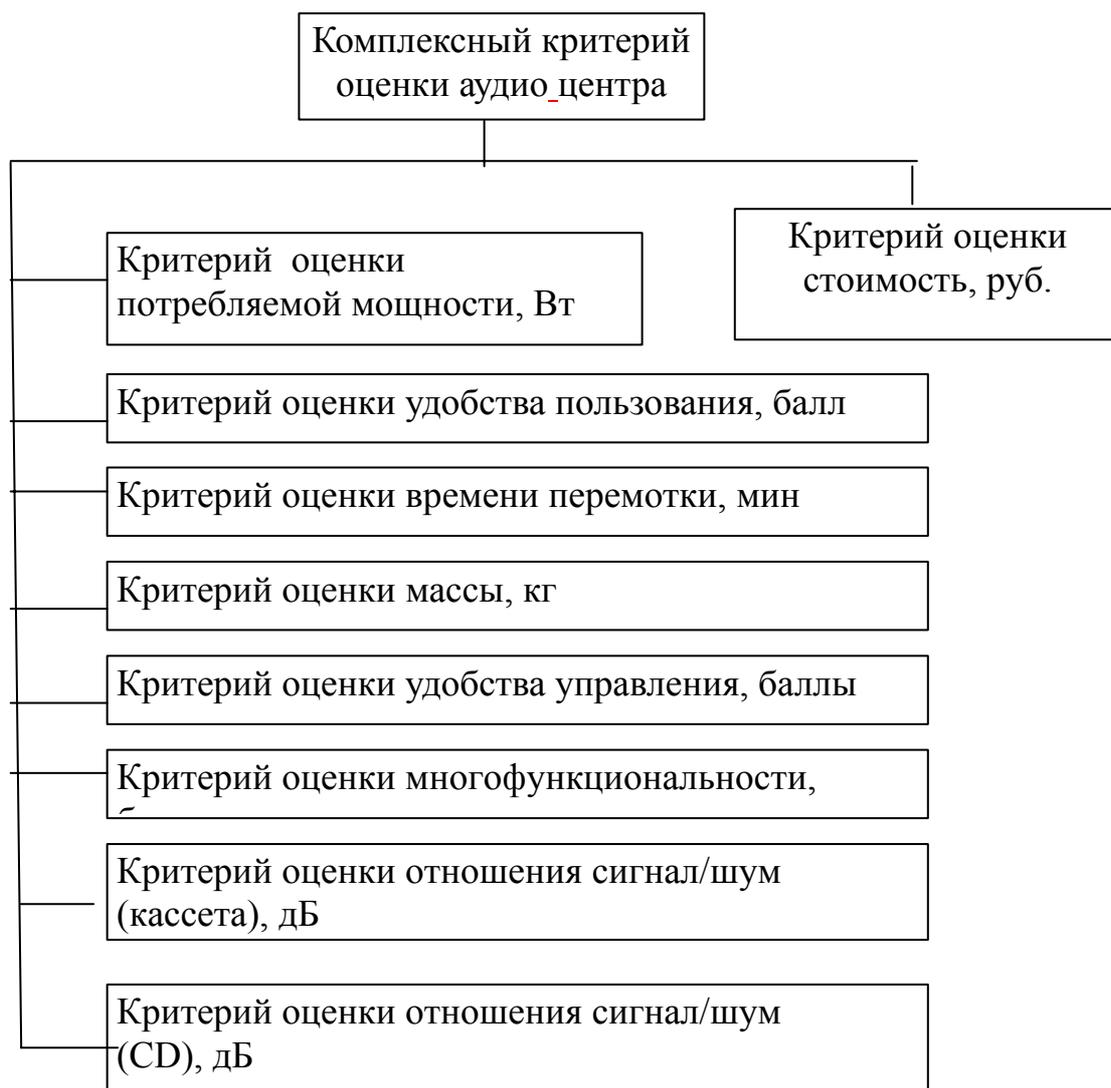


Рис. 28. Дерево критериев оценки, используемое для сравнительной оценки аудио центров

3.4.7. Характеристика объектов сравнения

В данной главе требуется сформировать таблицу, где приводятся:

- а) номер варианта объекта;
- б) название каждого варианта (индекс модели, фирма производитель и т.д.),

в) значения критериев оценки в размерном и безразмерном (нормированном) виде. Значения критериев оценки в нормируемом

виде определяются по зависимости $\bar{p}_i = \frac{p_i - p_{\text{худшее}}}{p_{\text{лучшее}} - p_{\text{худшее}}}$;

где p_i – значение i -го критерия в размерном виде для рассматриваемого варианта; $p_{\text{худшее}}$ – худшее значение i -го критерия; $p_{\text{лучшее}}$ – лучшее значение i -го критерия.

Операция нормирования делает равным диапазон изменения для всех критериев. При этом оценка «0» соответствует наихудшему значению критерия, а оценка «1» – наилучшему.

3.4.8. Определение для каждого объекта сравнения комплексной оценки качества с использованием экспертных методов

Для каждого объекта из группы сравнения определяются комплексные оценки качества с использованием экспертных методов построения оценочных шкал. При этом используется один из методов компенсации. Для его реализации прежде всего строятся графы связности критериев.

Граф связности критериев

Необходимо привлечь два-три эксперта. Согласно мнению каждого эксперта строится граф связности. Эксперты должны выбрать (назначить) пары критериев, которые, по их мнению, могут взаимно компенсировать друг друга.

Предположим, что двумя экспертами были построены следующие графы связности критериев оценки (рис. 29).

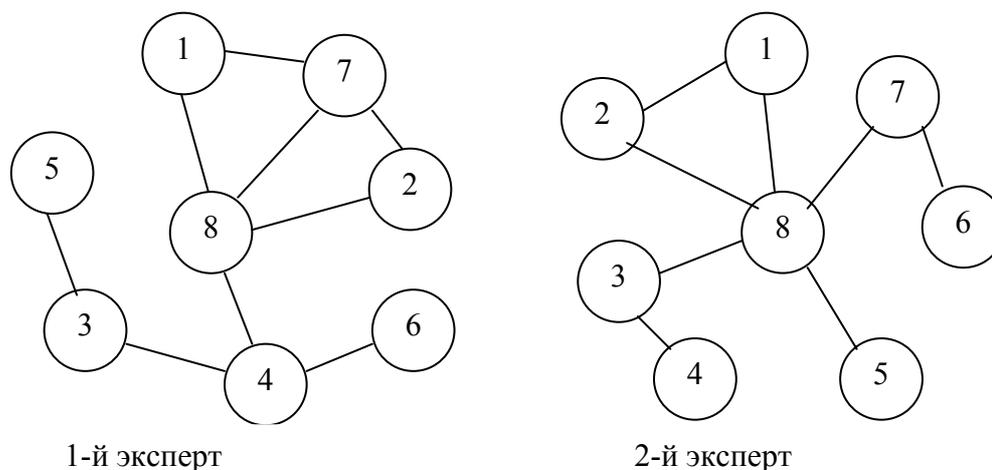


Рис. 29. Графы связности критериев оценки

На основе мнений экспертов строим обобщенный граф связности (рис.30).

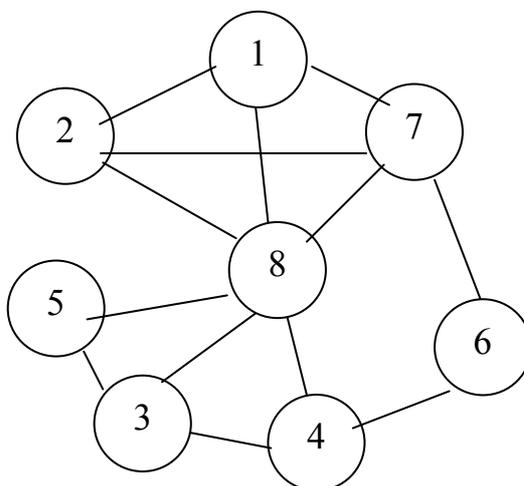


Рис.30. Обобщенный граф связности

Определение соотношений эквивалентности

Для указанных в обобщенном графе связности пар критериев, выбираем наиболее достоверные по мнению экспертов и для них определяем соотношения эквивалентности путем попарного сравнения критериев.

Предположим, что эксперт при существующих значениях критериев оценки p_1 и p_7 определил вариант 2 как более предпочтительный по сравнению с вариантом 1.

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Вариант 1} \\ p_1^1=0,5 \\ p_7^1=0,5 \end{array} \right\} < \left\{ \begin{array}{l} \text{Варианта 2} \\ p_1^2=0,2 \\ p_7^2=0,7 \end{array} \right\}$$

Изменим, значение одного из критериев одного из сравниваемых вариантов p_1^2 с тем, чтобы эксперт признал эти варианты равноценными. Для этого улучшим значение критерия p_1^2 в варианте 2. Значение изменяемого критерия, при котором отмечается равнозначность вариантов, будем называть «компенсирующим».

$$\begin{array}{cc} \text{Вариант 1} & \text{Вариант 2} \\ \left\{ \begin{array}{l} p_1^1=0,5 \\ p_7^1=0,5 \end{array} \right\} & = \left\{ \begin{array}{l} p_{1\text{комп.}}^2=0,4 \\ p_7^2=0,7 \end{array} \right\} \end{array}$$

Определяем коэффициенты связности критериев m_{ij} по формуле:

$$m_{17} = \frac{p_7^2 - p_2^1}{p_1^1 - p_{1\text{комп.}}^2} = \frac{0,7 - 0,5}{0,5 - 0,4} = 2.$$

$$m_{71} = 1/m_{17}.$$

Далее строим матрицу для обработки графа. Недостающие элементы находим следующим образом: $m_{ik} = \frac{m_{ik}}{m_{ij}} \cdot m_{ij}$. Например, $m_{12} = \frac{m_{32}}{m_{34}} \cdot m_{14}$.

Пример матрицы обобщенного графа связности критериев приведен в табл.3.

Табл. 3

Матрица связности критериев оценки

№ П/П	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1							1.8
2		1						1.67
3			1	0.67	0.44			2.25
4			1.5	1				1.8
5			2.25		1			2.7
6						1	3.33	2.3
7						0.3	1	0.7
8	0.56	0.6	0.44	0.56	0.37	0.43	1.43	1

**Определение значений комплексного критерия оценки
и относительной комплексной оценки качества**

Значение комплексного критерия оценки объекта определяется по формуле:

$$Y = \frac{\sum_{j=1}^n p_j \cdot m_{jk}}{A}$$

где n – число частных критериев оценки;

p_j – значение i -го частного критерия оценки; k - номер заполненной строки в матрице связности критериев;

$$A = \sum_{j=1}^n m_{jk}$$

Значение комплексного критерия оценки качества для каждого варианта объекта определяется аналогично, но при этом из матрицы вычеркивается столбец соответствующий критерию «Стоимость»:

$$\underline{Y} = \frac{\sum_{j=1}^{n-1} p_j \cdot m_{jk}}{\underline{A}}$$

где \underline{Y} – значение комплексного критерия оценки;

Для приведенной таблицы $k=8$. Поэтому

$$\underline{A} = \sum_{j=1}^7 m_{j8} = 4.38$$

Таким образом, комплексный критерий будет таким:

$$\underline{Y} = 0.127 \cdot p_1 + 0.137 \cdot p_2 + 0.101 \cdot p_3 + 0.127 \cdot p_4 + 0.085 \cdot p_5 + 0.098 \cdot p_6 + 0.326 \cdot p_7$$

Правильность расчета весовых коэффициентов (коэффициентов, стоящих перед p_i) определяется из условия равенства их суммы единице. Значения комплексных критериев оценки качества сравниваемых объектов представлены в табл.4.

Табл. 4

Сравнительные оценки моделей объекта			
№	Модель аудио центра	Y	<u>Y</u>
1	Akai RX771	0,148	0.155
2	LG 313AX	0,785	0.802
3	Sony MHC-RXD3	0,901	0.921
4	Philips MC27	0,483	0.498
5	Samsung MAX920	0,512	0.539
6	Sumsung MAX930	0,228	0.237

3.4.9. Выделение множества эффективных вариантов сравниваемых объектов

Из сравниваемых вариантов выбираются эффективные по Парето варианты по критериям качество-стоимость (см. рис. 31).

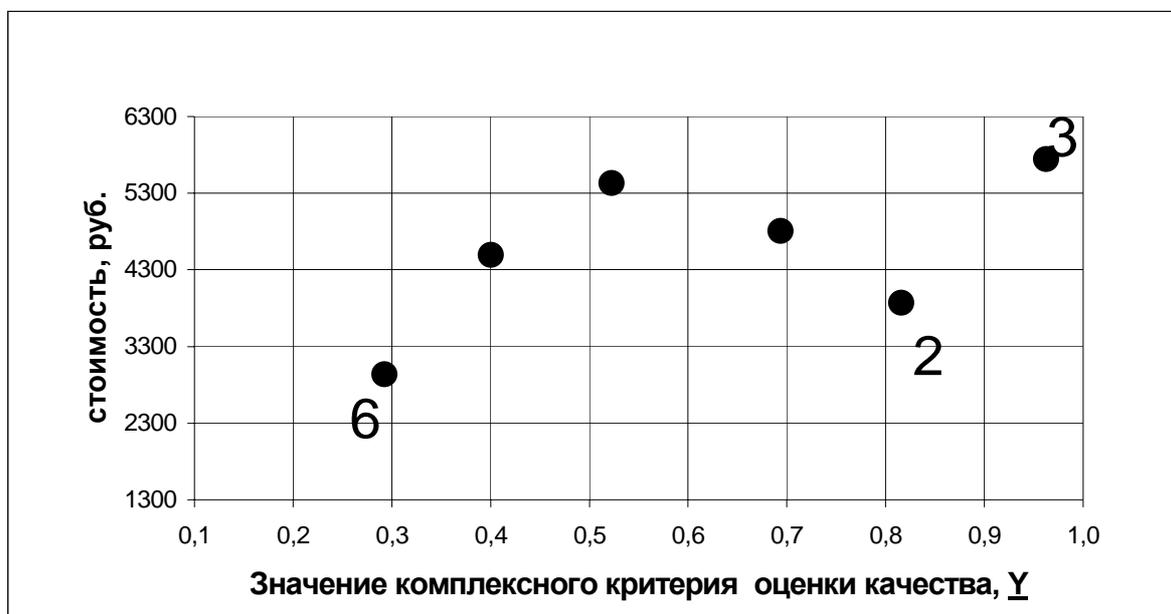


Рис. 31. Определение эффективных вариантов (по Парето)

Из рисунка следует, что эффективными вариантами являются варианты 2, 3 и 6.

Если среди эффективных вариантов объекта предпочтительный вариант не определяется, то определяют варианты по значению относительного комплексного критерия оценки объекта качества на единицу стоимости:

$$y^* = \frac{Y}{p_1}$$

где p_1 - значение критерия «Стоимость».

Относительный комплексный критерий дает некоторую дополнительную информацию для выбора предпочтительного варианта.

Обращаем внимание, что, эта операция имеет смысл только для эффективных вариантов. В противном случае вариант дешевый и некачественный может получить высокую оценку по этому критерию. Но в выборе он не может участвовать, так как не является эффективным.

Тогда для приведенного примера эффективных вариантов получим (табл.5)

$$y_2^* = \frac{0.802}{155} = 0.00517$$

$$y_3^* = \frac{0.921}{185} = 0.00498$$

$$y_6^* = \frac{0.237}{140} = 0.00169$$

Табл. 5

Значение относительного критерия оценки объекта

№ п/п	Модель аудио центра	y^*
2	LG 313AX	0.0052
3	Sony MHC-RXD3	0.0050
6	Sumsung MAX930	0.0017

3.4.10. Выбор предпочтительного варианта объекта, соответствующего конкретным условиям выбора

Делается обоснование окончательного выбора предпочтительного варианта на основе сравнения эффективных вариантов по значению комплексного критерия оценки, комплексного критерия оценки качества и относительного комплексного критерия оценки. Допустимо также использовать ссылки на значения частных критериев оценки.

Пример

В результате исследования определено, что из представленных моделей аудио центров наивысшее качество на единицу стоимости имеет аудио центр модели LG 313AX фирмы LG. Из средних по цене аудио центров, он наилучший по критерию относительного качества и незначительно уступает варианту 3 по значению комплексного критерия качества (на 10%), но на 25% дешевле. Поэтому считаю, что для меня, т.е. для моих условий выбора, наиболее предпочтителен вариант 2: аудио центр модель LG 313AX фирмы LG.

Надеюсь, что Ваш выбор будет успешным и не разочарует Вас.

Желаю удачи.

**Профессор
Леонид Борисович Аксенов**

