**ОСНОВЫ СИСТЕМОТЕХНИКИ**

1. **Понятие о системотехнике.**

Системотехника как новое направление научно - технического прогресса приобретает с каждым годом все большую значимость практически во всех отраслях науки и техники, связанных с проектированием и эксплуатацией больших систем.

 Принцип системного подхода способствует интеграции отдельных отраслей знаний и отвечает практическим потребностям тех, кто исследует, разрабатывает и использует сложные объекты и процессы.

Историю возникновения и развития системных представлений можно проследить от первоначальных форм у древних мыслителей до фундаментальных теорий ХIХ и ХХ веков.

 В настоящее время системные исследования получили широкое распространение в различных областях: технике, производстве, управлении, бизнесе, строительстве, транспорте, медицине, биологии, психологии, социологии и ряде других наук.

 Особенно важную роль они играют в технике, где в середине ХХ века сформировалось научное направление - *системотехника* (от английского термина System Engineering).

 Исследования в системотехнике направлены в первую очередь на проблемы создания и грамотной эксплуатации сложных технических систем (СТС) и сложных технических комплексов (СТК) различного назначения.

 СТС и СТК – это такие объекты, которые по своим параметрам и значению для жизни человека выходят за рамки обычных инженерных сооружений.

 Эти объекты прежде всего встречаются в таких сферах человеческой деятельности, как: энергетика, космос, транспорт, связь, автоматизированные производства, системы управления, информационные системы, вычислительная техника и т.п.

 Создание СТС – сложный и многогранный процесс принятия различных решений (организационных, проектно-конструкторских, производственных, технологических, эксплуатационных и т.д.).

 Современная системотехника включает в себя несколько самостоятельных научных дисциплин:

1. Общая теория систем, описывающая принципы построения сложных структур;
2. Методы оптимизации параметров систем;
3. Процедуры принятия наилучших решений в разных ситуациях;
4. Теория надежности работы систем;
5. Кибернетика – наука о процессах управления объектами;
6. Специальные математические методы;
7. Методы моделирования систем;
8. Пакеты специальных программ для ЭВМ и т.д.

 Системотехника в настоящее время определяет уровень научно-технического прогресса и наиболее эффективно позволяет внедрять достижения науки в производственную деятельность.

.

1. **Определение системы.**

 Фундаментальным понятием системотехники является понятие *«система».*

 *Система* – это объект или процесс, в котором участвующие элементы связаны некоторыми связями и отношениями.

 *Подсистема* - часть системы с некоторыми связями и отношениями.

 Любая система состоит из подсистем, любая подсистемы любой системы может быть рассмотрена сама как система.

 Спрагматическойточки зрения можно выделить четыре свойства, которыми должен обладать объект, чтобы его считать системой:

1. Целостность и членимость. Это означает, что с одной стороны, система – целостная структура, а с другой - в ее составе могут быть выделены отдельные элементы;
2. Связи*.* Наличие связей между элементами, которые являются более устойчивыми, чем с элементами, не входящими в данный объект;

 Связи могут разделяться на: вещественные, производственные, энергетические, экономические, технологические, информационные, финансовые и т.п.

 Связи могут быть прямые, обратные, соединительные, ограничивающие, усиливающие (ослабляющие), согласующие и др.

1. Организация. Это свойство означает определенную организацию объекта, то есть упорядоченность связей и элементов во времени и пространстве. Это называется  *структурой* системы.
2. Интегративность – означает наличие таких качеств, которыми обладает система в целом, но которых не имеет ни один из ее элементов в отдельности.

 **3. Классификация систем.**

Существует несколько подходов, или *принципов* классификации.

1. Попринципу  *происхождения* можно выделить три класса систем:

* *Естественные* - системы, существующие в объективной действительности (неживой и живой природе, обществе): атом, молекула, живая клетка, общество;
* *Концептуальные*, или идеальные - системы, отражающие реальную действительность: восприятие или представления, выраженные в научных теориях, музыке или литературе;
* *Искусственные* - системы, созданные человеком: от простейшего механизма до производственного комплекса (технические), от отдельной кафедры до министерства (организационные).,(Рис.1):



Рис.1.

 2. По *характеру функций* различают:

* специализированные,
* многофункциональные,
* универсальные системы.

 Для *специализированных* систем характерны единственность назначения и узкая специализация (одна выполняемая функция).Особенностью *многофункциональных* систем является реализация на одной и той же структуре определенного набора функций (несколько выполняемых функций). *Универсальные* системы реализуют теоретически бесконечное множество функций на одной и той же структуре.

 3. По *назначению* системы могут быть: производящие, управляющие, обслуживающие и обеспечивающие.

 4. По *времени существования* различают:

* постоянные (существующие в течение достаточно длительного периода);
* временные (создающиеся на заданный промежуток времени.

 6. По *виду элементов*:

* системы типа «объект» (элементами являются предметы),
* системы типа «процесс»(элементами являются операции: изготовления, переработки и т.д.).

**4. Эволюция систем.**

Если сравнить между собой аналогичные системы, созданные в разное время, то можно обнаружить определенные тенденции в их развитии.

Совокупность таких параметров (характеристик), определяющих ценность системы в данный момент времени, позволяет ввести понятие *уровня развития (или поколения) системы*.

Любой из параметров, характеризующих систему в определенный период времени, имеет свое естественное ограничение, к которому постепенно приближается.

Это ограничение (или предел) обусловлено:

* либо действием законов природы (например, cкорость винтового самолета не может быть больше скорости звука, и только реактивный самолет, использующий новый природный принцип, перешагнул этот предел),
* либо влиянием окружающей среды (скорость автомобиля на городских улицах и в связи с дорожными условиями).

Если усреднить значения характерных параметров для большого количества систем за длительное время, то можно обнаружить, что их изменение во времени происходит по определенному закону, который описывается кривой *эволюции.*

Эволюционную кривую для систем практически любого типа можно изобразить следующим образом:

Рис.2.

где 1 - этап первоначального развития системы, 2 - этап активной жизни, 3 - этап замедления, 4 - этап старения (деградации) системы.

Промежуток времени от зарождения до разрушения системы называется *жизненным циклом системы.*

Возникновение и существование системы в определенном интервале времени обеспечиваются *системосоздающими (системообразующими) факторами.*

К *системосоздающим факторам* относятся те, которые способствуют работе системы.

К *системоразрушающим факторам* прежде всего относятся внешние воздействия, приводящие к разрушению системы, нарушению ее устойчивого функционирования, износ и перерождение связей системы.

Важным понятием является также и потребность в данной системе у окружающих систем (или *спрос*) на систему.

Изменение спроса во времени также происходит по определенному закону, который условно можно представить в виде следующей кривой (Рис.3):



Рис.3.

где 1 - возникновение спроса, 2 – нарастание (активный спрос), 3- замедление, 4 - насыщение, 5 – спадание спроса.

Остаточный спрос означает сохранение некоторого спроса на устаревшие системы даже после спада основного спроса.

Исследование кривых спроса для реальных систем показывает, что, чем позднее появляется система, тем эта длина волны спроса во времени будет короче.

Это означает, что для более новых систем того же назначения спрос во времени нарастает быстрее, но продолжительность активного спроса при этом сокращается.

**5. Основные типы задач системотехники:**

1. *Простейшие (элементарные)* – все элементы решения и результат определяются однозначно и точно. Решаются обычными методами математики, физики, механики и пр.;
2. *Хорошо структурированные (разработанные)* - все элементы решения определяются однозначно и точно, но возможно получение бесконечного множества результатов, один из которых – искомый оптимальный. Решаются специальными математическими методами (исследования операций, оптимизации, принятия решений) и т.д.;
3. *Плохо структурированные –* как минимум один из элементов решения является случайной величиной. Решаются с помощью методов теории вероятностей и моделирования систем;
4. *Не структурированные* – на начальном этапе элементы решения полностью не известны и цель задачи не вполне определена. Решаются такие задачи либо путем упрощения и сведением их к 1-3 типам, либо поэтапно, с уточнением элементов решения на каждом этапе.

 Среди задач системотехники, представляющих практический интерес, наиболее методически разработанными являются хорошо структурированные задачи, в частности задачи по *исследованию операций*.

 Термин *«исследование операций»* появился в годы второй мировой войны применительно к операциям военного характера. В послевоенные годы исследование операций получило широкое распространение и в мирных областях человеческой деятельности. С его помощью сегодня вырабатываются решения в промышленности, на транспорте, в городском хозяйстве и т. п.

 В настоящее время сложилось несколько типовых задач по исследованию операций: *транспортная* (поиск оптимального маршрута), *составление расписаний* (сетевой график), *распределительная* и т.д.

**5.1.Транспортная задача.**

Основным здесь является, как правило, распределение ресурсов, находящихся у *n* производителей (поставщиков), по *m* потребителям этих ресурсов (клиентам).

Наиболее часто встречаются следующие задачи, которые приводятся к транспортным:

- прикрепление потребителей ресурса к производителям;

- привязка пунктов отправления к пунктам назначения;

- взаимная привязка грузопотоков прямого и обратного направлений;

-  оптимальная загрузка промышленного оборудования;

-  оптимальное распределение объемов выпуска продукции между предприятиями и др.

В общем виде исходные данные представлены в таблице 1. Строки транспортной таблицы соответствуют пунктам отправления (в последней клетке каждой строки указан объем запаса продукта *xi* ), а столбцы — пунктам назначения (послед­няя клетка каждого столбца содержит значение потребности *yj*). Все клетки таблицы (кроме тех, которые расположены в нижней строке и правом столбце) содержат информацию о пе­ревозке из *i*-го пункта в *j*-й: в правом верхнем углу находится цена перевозки единицы продукта, а в левом нижнем — значе­ние объема перевозимого груза для данных пунктов.

Таблица 1



Транспортная задача называется *закрытой*, если суммарный объем отправляемых грузовравен суммарному объему потребности в этих грузах по пунктам назначения:

$$ \sum\_{i=1}^{n}x\_{i}=\sum\_{j=1}^{m}y \_{j , } (1)$$

Если такого равенства нет (потребности выше запасов или наоборот), то задачу называют *открытой*, т.е.:

$$ \sum\_{i=1}^{n}x\_{i}\ne \sum\_{j=1}^{m}y\_{j , } (2)$$

Перевозки необходимо осуществить с минимальными транспортными издержками (функция цели):

$$ W\_{min}=\sum\_{i=1}^{n}\sum\_{j=1}^{m}c\_{ij}x\_{ij}, (3) $$

В транспортных задачах должны соблюдаться следующие условия:

-   рассматриваются однородные ресурсы;

-   условия задачи описываются только уравнениями;

-   все переменные выражаются в одинаковых единицах измерения;

 Решение начинается с составления некоторого *опорного плана* задачи (допустимого плана перевозок).

 Существует два основных метода нахождения опорных планов:

1. метод северо-западного угла (или диагональный метод);
2. метод наименьшей стоимости (минимального тарифа).

 Эти методы отличаются только способом выбора клетки для заполнения. Само заполнение происходит одинаково независимо от используемого метода.

а) ***Метод северо-западного угла***

При этом методе на каждом шаге построения первого опорного плана заполняется левая верхняя клетка (северо-западный угол) остав­шейся части таблицы. Заполнение таблицы начи­нается с клетки неизвестного *x*11 и заканчивается в клетке неизвест­ного *xmn* , т. е. идет как бы по диагонали таблицы перевозок (см. таблицу 2):

***Пример:***

 Таблица 2

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | $$B\_{1}$$ | $$B\_{2}$$ | $$B\_{3}$$ | Объемы |
| $$A\_{1}$$ |  2**80** |  5 |  3 | **80** |
| $$A\_{2}$$ | 3**40** | 2**50** | 4 | **90** |
| $$A\_{3}$$ | 5 | 1**30** | 3**30** | **60** |
| $$A\_{4}$$ | 3 | 2 | 5**70** | **70** |
| Потребности | **120** | **80** | **100** | **300** |

 Заполнение таблицы начинается с ее северо-западного угла, т.е. клетки с неизвестным *x*11. Первая база *A*1  может частично удовле­творить потребность первого заказчика *B*1 (*x*1=80, *y*1=120, *x*1 < *y*1).

 Вписываем значение *x*11= 80 в клетку *x*11 и исключаем из рассмотрения первую строку. Заказчику *B*1 требуется еще объем $y\_{1 }^{'}=40.$ В оставшейся новой таблице с тремя строками *A*2*,A*3*A*4 и тремя столбцами *B*1*,B*2*,B*3*,* северо-западным углом будет клетка для неизвестного *x*21 . Вторая база с запасом $ x\_{2}=90 $ может полностью удовлетворить потребность первого заказчика *B*1 ($x\_{2 }^{'}=40).$

 Вписываем значение *x*21 = 40 в клетку *x*21 и исключаем из рассмотрения первый столбец. На базе *A*2 остается остаток (запас) $x\_{2 }^{''}=50$. В оставшейся новой таблице с тремя строками *A*2*,A*3*A*4 и двумя столбцами *B*2*,B*3 северо-западным углом будет клетка для неизвестного *x*22. Теперь заказчик *B*2 может принять с базы *A*2 объем $x\_{2 }^{'}=50$ и у него останется еще не удовлетворенная потребность $y\_{2}^{'}=30$.

 Вписываем значение *x* 32 = 30 в клетку *x*32  и исключаем из рассмотрения второй столбец. Потребность второго заказчика *B*2 полностью удовлетворена ($y\_{2}=80).$

 Теперь переходим к заполнению клетки для неизвестного *x*33 и т.д.

В результате у нас останется одна база *A*4 с запасом груза $x\_{4}=70 $и один пункт *B*3 с потреб­ностью*y*3=70 . Соответственно этому имеется одна свободная клетка, которую и заполняем, положив *x*43=70. План составлен. Базис образован неизвестными *x*11*,x*21*,x*22*,x*32*,x*33*,x*43.

Число заполняемых клеток в базисе должно быть равно *m+n-*1.

Правиль­ность составленного плана можно проверить, подсчитав суммы чисел, стоящих в заполненных клетках по строкам и столбцам.

Общий объем перевозок для этого плана составит:

$$W\_{1}=2∙80+3∙40+2∙50+1∙30+3∙30+5∙70=850.$$

б) ***Метод******минимального тарифа***

При этом методе на каждом шаге построения опорного плана первой заполняется та клетка оставшейся части таблицы, которая имеет наименьший тариф. Если такая клетка не единственная, то заполняется любая из них (см. таблицу 3):

 Таблица 3

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | $$B\_{1}$$ | $$B\_{2}$$ | $$B\_{3}$$ | Объемы |
| $$A\_{1}$$ | 2**80** | 5 | 3 | **80** |
| $$A\_{2}$$ | 3 | 2 | 4**90** | **90** |
| $$A\_{3}$$ | 5 | 1**60** | 3 | **60** |
| $$A\_{4}$$ | 3**40** | 2**20** | 5**10** | **70** |
| Потребности | **120** | **80** | **100** | **300** |

В данном случае заполнение таблицы начинается с клетки для неизвест­ного *x*32, для которого мы имеем значение *c*32 = 1, наименьше из всех значений *cij* . Эта клетка находится на пересечении третьей строки и второго столбца, соответствующим третьей базе *A*3 и вто­рому заказчику *B*2. Третья база *A*3 не может полностью удовлетворить потребность второго заказчика *B*2 (*x*3=60, *y*2=80, *x*3 < *y*2).

 Вписываем значение *x*32 = 60 в клетку *x*32. У заказчика *B*2 останется не удовлетворенная потребность $y\_{2}^{'}=20$.

Этот объем мы можем взять с базы *A*4 $(x\_{4 }^{'}=20)$ и полностью удовлетворить потребность второго заказчика *B*2 (*y*2=80). Исключаем из рассмотрения второй столбец. В оставшейся новой таблице с четырьмя строками *A*1*,A*2*,A*3 *A*4 и двумя столбцами *B*1*,B*3  клеткой с наименьшим значе­нием *cij* будет клетка*c*11=2.

Заполняем описанным выше способом эту клетку (*x*1=80) и аналогично заполняем следующие клетки. В резуль­тате оказываются заполненными следующие клетки:

$$ x\_{11}=80, x\_{41}=40, x\_{32}=60, x\_{42}=20, x\_{23}=90, x\_{43}=10 $$

Теперь мы приходим к другому опорному плану. Общий объем перевозок для этого плана составит:

$$W\_{2}=2∙80+3∙40+1∙60+2∙20+4∙90+5∙10=790.$$

в) ***Уточнение опорного плана***

 На основании полученного базисного решения выполним уточнение опорного плана по следующему алгоритму:

1. Составляем *матрицу потенциалов* $u\_{i}$, $v\_{j}$:
* записываем в клетки с заполненными объемами таблицы 3, соответствующие им тарифы, которые будут считаться *базовыми* (см. таблицу 4):

 Таблица 4

Матрица потенциалов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | $v\_{1}=$2 | $$v\_{2}=1$$ | $$v\_{3}=4$$ |
| $$u\_{1}=0$$ | **2** | 1 | 4 |
| $$u\_{2}=0$$ | 2 | 1 | **4** |
| $$u\_{3}=0$$ | 2 | **1** | 4 |
| $$u\_{4}=1$$ | **3** | **2** | **5** |

* остальные клетки матрицы и значения самих потенциалов $u\_{i}$,$ v\_{j} $определяем, исходя из правила: цифра в клетке есть сумма потенциалов соответствующей строки и столбца, значение $u\_{1}$ принимаем равным нулю;
1. Составляем *матрицу разностей:*
* из исходных тарифов (см.таблицу 3) вычитаем значения потенциалов в соответствующих клетках (см.таблицу 4) и получаем таблицу 5:

 Таблица 5

Матрица разностей

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 0 | 4 | **-1** |
| 1 | 1 | 0 |
| 3 | 0 | -1 |
| 0 | 0 | 0 |

* если все элементы в матрице разностей неотрицательные, то данный план перевозок является наилучшим, и решение на этом заканчивается;
* если данное условие не выполнено, то выбирается клетка с наименьшим отрицательным элементом (если наименьших отрицательных элементов в матрице более одного, то из них выбирается тот, который соответствует меньшему значению исходного тарифа, если и тарифы у них одинаковы - выбирается любой из этих элементов);
1. Составляем новый план перевозок:
* в выбранную клетку записываем некоторую вспомогательную переменную *t (t >* 0*)* и выравниваем суммы по строкам и столбцам (см.таблицу 6):

 Таблица 6

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 80-*t* |  | ***t*** |
|  |  | 90 |
|  | 60 |  |
| 40+*t* | 20 | 10-*t* |

* значение *t* выбирается таким образом, чтобы одна из заполненных клеток таблицы 6 стала равной нулю, а остальные остались бы положительными, т.е. *t* =10;
* корректируем план перевозок и определяем новый объем (см.таблицу 7):

 Таблица 7

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 70 |  | 10 |
|  |  | 90 |
|  | 60 |  |
| 50 | 20 |  |

$$W\_{3}=2∙70+3∙50+1∙60+2∙20+4∙90+3∙10=780.$$

1. Проверяем, является ли полученный план наилучшим:

 Таблица 8

 Матрица потенциалов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | $v\_{1}=$2 | $v\_{2}=$1 | $v\_{3}=$3 |
| $$u\_{1}=0$$ | **2** | 1 | **3** |
| $$u\_{2}=1$$ | 3 | 2 | **4** |
| $$u\_{3}=0$$ | 2 | **1** | 3 |
| $$u\_{4}=1$$ | **3** | **2** | 4 |

 Таблица 9

Матрица разностей

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 0 | 4 | **0** |
| 0 | 0 | 0 |
| 3 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 |

 Полученный план перевозок является наилучшим.

**Решить следующую задачу самостоятельно:**

 Таблица 10

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | $$B\_{1}$$ | $$B\_{2}$$ | $$B\_{3}$$ | Объемы |
| $$A\_{1}$$ |  4 |  2 |  3 | **120** |
| $$A\_{2}$$ | 2 | 5 | 4 | **100** |
| $$A\_{3}$$ | 3 | 2 | 5 | **180** |
| $$A\_{4}$$ | 5 | 4 | 3 | **150** |
| Потребности | **190** | **160** | **200** | **550** |

*Ответ:***1390**

**5.2. Задача по составлению расписаний**

**(сетевой график).**

 Данный тип задач рассматривается при планировании сложных процессов (проектов), состоящих из нескольких этапов, которые должны быть выполнены к определенному сроку.

 Целями решения задачи являются:

1. определение оптимальной последовательности выполнения отдельных этапов сложного процесса;
2. нахождение возможных резервов времени на каждом этапе, которые не приводят к срыву установленного срока окончания всего процесса.

***Пример:***

 Задано выполнение проекта из пяти работ *A,B,C,E,F* конкретной продолжительности *d* (например, дней) (Рис.4, таблица 11):



Рис. 4.

Таблица 11



 где: *D* - "фиктивная" работа (*d*=0), обозначающая условие, что Е может быть начата только после выполнения и В и С;

 *Т1* - самое раннее время, когда работа может быть начата;

*Т2* -самое раннее время, когда работа может быть закончена;

*Т3* - самое позднее время, когда работа может быть начата;

*Т4* -самое позднее время, когда работа может быть закончена;

*Тs* - суммарное время задержек и простоев, не срывающих сроков окончания всего процесса:

 *Тs = Т4-Т2 = Т3 -Т1;* (4)

 Цель составления сетевого графика состоит, кроме того, в выявлении таких работ, при выполнении которых нельзя допускать простоев и задержек (т.е. нахождения "критического" пути).

 Задавая *Т1(А)* = 0 и *Т1(В)* = 0 , получаем значения *Т1* для *C,E,F* и *Т2* для всех работ: *Т2 =Т1 + d.*

 Максимальное значение *Т2* =18 получается для *Е,* примем его в качестве срока окончания всей работы, откуда следует: *Т4(F)* = 18.

 Двигаясь теперь в обратном направлении , получаем *Т3(Е)* и *Т3(F),* далее *Т4(С),* *Т4(В)* и т.д. В результате заполняем столбец *Тs* и получаем искомую последовательность работ, т.е. "критический" путь*: B - D - E.*

**Решить следующую задачу самостоятельно:**

 Таблица 12

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Раб. | d | T1 | T2 | T3 | T4 | Ts |
| A | 5 |  |  |  |  |  |
| B | 3 |  |  |  |  |  |
| C | 3 |  |  |  |  |  |
| E | 4 |  |  |  |  |  |
| F | 6 |  |  |  |  |  |