**Лекция 1**

**Общие подходы к построению математических моделей**

При разработке, проектировании и создании (развитии) сложных объектов, к которым относят системы теплогазоснабжения (ТГС) на уровне страны, города, района и узла, необходимы знания о количественных и качественных закономерностях, свойственных рассматриваемым объектам.

Осуществить практическую проверку тех или иных закономерностей, закладываемых в проекты, очень часто по ряду соображений не представляется возможным. Так, реализация всех разрабатываемых в настоящее время типов информационных технологий и их модификаций с целью практической проверки потребовала бы исключительно больших материальных затрат и значительного времени. Еще более сложна и практически неосуществима реализация возможных вариантов создания и развития систем теплоснабжения на уровне узла энергоснабжения, не говоря уже о системах энергетики на уровнях района и страны. В связи с этим приобретает все большее значение изучение свойств и закономерностей рассматриваемых больших и сложных систем на базе метода математического моделирования.

**Математическая модел**ь – это система математических соотношений, описывающих с той или иной точностью определенные характеристики реальной системы.

В наиболее общем случае **модель включает количественные и логические взаимосвязи и соотношения между основными параметрами рассматриваемой системы, технологическими и материальными характеристиками ее элементов, характеристиками внешних технологических и экономических связей, системой ограничений и соответствующим критерием эффективности**.

Форма и структура представления системы зависят от природы происходящих в ней процессов и внешних факторов, от характера количественных взаимосвязей между параметрами и характеристиками, а также от того, какие стороны процесса и факторы выдвигаются на первый план применительно к конкретной цели, средствам и методам исследования.

**Математические модели могут быть:**

* полными;
* неполными (частичными) относительно моделируемого объекта;
* функциональными (отражают его отдельные свойства).

Применительно к рассматриваемым системам ТГС математические модели являются **неполными** и в значительной мере **функциональными** в том смысле, что они не могут полностью отразить все свойства, элементы и связи изучаемых больших и сложных систем. Происходит это потому, что **в своем развитии они слишком сложны для описания, не могут быть точно и одновременно количественно охарактеризованы, а также включают (и в управляемую, и в управляющую части) во многом не формализуемые действия трудовых коллективов.**

В связи с этим становится все более очевидным, что эффективная система разработки и проектирования сложных энергетических объектов должна быть человеко-машинной при оптимальном сочетании формализованных и неформализованных методов.

При этом за человеком на всех иерархических уровнях остается решающая активная роль, выражающаяся как в формулировке щелей и постановке задач, так и в оценке возможных решений и выборе\ среди них окончательного решения.

**Математические модели, являясь современным научным инструментом, позволяют:**

а) осуществлять быструю многовариантную переработку значительных массивов информации;

б) находить из большого числа возможных решений относительно ограниченное количество наилучших решений;

в) быстро определять наиболее целесообразные корректирующие воздействия на развитие системы, необходимые в процессе реализации оптимальных решений, а также выполнять ряд других важных функций.

**Моделирование систем энергетики и входящих в них энергетических предприятий состоит из ряда взаимосвязанных этапов** (рисунок 1):

* постановка задачи моделирования;
* составление математического описания;
* алгоритмизация математического описания;
* проверка адекватности модели.



Рисунок 1 – Этапы математического моделирования

Каждый из этапов достаточно сложен и трудоемок. Выполнение отдельных этапов может осуществляться различными группами специалистов, но должно обязательно подчиняться единой цели, поставленной при формировании общей задачи.

**Условия использования математической модели**

Та или иная совокупность математически выраженных соотношений может считаться математической моделью системы только при условии, что эти соотношения отражают основные связи и свойства системы. Выполнение этого условия требует глубоких знаний моделируемой системы и умения формализовать эти знания, программируя их на том или ином математическом языке. В настоящее время такая формализация в значительной мере является еще научным творчеством разработчиков моделей.

Далее, математическая модель может отвечать своему назначению, если она не только достаточно точно описывает свойства и связи данной системы энергетики, но и доступна по своей сложности для реализации компьютерах. Это требует глубокого знания особенностей и областей применения различных методов математического программирования и вычислительных возможностей ЭВМ. Часто поэтому необходимо уметь квалифицированно упрощать модель без особого ущерба для точности результата, чтобы свести ее к решаемой задаче математического программирования.

Таким образом, разработка математических моделей систем ТГС представляет собой сложный творческий процесс, требующий совместных усилий высококвалифицированных энергетиков и математиков.

**Проверка адекватности** реальной моделируемой системы и ее математической модели очень трудна и в теоретическом и в практическом плане. Можно лишь утверждать, что математическая модель рассматриваемой системы ТГС всегда есть только приближенное отражение реальной системы. Кроме указанной выше невозможности (по определению) иметь полное во всех отношениях соответствие объекта и его модели, причиной этого является отсутствие полномасштабной экспериментальной проверки точности многих математических моделей, особенно развивающихся больших систем энергетики.

Поэтому в настоящее время оценка уровня тождественности реальной системы энергетики и математической модели – это предмет интуитивной оценки специалистов.

Некоторые общие подходы включают:

* оценку осмысленности результатов работы модели;
* проверку преобразований информации от входа к выходу по всем блокам модели;
* проверку логики управления вычислительным процессом;
* сопоставление чувствительности реальной системы и модели к изменению некоторых параметров и факторов, если для реальной системы имеется такая информация, и др.

Если результаты проверки неудовлетворительны, то необходимо уточнить постановку задачи исследования, усовершенствовать модель, проверить программу.

**Лекция 2**

**Математические модели, применяемые для исследования систем ТГС**

Очевидна необходимость перехода от создания математических моделей, разрабатываемых для решения отдельных задач оптимизации, к системе математических моделей, отражающих в целом процесс оптимизации в реальных, иерархически построенных системах энергетики.

Наиболее продуктивным направлением создания математических моделей систем ТГС является использование **принципа декомпозиции**. Его сущность заключается в разделении по слабым (или по сильным, но малочисленным) связям иерархии реальных систем на подсистемы, а, следовательно, и задач оптимизации этих систем на отдельные подзадачи. Применительно к таким подзадачам строятся соответствующие математические модели.

**Для увязки решений в иерархически построенных системах математических моделей и задач создан ряд методов:**

1) метод корректирующего импульса развития нижестоящих иерархических систем для приведения в соответствие их локальных оптимумов глобальному оптимуму вышестоящей системы;

2) итеративный метод решения в ниже- и вышестоящих системах для приведения в соответствие локальных и глобальных оптимумов;

3) метод иерархической увязки последовательности уточнения решений путем использования комплекса разнотипных моделей.

Очевидно, что система моделей, построенная для исследования систем ТГС, будет содержать модели различных типов. Очень условно все многообразие **типов математических моделей, применяемых для исследования систем ТГС,** может быть разделено следующим образом:

1) по цели и характеру использования на:

* оптимизационные;
* расчетные;
* игровые;
* имитационные;

2) по учету фактора времени на:

* статические;
* динамические;

3) по характеру зависимостей на:

* линейные;
* нелинейные;

4) по степени определенности информации на:

* детерминированные;
* вероятностные (стохастические).

Рассмотрим особенности и области применения этих моделей.

**Оптимизационные модели** широко применяются на этапах прогнозирования, планирования, проектирования и функционирования систем ТГС. Оптимизация обычно формулируется как нахождение решения, в наибольшей мере отвечающего достижению поставленной цели и удовлетворению внешним условиям. Особенность оптимизационных моделей заключается в том, что сама модель выбирает из большого числа возможных оптимальное решение при заданных исходных данных и ограничениях.

**Расчетные (оценочные) модели** являются модификацией оптимизационных моделей и отличаются от них целью расчета. В расчетной модели исследуется какой-то один из основных вариантов оптимизационной задачи, для которого решение находится в виде оценки данного варианта (естественно, с оптимизацией входящих в данный вариант промежуточных параметров). В силу ограниченности решаемой задачи расчетные модели удается сделать более подробными, чем оптимизационные.

**Игровые модели** предназначены для решения задач в некоторых специфических неопределенных ситуациях, характеризуемых противоречивыми интересами сторон, часто выступающими как конфликтные.

**Имитационные модели** имитируют (проигрывают) протекание изучаемого процесса развития или функционирования данной системы. Таким образом, имитационные модели – это способ моделирования ситуаций. Их исходная идея очень перспективна, она заключается в синтезе (объединении) формализуемых и неформализуемых методов мышления и анализа.

В энергетике практически все большие системы характеризуются сильными временными (динамическими) связями, а введенные в эксплуатацию энергетические установки и их агрегаты можно считать не изменяющимися (статическими) или мало изменяющимися во времени.

Для учета динамики используются динамические и квазидинамические модели. **Динамические модели** позволяют рассмотреть процесс или систему в движении, когда учитывается как влияние предыдущего состояния системы на последующее, так и обратное влияние последующих решений о развитии системы на предыдущие. Под **квазидинамическими** понимаются модели, учитывающие лишь влияние предыдущего состояния на последующее. В ряде задач применение таких квазидинамических моделей существенно упрощает вычислительную процедуру.

Несмотря на статический характер математических моделей энергетических установок (неизменность значений оптимизируемых параметров и характеристик), они должны охватывать весь **жизненный цикл** установки:

**разработка → создание головного образца → испытания головного образца → освоение серийных установок → период нормальной эксплуатации → вывод из эксплуатации**

Реальные системы энергетики нелинейны. Однако только для некоторых относительно простых типов нелинейных моделей существующие методы обеспечивают быструю сходимость и решение можно получить с требуемой точностью. В общем случае использование нелинейных моделей сопряжено со значительными (иногда непреодолимыми) трудностями. Поэтому, несмотря на вносимый ущерб содержательному смыслу, очень широко идут на использование линейных моделей, для которых имеются хорошо разработанные методы построения и которые гарантируют получение точного (в вычислительном плане) решения. В энергетике имеются достаточно четко очерченные области применения линейных и нелинейных моделей. Область применения **линейных моделей** – предварительная глобальная оптимизация систем энергетики верхних иерархических уровней на достаточно длительную перспективу, имеющая цепью нахождение зоны равно экономичных решений. Задачи оптимизации локальных систем нижних уровней иерархии и на близкие периоды времени решаются с использованием преимущественно **нелинейных моделей**.

Большая часть информации, используемой при исследовании систем ТГС, не является детерминированной (определяемой, т.е. процесс, исход которого полностью определен алгоритмом, значениями входных переменных и начальным состоянием системы).

И тем не менее исторически сложилось так, что в настоящее время наиболее широко используются **детерминированные математические модели**. Они исходят из допущения о строгой определенности (однозначности) всей используемой в модели исходной информации, а, следовательно, и о строгой определенности получаемых решений. Однако, предпосылка об однозначности используемой информации неправомерна. Поэтому круг задач, для решения которых правомерно (допустимо) применение детерминированных моделей, не широк. Многие из разработанных в последние годы методов и приемов оптимизации систем ТГС в условиях неполноты исходной информации базируются на использовании результатов расчета, полученных для ряда совокупностей детерминированно заданных исходных данных. Тем самым определилась вторая область применения детерминированных математических моделей.

**Вероятностные (стохастические) модели** используются для решения задач, в которых есть вероятностное описание процессов. Математический аппарат вероятностного программирования теоретически достаточно разработан. Однако достоверность вероятностных описаний часто может быть поставлена под сомнение, поскольку случайные процессы в системах энергетики, как правило, не стационарны. На это нужно обращать особое внимание на этапе постановки задачи.

При создании совокупности математических моделей, предназначенных для оптимизации систем ТГС, важно определить **предпочтительность применяемых математических моделей**.

К отдельным математическим моделям следует предъявлять такие **основные требования**:

1) достаточная идентичность свойств математической модели и свойств реальной системы;

2) соизмеримость точности результатов и возможной точности используемой информации;

3) приемлемая скорость решения задачи;

4) широта практического приложения;

5) простота, удобство пользования.

Накопленный опыт использования математических моделей систем ТГС показывает, что на **верхних уровнях** производственной иерархии целесообразно использовать достаточно упрощенные линейные квазидинамические модели. Глобальный характер моделей требует (для обеспечения работоспособности) существенного укрупнения используемой информации. Здесь важно не осложнять модель системы учетом тех факторов, без которых можно обойтись для решения главной задачи модели.

Для систем **нижних уровней** иерархии и предприятий при построении моделей необходимо учитывать динамику развития, нелинейность зависимостей, дискретность и целочисленность изменения многих параметров. Для решения задач надежности систем энергетики в математической модели должно найти отражение сочетание динамики и стохастики (соединение элементов теории вероятностей и математической статистики).

**Лекция 3**

**Методы агрегирования, эквивалентирования, декомпозиции и ранжирования факторов в математическом моделировании**

Большая сложность реальных систем ТГС предопределяет значительные трудности при разработке их математических моделей. Опыт построения математических моделей показывает, что учет всего многообразия элементов и связей системы в рамках одной математической модели нецелесообразен по следующим обстоятельствам:

1) математическая формализация реально существующих связей и элементов системы привела бы к задаче математического программирования слишком высокой размерности;

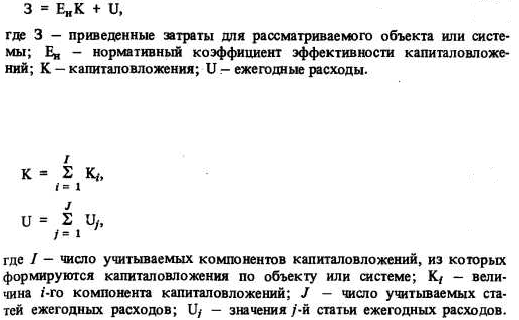
2) практически нереально было бы интерпретировать и анализировать полученные решения.

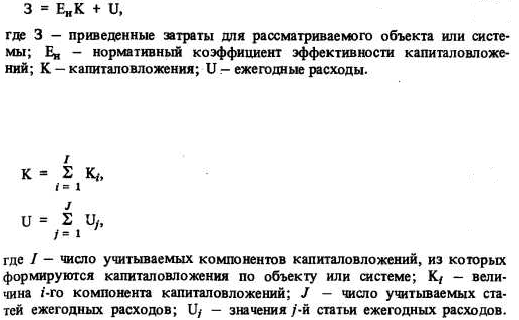
Кроме того, разработчику математических моделей сложных объектов следует учитывать результаты теоретических исследований в области анализа эффективности алгоритмов.

При постановке математической задачи необходимо учитывать тот факт, что для широкого класса интересных с точки зрения практики задач длительность работы программы может экспоненциально зависеть от объема использованной информации.

В этой ситуации весьма плодотворны методы, основанные на сокращении объемов входной информации математических моделей реальных систем и процессов. Уменьшение входной информации о моделируемом объекте или системе объектов достигается методами, известными под названиями **агрегирование, эквивалентирование, декомпозиция и ранжирование факторов.** В настоящее время эти методы не формализованы до такой степени, чтобы можно было указать конкретные рецепты, приводящие к решению задачи, и требуют активного участия человека, моделирующего наблюдаемую систему.

Под **агрегированием задачи** понимается процесс перехода от большей совокупности параметров и переменных, описывающих наблюдаемую систему, к меньшей. Например, для выражения функции цели в технико-экономических расчетах и моделях используется запись:





Переход от совокупности отдельных компонентов капиталовложений (или ежегодных затрат) к системному параметру – их сумме является простейшим примером агрегирования.

Агрегирование является весьма сильным средством сокращения объема исходной информации, так как позволяет исследователю не только соизмерять значимость отдельных факторов, но и пренебрегать частью наблюдаемых факторов. В связи с этим весьма важно сохранить присущие объекту или системе объектов качественные особенности, не утратив их в процессе агрегирования.

Возможности агрегирования информации тесно связаны с ожидаемой точностью модели и возможностью различать с помощью модели интересные для исследователя состояния системы. С математической точки зрения вопрос о точности имеет смысл только при условии существования двух моделей: исходной модели А, по определению принимаемой за адекватную изучаемой системе, и модели В, отличающейся совокупностью переменных и совокупностью функций, описывающих связи и ограничения в системе. Обычно считается, что более подробная, полная модель лучше соответствует реальному объекту. Однако с помощью такой модели затруднено проведение практических расчетов для содержательных, реальных задач. Процессы агрегирования исходной информации и постановка задачи тесно связаны между собой, а первоначальная точная модель часто просто отсутствует, поэтому вопросы адекватности модели реальной системе решаются специалистами в данной области – группой экспертов.

Другим тесно связанным с агрегированием методом сокращения исходной информации является **эквивалентирование**. Термин эквивалентирование, появившийся в связи с возможностью упрощения расчета последовательных и параллельных электрических схем, широко используется в литературе по энергетике.

Часто считают, что эквивалентирование является процессом сокращения исходной информации более широким, чем агрегирование, понимая под эквивалентированием

1) уменьшение числа учитываемых факторов и оптимизируемых переменных, а также упрощение системы ограничений и выражения функции цели – при решении задач оптимизации;

2) уменьшение числа степеней свободы (размерности) в системе уравнений, описывающих исследуемые процессы.

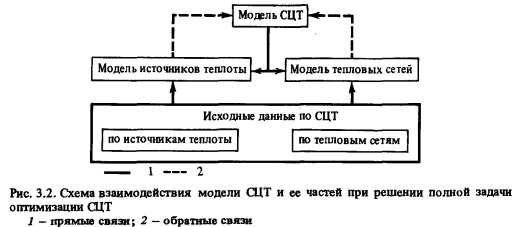
Однако между понятиями агрегирование и эквивалентирование есть незначительное отличие. Основой любой математической модели являются: пространство состояний процесса или системы, характеризуемое числом степеней свободы системы (размерностью), и совокупность функций, описывающих исследуемые процессы (система уравнений или ограничения, описания связей и функция цели в оптимизационной задаче). Можно связать термин «агрегирование» с изменением числа степеней свободы (пространства состояний), а термин «эквивалентирование» с изменением (упрощением, аппроксимацией) функций, входящих в математическую модель. Однако следует иметь в виду, что оба процесса, агрегирование и эквивалентирование, обычно идут параллельно.

Эквивалентирование применяется, например, при оптимизации тепловых сетей. Тепловая сеть крупного города или промышленного центра может содержать тысячи, десятки тысяч отдельных участков, имеющих разные условия прокладки, гидравлические сопротивления и другие характеристики. При гидравлическом расчете такой сети (или оптимизации диаметров ее участков) зачастую не удается рассчитать систему в целом; в таких случаях отдельные совокупности участков сети заменяются меньшим (часто одним) количеством участков, т.е. модель тепловой сети агрегируется н эквивалентируется. Особенно важно эквивалентирование при использовании метода избыточной схемы, так как до начала расчета требуется задать всю возможную совокупность трасс тепловых сетей.

При использовании агрегирования и эквивалентирования в математическом моделировании энергетического объекта или системы следует иметь в виду, что относительная погрешность исходных данных существенно зависит от уровня эквивалентирования (или агрегирования). Обычно относительная погрешность исходных данных уменьшается с увеличением уровня эквивалентирования. При уменьшении уровня эквивалентирования, т.е. большей детализации модели, относительная погрешность исходных данных увеличивается. Таким образом, стремлению более детально описать изучаемую систему противостоит увеличение погрешности используемой при этом исходной информации.

Третьим методом сокращения исходной информации является **декомпозиция**. Под декомпозицией понимается процесс расчленения задачи (исходной информации) на ряд подзадач (информационных комплексов) с последующим независимым решением подзадач (преобразованием информации) и взаимная увязка полученных решений с помощью координирующей задачи.

Известно, что при декомпозиции существенна степень связности моделируемой системы и относительная сила проявления связей системы. Формально декомпозиционные методы можно математически обосновать только для слабо взаимодействующих подсистем. Поэтому эти методы часто применяются в тех ситуациях, когда интуитивно ясна слабость отдельных связей. Например, при оптимизации систем централизованного теплоснабжения (СЦТ) естественной декомпозицией является расчленение задачи на две подзадачи: оптимизация собственно источников теплоты (ИТ) и оптимизация тепловых сетей (рисунок 2).

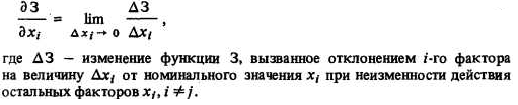


1 – прямые связи; 2 – обратные связи.

Рисунок 2 – Схема взаимодействия модели СЦТ и ее частей при решении полной задачи оптимизации СЦТ

Основанием подобного расчленения задачи является тот факт, что для расчета потокораспределения в сети неважно, какими техническими средствами (типами ИТ) создается поток теплоносителя. Важны только виды теплоносителя и массовые расходы теплоносителя в выделенных узлах сети. Таким образом, при заданной конфигурации сети возможна декомпозиция исходной задачи.

Наряду с агрегированием, эквивалентированием и декомпозицией весьма важно применять методы обработки исходной информации, позволяющие выделить основные влияющие на систему факторы. Такая предварительная обработка информации позволяет сокращать число учитываемых факторов:



В качестве величины *З* может рассматриваться любой выходной показатель системы или объекта; обычно в качестве *З* рассматривают величину приведенных затрат в систему или объект. Простота вычисления коэффициентов чувствительности приводит к широкому распространению этого метода ранжирования факторов в инженерной практике. Однако его применение требует априорного допущения о достаточной гладкости функции *З*, так как в практических расчетах принимается



Третьей, менее известной в энергетической литературе возможностью ранжирования факторов, не требующей гладкости функции цели, является **метод, применяемый в теории распознавания образов**. Рассмотрим основные предпосылки и этапы этого метода.

В простейшей постановке предполагается, что имеются опытные данные о фактических значениях переменных проектируемой системы или объекта. Эта совокупность числовых данных является множеством точек в пространстве признаков (факторов) *X = {х1, х2, ..., хf}* и называется в теории распознавания образов материалом обучения. При этом неважно, являются ли переменные х непрерывными, дискретными или нулевыми (0; 1). Важно только, что эта совокупность факторов может влиять на рассматриваемый объект. Функция цели на материале обучения считается заданной и в простейшем случае принимает значения 0 и 1. Таким образом, исследователь, используя опыт эксплуатации или экспериментов, наблюдает на материале обучения относительную силу проявления действующих факторов.

Требуется определить, как и в основной задаче ранжирования факторов, какие из факторов или их совокупностей оказывают существенное влияние на функцию цели, и указать эти факторы. Для этой цели совокупность точек пространства факторов *X* (материал обучения) проектируется на некоторое подпространство *L* пространства *X*. Если в этом подпространстве *L* можно отделить с помощью гиперплоскости *П* множество точек со значением функции цели 1 от множества точек со значением функции цели 0, то совокупность факторов *(i,... , xL)*, определяющая подпространство *L*, является существенно влияющей.

Кроме того, построенная гиперплоскость *П* (линейная комбинация существенно влияющих признаков) является новым фактором, который можно использовать для построения математической модели. Построение подпространств и гиперплоскостей *П* осуществляется алгоритмически. При этом переход к большему числу факторов осуществляется только в том случае, если во всех подпространствах меньшей размерности материал обучения не позволяет разделить признаки на существенно влияющие и несущественные.

Отметим очевидные достоинства этого метода по сравнению с другими методами ранжирования факторов. Основными объектами алгоритмизации этого метода являются гиперплоскости и подпространства пространства признаков, т.е. системы линейных уравнений и неравенств, что обусловливает простоту реализации на ЭВМ. Не требуется составления модели процесса или системы на этапе анализа значимости факторов. Результатом анализа значимости факторов может явиться не только выделение заранее определенных факторов *xt* (но в меньшем количестве), но и построение новых агрегированных факторов.

Естественно, что эффективность применения этого метода будет зависеть от качества материала обучения, а сложность расчетов – от количества исходных элементарных признаков (факторов). Однако эти трудности являются общими и для других методов ранжирования факторов.

**Лекция 4**

**Построение программно-вычислительных комплексов**

Принципиальные преимущества метода математического моделирования обусловили широкое использование математических моделей при разработке и проектировании энергетических систем и их оборудования. В настоящее время математические модели, реализованные на ЭВМ, являются наиболее эффективным инструментом поиска оптимальных схем и параметров энергетических систем. При этом сами математические модели непрерывно развиваются и совершенствуются, расширяется область их применения. Основой для этого является изучение процесса разработки и проектирования систем, разбиение этого процесса на этапы, исследование возможностей формализации отдельных этапов и применения на каждом из этапов ЭВМ.

**Обычно** **процесс разработки технических систем включает:**

* конкретизацию целей и задач, решаемых технической системой во время своего функционирования;
* выбор концепции технической системы;
* генерацию множества альтернативных вариантов системы; оценку показателей эффективности системы.

Этот процесс предпроектных исследований заканчивается формированием технического задания для последующего проектирования. Процесс проектирования систем включает конкретизацию основных технических параметров и вида схемы, которые определяют облик технической системы.

Анализ процессов разработки и проектирования технических систем показывает, что наиболее ответствен и сложен в методическом отношении процесс разработки системы. Именно на этой предпроектной стадии следует искать принципиально новые технические решения, не имеющие аналогов в практике; иными словами, на этой стадии возможно появление нового качества. Центральной и наиболее важной частью методологии системных исследований является этап синтеза концепции технической системы, на котором закладываются основные идеи и принципы, определяющие ее облик и потенциальные возможности.

На этапе разработки системы приходится решать задачи синтеза, анализа и оптимизации системы (рисунок 3).

В определенном смысле задачи анализа и оптимизации системы на этом этапе выступают в качестве подзадач более общей задачи синтеза оптимальной концепции технической системы. Из этого следует высокая степень сложности задачи синтеза оптимальной концепции технической системы в части организации программного обеспечения. Однако **основные трудности, возникающие на этапе разработки сложных технических систем, вызваны причинами:**

* нечеткость целей, обусловленная тем, что в процессе решения постоянно появляются либо дополнительные требования (например, экологические), либо ограничения (например, по дефицитным видам топлива), либо еще какие-то факторы, не учтенные в начале разработки;
* нечеткость критериев, связанная с тем, что ряд критериев (относящихся, например, к требованиям по охране окружающей среды или к учету возможных перерывов теплоснабжения), плохо поддается формализации, что приводит к затруднениям при сравнении вариантов;
* неопределенность используемой информации, неизбежная при разработках на перспективу;
* большой объем перерабатываемой информации.

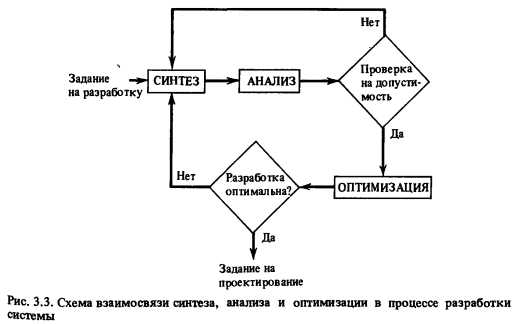


Рисунок 3 – Схемы взаимосвязи синтеза, анализа и оптимизации в процессе разработки системы

В целом для этапа предпроектной разработки характерно большое число неформальных и творческих операций. Это обстоятельство требует тесного взаимодействия разработчика и ЭВМ. Только человек может внести творческое содержание в процесс разработки системы, только он способен разобраться в неполной и нечеткой информации и принять правильное решение в условиях неопределенности. Для этого необходимо организовать диалог между ЭВМ и человеком, причем функции человека и ЭВМ в процессе разработки системы должны быть строго распределены (рисунок 4).

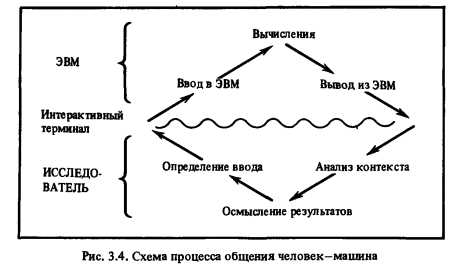


Рисунок 4 – Схема процесса общения «человек - машина»

Человек, естественно, должен выполнять неформализуемые операции. В ходе решения необходимо иметь возможность оценивать промежуточные результаты моделирования и оптимизации, уточнять и варьировать исходные данные, изменять очередность рассмотрения различных процессов и т.д.

Переход к созданию автоматизированных систем математических моделей технических систем обеспечил существенное повышение эффективности применения ЭВМ. Эти системы способны выполнить все основные формализуемые операции: формирование математических моделей, организацию вычислительного процесса, обработку исходной и получаемой информации, организацию обмена информацией между моделями и др.

Следующим этапом развития математического моделирования и повышения эффективности использования ЭВМ стал переход от автоматизации во использования ЭВМ к автоматизации управления разработкой технической системы. На этом этапе машинная модель (система моделей) доведена до автоматизированной системы научных исследований, реализуемой программно-вычислительным комплексом (ПВК). В ПВК устраняются слабые стороны, выявившиеся при применении автоматизированных систем математических моделей для решения задачи синтеза концепций технических систем. На этом уровне машинная модель превращается в человеко-машинную автоматизированную систему проведения эксперимента на ЭВМ.

**Программно-вычислительный комплекс (ПВК)** включает систему математических моделей, базу данных и систему управления ею, набор аппаратных технических средств. Применительно к стадии проектирования технических систем ПВК перерастает в **систему автоматизации проектирования (САПР)**.

Известен ряд подходов к построению ПВК и САПР. Первый связан с разработкой универсальных ПВК, предназначенных для исследования широкого класса систем. Как правило, при таком подходе получаются очень большие и сложные комплексы, работа с которыми для пользователя затруднительна и малоэффективна. Второй подход ориентирован на создание узкоспециализированных ПВК с достаточно простыми принципами построения. Работа с такими ПВК весьма проста. Однако простота достигается за счет специализации и ограничения возможностей моделей. Всякое расширение функций таких ПВК требует разработки комплекса практически заново.

Наиболее эффективной является разработка ПВК, достаточно инвариантных к объектам исследования и направленных на создание подсистем, составляющих ядро любого прикладного ПВК. Используя базовые подсистемы, разработчики в достаточно короткий срок могут построить прикладной ПВК, предназначенный для разработки технических систем определенного класса с учетом их специфики. В этом случае программисты сосредоточивают усилия на разработке эффективных базовых средств, необходимых для любого прикладного комплекса.

Состав системы математических моделей ПВК соответствует характеру и объему решаемых в ПВК задач по разработке определенной технической системы. Программная реализация системы математических моделей базируется на модульном принципе. Здесь под **модулем** понимается отдельная программа или совокупность программ, которая имеет самостоятельное значение и может использоваться автономно для решения частных задач. Предусматривается иерархическая, информационная и смысловая увязка модулей друг с другом. Кроме модулей, ПВК содержит блоки. **Блок** – это программа для выполнения какой-либо вспомогательной процедуры (обработка информационных массивов, анализ сходимости вычислительного процесса и др.). Набор программных модулей и блоков, находящихся в ПВК, должен обеспечить возможность построения конкретных реализаций модели технической системы, необходимых по ходу выполняемого исследования. Генерация вычислительного алгоритма из программных модулей и блоков осуществляется специальной программой – монитором ПВК, которым управляет либо автоматический сборщик алгоритма, либо непосредственно исследователь. Рассматриваемый комплекс должен быть открытым, т.е. он должен позволять достаточно просто вводить новые программные модули и блоки, выводить старые, осуществлять модернизацию модулей и т.п.

Важной составной частью ПВК является **автоматизированный банк данных** (АБД), состоящий из баз данных ПВК и системы управления базами данных. АБД создается как обслуживающая подсистема ПВК и предназначен для автоматизированного обеспечения необходимыми данными подсистем ПВК.

Функционирование АБД обеспечивает организацию и формирование баз данных (определение структуры данных, обеспечение защиты данных и т.д.), организацию их использования (распределение запросов во времени, восстановление баз данных при нарушении их целостности и др.), а также их реорганизацию на основе новых требований. В случае необходимости применения интерактивных методов разработки АБД должен обеспечить режим диалога. Система математических моделей ПВК и автоматизированный банк данных образуют программно-информационное обеспечение ПВК (рисунок 5).



Рисунок 5 – Структура программно-информационных средств ПВК

Всю информацию в базе данных, используемую для синтеза и анализа вариантов технической системы, в зависимости, от ее изменчивости целесообразно разбить на три категории:

* условно-постоянная, изменяющаяся весьма редко (справочно-нормативная информация, отражающая содержание отраслевых справочников, и ретроспективная информация, составляемая по отчетным данным о состоянии систем энергетики);
* прогнозная, варьирование которой является существенным элементом процесса разработки системы;
* промежуточные и конечные результаты многовариантных расчетов разрабатываемой технической системы.

Выделение двух последних категорий информации создает предпосылки для реализации диалогового режима, так как при этом облегчаются вызов и варьирование исходной прогнозной информации, анализ промежуточных результатов и определение направления дальнейших исследований, выбор окончательного решения. Следует подчеркнуть, что выходная информация, получаемая от ЭВМ, на любом этапе работы должна быть наглядной, компактной и представляться в привычных для исследователя формах и терминах.

Эффективность работы ПВК, требующей многократного осуществления взаимодействия человека (исследователя) и ЭВМ, в значительной степени зависит от того, насколько успешно происходит это взаимодействие в процессе диалога. Назначение диалога состоит в том, чтобы максимально повысить эффективность исследований или, другими словами, максимально сократить затраты времени на постановку и решение исследовательских задач. При создании диалоговой системы главное внимание должно быть уделено обеспечению удобства работы предполагаемых пользователей. Их возможности, интересы и требования должны определять основные свойства диалоговой системы.

Удобство общения пользователя и ЭВМ можно оценить тем, насколько язык обмена сообщениями соответствует требованиям пользователя и модели исследуемой системы. Средство общения – язык диалога – должно быть достаточно простым и (для сокращения количества возможных ошибок) предельно лаконичным. В настоящее время различают несколько форм символьного текстового диалога: метод выбора меню, при котором инициатива в ведении диалога принадлежит ЭВМ, задающей вопрос и предоставляющей пользователю один (или несколько) из предложенных вариантов ответа; метод ’’шаблонов, когда пользователь должен просто заполнить свободные смысловые места в готовом ответе; формальный язык пользователя с естественно-языковой мнемоникой, в котором операторами языка служат слова и термины, знакомые пользователю; естественный язык с распознаванием только ключевых слов; полностью анализируемый подъязык естественного языка с ограниченным словарем и грамматикой, а также язык графических символов.

Метод выбора меню – самая простая и распространенная форма диалога, используемая во многих САПР. При использовании этого метода даже самый неподготовленный пользователь совершит очень незначительное количество ошибок. Однако данная форма организации диалога является и наименее гибкой при изменении структурной части диалога. Более совершенна и гибка форма диалога на полностью анализируемом подъязыке естественного языка, но она же и самая сложная, требующая наличия лингвистического процессора, словарей, анализаторов грамматик и т.д. В ПВК, используемых для, предпроектных проработок систем достаточно подготовленным пользователем-исспедователем, оправданно создание и применение гибких, хотя и более сложных, форм организации диалога.

Опыт создания и использования диалоговых систем показывает, что для каждой конкретной задачи и объекта исследования эффективную диалоговую систему можно создать только с учетом специфики исследуемого объекта и решаемой задачи. Поэтому, несмотря на бурное развитие теории диалоговых систем, такая теория, видимо, никогда не даст однозначного ответа на всю совокупность вопросов, возникающих при создании конкретной диалоговой системы. Теоретические разработки формулируют общие требования к создаваемым диалоговым системам, а также дают набор принципов и рациональных методов их построения.

При создании ПВК предполагалось, что человек, общаясь с ЭВМ в процессе диалога, берет на себя наиболее сложные творческие и неформальные операции. При этом он должен выполнять их быстро и правильно благодаря своему интеллекту и профессиональным знаниям. Однако резко возросшая интенсивность умственного труда (в темпе диалога с ЭВМ), когда на обдумывание ситуации и принятие решения отводятся минуты, оказалась слишком непривычной для человека. Далее, в ходе диалога с ЭВМ человеку приходится принимать решения по самым разнообразным вопросам, которые требуют разносторонних знаний, а возможность консультации с соответствующими специалистами практически исключается. В результате решения, принимаемые разработчиком в ходе диалога с ЭВМ, могут оказаться неоптимальными или даже неверными.

Потребовалось создание интеллектуальной поддержки пользователя ПВК за счет расширения программно-информационных средств комплекса (рисунок 5). К новым компонентам этих средств, определяющих интеллект ПВК, относятся интеллектуальный интерфейс, интеллектуальный менеджер и набор экспертных систем. Интеллектуальный интерфейс предназначен для общения с разработчиком на естественном языке или проблемно-ориентированном его подмножестве. Интеллектуальный менеджер постоянно контролирует действия человека при работе с ПВК. Причем осуществляется синтаксический и семантический контроль запросов пользователя, проверка правильности его реакций на запросы ПВК, а также учет и классификация ошибок пользователя. В зависимости от числа и типа ошибок интеллектуальный менеджер либо настраивается на определенный уровень диалога с пользователем, либо выводит на экран дисплея соответствующие инструкции. Набор экспертных систем состоит из проблемно-ориентированных на объект разработки и проблемно-инвариантных экспертных систем, содержащих знания по общенаучным вопросам. Экспертная система помогает пользователю принимать решения, близкие к решениям высококвалифицированного специалиста в аналогичной ситуации. Получив от пользователя запрос о рациональных действиях в нетривиальной ситуации, экспертная система анализирует ситуацию, сформулированную в запросе, осуществляет поиск решения, имеющегося в ее базе знаний, и выдает найденное решение в форме совета.