ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
Московский ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ВЕЧЕРНИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
111250, г. Москва, Лефортовский вал, д.26
т. 361-14-80. факс 361-16-19

Кафедра автоматизации технологических процессов
металлургии и машиностроения

Методическое пособие
по выполнению курсового проекта по дисциплине
«Проектирование систем управления»

Составитель Климовицкий М.Д.

Москва 2007г

1. Введение

Студенты специальности «Автоматизация технологических процессов и производств» выполняют курсовой проект по дисциплине «Проектирование АСУ» в 10 семестре.
Как правило, курсовой проект выполняется по одной тематике с разрабатываемым в дальнейшем дипломным проектом.

Примеры тематики курсовых проектов

1. «Автоматизация температурного режима проходной непрерывной печи». Расчет чувствительности системы, одномерного симплекс-элемента и графа структура системы.
2. «Система управления ритмом прокатки на НШСГП». Расчет чувствительности системы, двумерного симплекс-элемента и графа структуры системы.
3. «Система стабилизации параметров отопительного газа». Расчет чувствительности системы, одномерного комплекс-элемента и графа структуры системы.

При выполнении курсового проекта решаются следующие задачи

1. Разработка системы управления технологическим процессом, отвечающей заданным технологическим требованиям.
2. Определение чувствительности системы и класса приборов, используемых в системе.
3. Расчет параметров симплекс (комплекс) - элемента.
4. Определение параметров графа системы.

Составные части курсового проекта

Курсовой проект состоит из пояснительной записки и чертежа. Пояснительная записка состоит из следующих частей:
1. Оглавление.
2. Введение.
3. Краткое описание технологического процесса.
4. Описание системы управления.
5. Определение на ЭВМ параметров работы системы.
6. Расчет чувствительности системы.
7. Расчет симплекс-элемента.
8. Расчет графа структуры системы.
9. Заключение.
10. Список используемой литературы.

Объем пояснительной записки около 20 страниц. Пояснительная записка и чертеж выполняются в соответствии с действующими стандартами. Титульный лист пояснительной записки составляется по прилагаемой форме (приложение 2) и подписывается студентом, руководителем курсового проекта и заведующим кафедрой. После титульного листа должно быть помещено задание на курсовой проект (приложение 1) и затем разделы пояснительной записки.
На чертеже должна быть показана структурная, или функциональная, или информационная схема разрабатываемой системы.
Ниже изложено содержание курсового проекта и даны методические указания к выполнению отдельных его разделов.

2. Содержание курсового проекта Введение

Обосновывается важность темы курсового проекта, необходимость автоматизации агрегата для удовлетворения технологических требований. Обзор литературы по автоматизации агрегата составляется на основании учебников {1,2}, монографий (указываются руководителем проекта) и 3,4-х статей из журналов.

Краткое описание технологического процесса

Приводится характеристика технологического оборудования. Описывается технологический процесс и последовательность технологических операций. Формулируются требования к качеству выпускаемой продукции и требования к параметрам системы и области их существования. Формулируются функции системы управления.

Описание системы управления

Выбор системы управления определяется технологическими требованиями к объекту управления, перечнем функции системы. - Приводится описание работы локальных систем контроля и управления и распределения функций между отдельными подсистемами..

Составляется программное обеспечение исследования системы на ЭВМ. В режиме диалога находятся параметры системы, обеспечивающие заданные показатели качества. Приводятся программа и результаты расчета. Следует обосновать преимущества выбранного варианта.

Расчет чувствительности системы

Используя прямой метод рассчитать относительную и абсолютную чувствительность системы. Определить изменения чувствительности при изменении параметров системы.

Расчет симплекс-элемента

Используя метод конечных элементов рассчитать параметры симплекс-элемента.

Расчет графа структуры системы

Составить граф системы. Определить вершины и дуги. Составить матрицу графа и определить его характеристики.

Заключение

Кратко формулируется функции разработанной системы управления и результаты расчетов.

.

Список используемой литературы Графический материал

На чертеже должна быть представлена функциональная схема или структурная схема системы управления.

3. Расчет чувствительности системы

Универсальным методом определения чувствительности системы является метод превращений, основанный на численном дифференцировании зависимости $y_j(x_j)$ в некоторой точке y^0.

Обозначим коэффициент чувствительности системы через a_{ij}. Тогда

$$a_{ig} = \frac{dy_i}{dx_j} \approx \frac{y_i\left(x_1^0,\dots,x_2^0+\Delta x_j,\dots,x_m^0\right)-y_i\left(x_i^0,\dots,x_j^0,\dots,x_m^0\right)}{\Delta x_j} \quad (1)$$

В уравнении (1) $i=1,\dots,l;\ j=1,\dots,m$(1 - количество выходных параметров, чувствительность которых определяется, m - число изменяемых внутренних параметров).

Для вычисления всех элементов матрицы чувствительности необходимо выполнить m+1 вариантов анализа объекта с расчетом выходных параметров.

В первом варианте задаются исходные значения X^0 всех изменяемых внутренних параметров. В результате получают вектор $У^0$ исходных значений выходных параметров. Во втором варианте анализа задается Δx_1, т.е. $x_1=x_1^0+\Delta x_1$, определяется y_1 и $\Delta y_1=y_1 - y_1$, откуда находим первый столбец матрицы чувствительности

$$\frac{dy_{1i}}{dx_1} \approx \frac{\Delta y_1}{\Delta x_1} \quad (2)$$

В каждом последующем j варианте анализа вычисляется j-й столбец матрицы чувствительности: $x_j = x_j^0 + \Delta x_j$

Недостаток этого метода определения чувствительности - невысокая точность определения частных производных, тем меньшая, чем сильнее выражена нелинейность выходных параметров.

Ошибка численного дифференцирования содержит две составляющие:

1) ошибка формулы численного дифференцирования (ошибка аппроксимации);

2) ошибка, вызванная неточностью вычисления значений выходных параметров в формуле численного дифференцирования. При изменении Δx_j эти составляющий изменяются в противоположных направлениях.

Рассмотрим случай, когда *l=1, m=1*.

$$\frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{y(x^0 + \Delta x) - y(x^0)}{\Delta x} = \frac{y_0^+ - y_0}{\Delta x} \qquad (3)$$

Ошибка аппроксимации e^a равна остаточному члену при разложении функции у(х) и ряд Тейлора в точке х .

$$e^a = -\frac{\Delta x}{2} y''(\tilde{x}) \qquad (4)$$

Где $x^0 < \tilde{x} < x^0 + \Delta x$

Предположим, что вторая производная у(х) ограничена в окрестности x^0, т.е.$\left|y(\tilde{x})\right| < M$ и следовательно$\left|e^a\right| < M\Delta x^2 / 2$. Если значение функции у(х) вычисляется с погрешностями e^y и $|e^y|<E$, то вторая составляющая ошибки e^b будет $e^b = \left(e^{y_0+} - e^{y_0}\right)/\Delta x$ $\left|e^b\right| < 2E/\Delta x$

Суммарная ошибка$\left|e\right| < \left|e^a\right| + \left|e^b\right| \le M\Delta x^2/2 + 2E/\Delta x$

Анализ чувствительности по упрощенной методике может быть проведен следующим образом.

Выходные параметры объекта (вектор Y) являются функцией внутренних параметров (вектор X) и внешних параметров (вектор Q), т.е. Y=F(X,Q). Анализ чувствительности позволяет оценить степень влияния каждого параметра x_j или q_k на выходные параметры объекта. Результаты анализа чувствительности дают возможность определить наихудшие режимы работы объекта с точки зрения выполнения технического задания, а так же оценить стабильность выходных параметров объекта при наличии возмущающих факторов.

Количественно степень влияния внутренних и внешних параметров на выходные параметры оценивается абсолютным (a_{ij}) и относительными (b_{ij}) коэффициентами чувствительности.

$a_{ij} = \delta y_i / \delta x_j$

$b_{ij} = a_{ij}\, y_{iном}/x_{jном}$, где

$y_{iном}$ и $x_{jном}$ - номинальные значения x_j и y_i

Значения a_{ij} и b_{ij} для всех выходных параметром составляют матрицы чувствительности.

$$A = \begin{vmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{vmatrix} \; B = \begin{vmatrix} b_{11} & b_{12} \\ b_{21} & b_{22} \end{vmatrix} \quad (5)$$

Параметры объекта, которые будут использованы при расчете студент определяет с руководителем проекта.

<u>Пример определения чувствительности делителя напряжение.</u>

Входные параметры делителя: входное сопротивление $R_{вх}$ и коэффициент деления $К_д$ изменяемые внутренние параметры: сопротивление резисторов R1 и R2. $К_д$ надо поддерживать с точностью ± 2%.

Номинальные значения сопротивлений, резисторов,. Определить матрицу чувствительности и допуски на R1 и R2. Для делителя напряжений известны аналитические зависимости выходных от выходных параметров в явном виде: $Y1 = R_{вх} = R1 + R2$, $Y2 = К_д = R1/(R1 + R2)$. Номинальные значения выходных параметров: $Y1_{ном}$ – 3кОм, $Y2_{ном}$ – 1/3

Продифференцируем Y, по X, и определим коэффициенты чувствительности:

$a_{11} = 1$, $a_{12} = 1$, $a_{21} = R2/(R1+R2)^2$

$a_{22} = - R1/ (R1+R2)^2$

$b_{11} = R1_{ном}/Y1_{ном}$, $b_{12} = R2_{ном}/Y1_{ном}$,

b_{21} - $a_{21} = R1_{ном}/Y2_{ном}$, b_{22}- $a_{22} = R2_{ном}/Y2_{ном}$

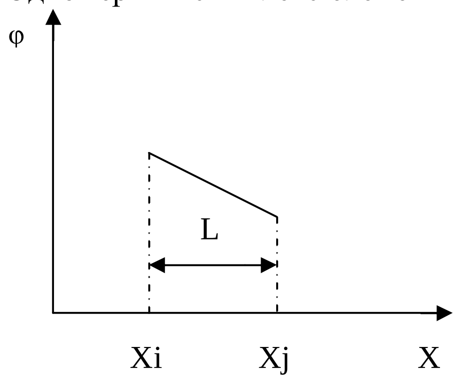
с учетом заданных значений имеем: $A = \begin{vmatrix} 1 & 1 \\ 1/9 & 2/9 \end{vmatrix}$ $B = \begin{vmatrix} 2/3 & 1/3 \\ 2/3 & -2/3 \end{vmatrix}$

Элементы матрицы В показывают степень влияния внутренних параметров на выходные па-

раметры в относительных величинах. Например,
b_{22} = -2/3 показывает, что если увеличить R1 на 1%, то $K_д$ уменьшиться на 2/3%.
Обозначим через $\delta K_д$ относительное изменение коэффициента деления $K_д$, а через $\delta R1$ и $\delta R2$ относительное изменение сопротивления резисторов. С учетом значений R2 и R22, имеем $\delta K_д = b_{22}\ \delta R1 + b_{22}\ \delta R2 = 2/3\ (\delta R1 - R2)$. Полагая $\delta R_1 = \delta R_2 = \delta R$, для наихудшего сочетания параметров имеем $|\delta K_д|\ max = 4/3\ |\delta R|\ max$.
Из последнего выражения следует, что требования $|\delta K_д|\ max<0{,}02$ будет выполнено, если $|\delta R|\ max<0{,}015$. Таким образом, надо использовать резисторы с отклонением от номинала не больше 1,5%.

4. Расчет симплекс-элемента

Одномерный симплекс-элемент показан на рисунке.



Значения функции апроксимируются полиномом:
$\varphi = a_1+a_2$ (1)
Примем, что узловые значения Φ_i и Φ_j искомой непрерывной функции, определенные на концах отрезка, известны. Значения a_1 и a_2, определяются через узловые значения функции Φ_i и Φ_j в соответствии с условием непрерывности:
$\varphi = \Phi_i$ при $X = Xj$, $\varphi = \Phi_j$; при $X = X_j$, . (2)
Подставим (2) в (1). Имеем
$\Phi_i = a_1+a_2\ X_i$
$\Phi_j = a_1+a_2\ Xj$, (3)
Решаем систему (3) и находим:
$a_1 = (\Phi_i\ Xj - \Phi_j\ X_i)/L$
$a_2 = (\Phi_j - \Phi_i)/L$
Подставим значения коэффициентов a_1 и a_2 в (1). Получаем:
$\varphi = (\Phi_i\ Xj - \Phi_j\ Xi)/L + [(\Phi_j - \Phi_i)/L]X$ (4)
Проведем эквивалентные преобразования в (4) и представим его в форме:
$\varphi = [(X_j - X)/L]\ \Phi_i + [(X - X_i)/L]\ \Phi_j$ (5)
Члены уравнения (5), заключенные в скобки, являются функциями формы симплекс-элемента:
$N_i = (X_j - X)/L$
$N_j = (X - X_i)/L$ (6)
Таким образом, можно выразить функцию аппроксимирующего полинома следующим образом:
$\varphi = N_i\ \Phi_i + N_j\ \Phi_j$ (7)
или в матричной форме
$\Phi = N\Phi$ (8)
где N - [N, N] матрица-строка; $\Phi = \begin{pmatrix} \Phi_i \\ \Phi_j \end{pmatrix}$ матрица-столбец

Варианты заданий				
№	XI	X2	Ф1	Ф2
1	6	32	31	22
2	6	33	31	15
3	4	30	23	15
4	6	32	23	16
5	2	19	30	14
6	10	20	34	9
7	6	16	34	7
8	2	18	30	4
9	2	14	30	9
10	4	8	24	3
11	2	23	26	32
12	1	16	30	37
13	3	20	30	28
14	6	16	28	22
15	6	8	28	34
16	2	6	34	10
17	4	14	24	16
18	8	3	24	18
19	3	8	16	36
20	4	1	32	6

5. Основные положения теории графов

Пусть определено некоторое множество элементов V. Граф G = G(V) считается определенным, если задано некоторое сочетание элементов или пар вида E = (a, Ь), где a, b Є V и указывают какие элементы являются связанными.

Пара E = (a, b), - ребро (дуга), a, b - вершины.

Если E = (a, b) = (b, a) - неориентированное ребро; если порядок важен - ориентированное ребро.

1. Способы задания графа

5.1.1. Графическое представление - наглядно для небольших графов (до 30 вершин)

5.1.2. Матричное представление - матрица смежности (соответствия) вершин для неориентированного графа имеет вид A = [ay], где i = 1,...,n;

j = 1,...,n; n-число вершин в графе. Элементы $a_и$ определяются следующим образом:

$$\begin{cases} 1 \text{ ,\textit{при наличии связи}} \\ 0 \text{ ,\textit{при отсутствии связи}} \end{cases}$$

Для неориентированного графа матрица смежности является симметричной.

В матрице смежности вершин для ориентированного графа A = [ay] элементы определяются следующим образом:

$$\begin{cases} 1 \text{ ,\textit{если из вершины i можно перейти в вершину j}} \\ 0 \text{ ,\textit{в противном случае}} \end{cases}$$

Матрица инцидентности (связности) B = [by], где i = l,...,n; j = l,...m;

n - число вершин, m - число ребер определяются для неориентированного графа.

$$\begin{cases} 1\text{, \textit{если i - я вершина инцидентна данному ребру}} \\ \text{\textit{(есть связь)}} \end{cases}$$

а для ориентированного графа

$$\begin{cases} 1, \text{ если } i \text{ - я вершина есть начало } j \text{ - го ребра} \\ -1, \text{ если } i \text{ - я вершина есть конец } j \text{ - го ребра} \\ 0, \text{ если } i \text{ - я вершина не инцидентна } j \text{ - му ребру} \end{cases}$$

5.1.3 <u>Множественное представление графа.</u>

В этом случае для ориентированного графа G(V) задается множество вершин V и соответствие G, которое показывает как связаны между собой вершины. Для каждой вершины i соответствие G определяет множество вершин G(i), в которые можно непосредственно попасть из вершины i. В этом случае G(i) называемся множеством правых инциденций.

Множество G^{-1} (i) определяет все вершины, из которых можно непосредственно попасть в вершину i и называется множеством левых инциденций.

2. Цепь, путь, цикл, контур в графе

Цепью называется такая последовательность ребер E_0, E_1),E_{k-1}, $E_к$,..., когда нижнее ребро E_{k-1} соприкасается с одним из концов с ребром $E_к$. Цепь можно обозначить последовательностью вершин, которые она содержит. Понятие цепи обычно используется для неориентированного графа.

Путем называется такая последовательность дуг, когда конец каждой предыдущей дуги, совпадает с началом последующей. Понятие пути обычно используется для ориентированного графа.

Циклом называется такая конечная цепь, которая начинается и заканчивается в одной вершине. Понятие цикл имеет смысл только для неориентированного графа.

Контуром называется такой конечный путь, у которого начальная вершина первой дуги совпадает с конечной вершиной последней дуги пути.

Длиной цепи (пути) называется число ребер (дуг), входящих в цепь (путь) графа.

3. Степень вершины графа

Число ребер, инцидентных вершине неориентированного графа, называется степенью вершины p_j Число дуг ориентированного графа, которые имеют своей начальной вершиной вершину i, называется полустепенью исхода вершины i и обозначается p^+(i). Аналогично, число дуг, которые имеют своей конечной вершиной вершину j, называется полу степенью захода вершины и обозначается p^- (j).

Для неориентированного графа имеем

$$\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} r(i) = m$$

где m - число дуг,

n - число вершин. Для ориентированного графа имеем

$$\sum_{i=1}^{n} r^{-}(i) = \sum_{j=1}^{n} - r(i) = m$$

4. Структурный анализ систем управления на основе теории графов

5.4.1. <u>Связанность структуры</u>.

Данная характеристика позволяет выявить наличие обрывов в структуре, висячие вершины и т.п.

Связанность всех элементов в структуре соответствует выполнению следующего условия

$$\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} \geq n-1; i \neq j$$

Правая часть неравенства определяет необходимое минимальное число связей в структуре графа, содержащего n вершин.

5.4.2. <u>Структурная избыточность.</u>

Структурный параметр, отражающей превышение общего числа связей над минимально необходимым называется структурной избыточностью и характеризуется функцией R:

$$R = \frac{1}{2}\Big(\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} a_{ij} \Big) \frac{1}{a-1} - 1; i \neq j$$

Функция R используется для косвенной оценки экономичности и надежности систем.
Для систем с максимальной избыточностью связей R=0, для несвязных систем R<0.
Чем больше значение функции R, тем выше надежность системы.

5.4.3. Неравномерность распределения связей в системе

Функцию неравномерности распределения связей ε^2 используют при анализе структурной надежности систем.

Равномерное распределение связей в структуре графа, имеющего m ребер и n вершин, характеризуется средней степенью вершины $\rho = {}^{2m}/_{n}$. Введя понятие отклонения $\rho_i - \rho$, где ρ_i – действительная степень i-той вершины заданного графа можно определить квадратическое отклонение заданного распределения степеней вершин от равномерного:

$$\sum_{i=1}^{n}\left(r_1 - r\right)^2 = \sum_{j=1}^{n} r_1^2 - {4m^2}/{n}$$

5.4.4. Структурная компактность

Дня количественной оценки структурной компактности вводится параметр, отражающий близость элементов между собой. Близость двух элементов i и j между собой будем определять через минимальную длину пути (цепи) d_{ji}. Функция структурной компактности Q отражает общую структурную близость элементов между собой в системе:

$$Q = \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} a_0 ; i \neq j$$

Для количественной оценки структурной компактности часто используют относительный показатель

$$Q_{отн} = \frac{Q}{Q_{\min}} - 1$$

Учитывая преобладающий информационный характер связей в системах можно сказать, что величина $Q_{отн}$ интегрально оценивает информационность процессов в системах, а при равных значениях неравномерности распределения связей е и структурной избыточности R возрастание $Q_{отн}$ отражает увеличение числа зависимых связей в структуре, характеризуя, тем самым, снижение общей надежности.

5.4.5. Степень централизации структуры системы.

Для количественной оценки степени централизации структуры системы используется понятие индекса централизации δ

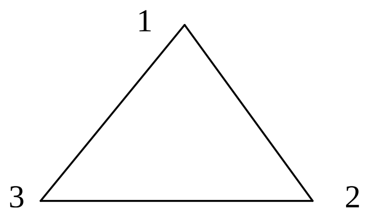
$$d = (n-1)(2Z_{\max} - n)\frac{1}{Z_{\max}(n-2)}$$

где $Z_{\max}$ - максимальное значение величины

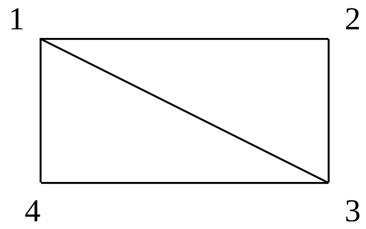
$$Z = \frac{Q}{2}\left(\sum_{j=1}^{n} d_{ij}\right)^{-1}$$

$$i = 1,2,\mathbf{K}\, n; i \neq j$$

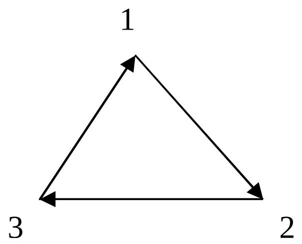
<u>Варианты структур графа</u>



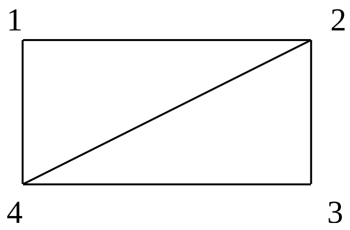
А



В



Б



Г

Варианты заданий.

1. Определить матрицы смежности и инцидентности для структуры А.
2. Определить матрицы смежности и инцидентности для структуры Б.
3. Определить матрицы смежности и инцидентности для структуры В.
4. Определить матрицы смежности и инцидентности для структуры Г.
5. Найти множественное представление структур А, Б, В, Г.
6. Определить связность структур А, В.
7. Определить связность структур В, Г.
8. Определить структурную избыточность для структур А и В.
9. Определить структурную избыточность для структур А и Г.
10. Определить неравномерность распределения связей структуры В.
11. Определить неравномерность распределения связей структуры Г.
12. Определить структурную компактность структуры В.
13. Определить структурную компактность структуры Г.
14. Определить степень централизации структуры В.
15. Определить степень централизации структуры Г.
16. Определить структурную избыточность структуры А.
17. Определить структурную избыточность структуры В.
18. Определить структурную избыточность структуры Г.
19. Определить матрицы смежности структур В и Г.
20. Определить матрицы инцидентности структур В и Г.

Литература

1. И.П. Коненков, В.Б. Бабичев. Основы теории и проектирования САПР. - М.; Высш. шк., 1990. - 335с.:ил.
2. Системы автоматизированного проектирования. Учебное пособие для вузов. Под ред. И.П. Котенкова - М.: высшая школа 2006.
3. Автоматизация проектирования. Под ред. В.А. Трапезникова -М.: Машиностроение, 1986. -275с.
4. В. Оле. Теория графов, наука, 1990. - 210с; ил.