ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Федеральное агентство по образованию
Уральский государственный технический университет – УПИ
имени первого Президента России Б.Н. Ельцина

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Методическая разработка
к лабораторным работам
для студентов всех форм обучения
специальности 270109 – Теплогазоснабжение и вентиляция

Екатеринбург
УГТУ-УПИ
2009

УДК 681.332

Составитель М.Г. Ушаков
Научный редактор проф., канд. техн. наук Р.Н. Шумилов

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ : методическая разработка к лабораторным работам / сост. М.Г. Ушаков. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2009. 17 с.

В настоящей работе изложены положения по расчету потокораспределения в системах ТГиВ с произвольной структурой графа. Составление матриц инциденций и циклов по заданной матрице смежности. Освоение алгоритмов выделения максимального дерева и хорд графа; построение маршрутов между граничными вершинами хорд, замыкающих систему главных циклов, и корневыми узлами. Определение потокораспределения в заданной гидравлической цепи модифицированным методом Ньютона – методом контурных расходов. Составление линеаризированной системы уравнений, описывающей потокораспределение. Решение системы методом Гаусса или Крамера и получение начальных приближений расходов потоков в ребрах графа сети. Составление системы матричных уравнений, отражающих аналоги законов Кирхгофа для гидравлических цепей. Уточнение начального приближения расходов потоков в ребрах графа за один шаг итераций по методу Ньютона для решения систем нелинейных уравнений.

Данное издание может быть использовано студентами для лабораторных занятий.

Библиогр.: 3 назв. Табл. 2.

Подготовлено кафедрой «Теплогазоснабжение и вентиляция»

ОГЛАВЛЕНИЕ

Лабораторная работа 1

СОСТАВЛЕНИЕ МАТРИЦ ИНЦИДЕНЦИИ И ЦИКЛОВ ГРАФА ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ СЕТИ ПО ЗАДАННОЙ МАТРИЦЕ СМЕЖНОСТИ

Матрица смежности (С) графа гидравлической сети задана в компактной форме, в виде номеров ребер – пар чисел, обозначающих номера узлов начала и конца участка – ребра графа (табл. 1). Условно считается, что предварительное направление движения жидкости по участку происходит от первого записанного в паре чисел номера узла ко второму в соответствии с ориентацией графа сети. Используя исходные данные в соответствии с номером варианта, постройте матрицу смежности (С) в обычной форме.

Матрица инциденций (А) состоит из j = 1, 2, …, (q-1) строк и j = 1, 2, …, p столбцов, где q – число вершин графа (узлов сети), p – число ребер графа (участков сети). Строки матрицы «А» нумеруются по порядку нумерации вершин. Каждая строка соответствует определенной вершине графа. Столбцы нумеруются по порядку построчной записи ребер в матрице смежности (С). Каждому столбцу матрицы «А» соответствует определенное ребро графа. Номер записывается как ориентированная пара чисел NN→NK (NN, NK – соответственно номера вершин начала и конца ребра). Элементы a_{ji} матрицы «А» получают следующие значения, в зависимости от того, инцидентно или нет рассматриваемое ребро рассматриваемой вершине:

a_{ji} = +I, если ребро i инцидентно вершине j и направлено к ней;

a_{ji} = - I, если ребро i инцидентно вершине j и направлено от нее;

a_{ji} = 0, если ребро i не инцидентно вершине j.

При этом ребро инцидентно вершине, если она является граничной точкой этого ребра. Составьте матрицу инциденций (А).

Для составления матрицы главных циклов (В) следует:

1. Выделить в отдельные массивы ребра, относящиеся к ветвям максимального дерева графа, соответствующего системе главных циклов, и ребра, относящиеся к хордам графа, относительно дерева. Назовем эти массивы соответственно ID и IH. В эти массивы должны заноситься номера ребер (пары чисел) в соответствии с матрицей инциденций (А).
2. Построить маршруты между корневым узлом сети и граничными вершинами хорд, замыкающих главные циклы.
3. Построить матрицу главных циклов (В).

Для решения перечисленных выше вопросов можно использовать следующие алгоритмы.

Алгоритм выделения максимального дерева и хорд графа относительно системы главных циклов.

1. Из матрицы инциденций (А) переписывают в массив ID все ребра, инцидентные узлу J = W, взятому за корень максимального дерева графа. Одновременно из матрицы «А» эти ребра (столбцы) вычеркиваются.

Таблица 1

Исходные данные

Пара-метры	Варианты задания																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Номера ребер $NN \rightarrow NK$	1-2 2-3 3-4 4-1 2-4	3-4 4-1 2-3 1-2 3-1	4-2 2-1 2-3 3-4 1-4	1-3 3-2 2-4 4-1 2-1	1-2 2-4 3-1 4-3 4-1	1-4 3-1 2-3 4-2 1-2	2-3 1-4 4-2 3-1 3-4	3-1 1-5 5-3 5-4 4-3	3-2 3-4 2-1 4-1 1-3	2-3 3-4 4-1 1-2 3-1	2-3 1-3 3-4 4-1 1-2	3-2 3-4 1-3 2-1 4-1	3-4 1-3 3-2 4-1 2-1	2-3 4-3 3-1 1-2 1-4	2-1 3-1 1-4 4-2 4-3	1-2 2-4 4-3 3-2 4-1	4-1 4-3 2-4 1-2 3-2	4-2 4-3 1-4 2-1 3-1	1-2 2-3 3-1 2-4 4-1	2-4 4-1 3-1 1-2 2-3	2-3 4-3 1-4 1-2 3-1
Номер узла корня дерева, W	1	3	4	2	1	2	4	3	3	1	3	1	3	1	4	2	2	1	2	1	3

2. Формируют массив «К». В него записывают все вершины, смежные с рассматриваемым корневым узлом J = W по матрице «А» – N_1, N_2 , … .

3. Берут номер очередной вершины N_i, записанный в массиве «К». В оставшихся в матрице «А» столбцах находят все ребра, смежные с данной вершиной N_i.

4. Если ребро, смежное с вершиной N_i, вторым своим концом смежно с какой-либо из вершин, записанных в массиве «К», то такое ребро относится к хордам и заносится в массив IH. В противном случае это ребро относится к ветвям максимального дерева и записывается в массиве ID, а номер вершины второго конца ребра записывается на свободное место в массиве К. И в этом и в другом случае ребро (столбец) вычеркивается из матрицы инциденций (А).

5. Проверяют матрицу «А». Если в ней остались нерассмотренные еще ребра, переходят к п.3. В противном случае процедура заканчивается.

В результате выполнения этого алгоритма в массиве IH будут записаны все ребра, относящиеся к хордам графа, а в массиве ID – все ребра, относящиеся к ветвям максимального дерева графа, соответствующего системе главных циклов.

Алгоритм построения маршрутов между корневым узлом и граничными вершинами хорд, замыкающих главные циклы

1. К ребрам, записанным в массиве ветвей дерева ID, прибавляется очередная хорда из массива IH.

2. В новый массив «К» записывают номера всех вершин графа в любой последовательности (N_1, N_2, …, N_g).

3. Берется номер очередной вершины из массива «К» и к его позиции в массиве «К1», состоящем первоначально из g нулей (g – число вершин графа), прибавляется столько единиц, сколько раз встречается номер данной вершины среди граничных вершин ребер, записанных в массив ID. В результате в массиве «К1» на позициях номеров каждой вершины будет стоять столько единиц, сколько раз встречается эта вершина среди граничных вершин ребер массива ID вместе с рассматриваемой хордой.

4. Рассматривается массив «К1». Для тех вершин, на позициях которых находится 1, записывают 0. Из чисел на позициях смежных с ними вершин вычитают по 1. Пункт 4 повторяют до тех пор, пока в массиве «К1» не останутся одни 0 и 2.

5. Из массива ID с хордой выписывают только те ребра, которые инцидентны вершинам, на позициях которых в массиве «К1» находятся 2. При этом обязательно среди этих ребер должна находиться хорда, а также должно получиться замкнутое кольцо через корневой узел. В противном случае следует искать ошибку, допущенную в этом алгоритме.

6. Пункты 1 - 5 повторяют для всех хорд, записанных в массиве IH.

В результате выполнения алгоритма получают маршруты, т. е. списки смежных участков, входящих в систему главных контуров гидравлической сети. Количество главных циклов в системе, соответствующей максимальному дереву графа, будет равно числу хорд в массиве IH.

Алгоритм построения матрицы главных циклов (В)

Количество строк матрицы главных циклов (В) равно количеству хорд или циклов k, а количество столбцов – числу ребер в графе p. Таким образом, каждая строка матрицы циклов (В) соответствует определенной хорде, которая замыкает один цикл из системы главных циклов, а каждый столбец – определенному ребру графа. Порядок размещения строк в матрице «В» произвольный, о порядок размещения столбцов должен строго совпадать с их порядком в матрице инциденций (А).

Поэтому при построении матрицы «В» в первую очередь следует выписать из матрицы «А» последовательность расположения ребер по столбцам.

Значения элементов матрицы «В» (b_{ci}) записывают построчно. Проставляют +1 или -1, если ребро, соответствующее i-му столбцу, входит в цикл c-й хорды, и ноль, если i-е ребро не входит в данный цикл. Причем знак «+» ставится, если направление ребра совпадает с направлением обхода контура сети (цикла графа), и знак «-» – в противном случае.

Направление обхода контура обычно принимают совпадающим с положительным направлением хорды, т. е. по потоку.

Например, если цикл хорды $3\to4$ содержит, кроме самой хорды, еще ребра $2\to4$, $2\to1$, $1\to3$, то нужно учесть следующее: если принять направление потока в хорде от узла 3 к узлу 4, то далее по контуру из узла 4 можно попасть в узел 2, только если идти в направлении противоположном ребру $2\to4$, а потом идти из узла 2 в узел 1 и из узла 1 в узел 3, который замыкает цикл, – в попутном направлении. Следовательно, в строке цикла хорды $3\to4$ на пересечении со столбцами ребер $3\to4$, $2\to4$, $2\to1$, $1\to3$ следует заносить +1, -1, +1, +1 соответственно, а на пересечении строки с остальными столбцами – ноли.

Ниже приведены основные этапы выполнения данной лабораторной работы для варианта задания 0 в табл. 1.

1. Построение матрицы смежности (С) в обычной форме.

i = 1, 2, …, g	j = 1, 2, …, g			
	1	2	3	4
1		1		
2			1	1
3				1
4	1			

2. Построение матрицы инциденций (А)

j = 1, 2, …, (g-1)	i=1,2,…,p				
	$1\to2$	$2\to3$	$2\to4$	$3\to4$	$4\to1$
1	-1				1
2	1	-1	-1		
3		1		-1	
Примечание. Порядок вычеркивания столбцов матрицы «А» при выполнении следующего алгоритма:	1	2	2	3	1

3. Выделение ветвей максимального дерева и хорд графа относительно системы главных циклов.

Массив ID (W = 1)	Массив К	Массив IH
1→2 4→1 2→3	$N_1 = 2$ $N_2 = 4$ $N_3 = 3$	2→4 3→4

4. Построение маршрутов между корневым узлом и граничными вершинами хорд, замыкающих главные циклы.

Массив ID с первой хордой 2→4	Новый массив К	Массив К1
1→2 4→1 2→3 2→4	$N_1 = 2$ $N_2 = 4$ $N_3 = 3$ $N_4 = 4$	Первоначальный 0 0 0 0 Измененный 2 3 1 2 Результирующий 2 2 0 2

Маршрут обхода первого главного цикла – от корневого узла W = 1 через хорду 2→4:
1→2, 2→4, 4→1.

Массив ID со второй хордой 3→4	Новый массив К	Массив К1
1→2 4→1 2→3 3→4	$N_1 = 2$ $N_2 = 4$ $N_3 = 3$ $N_4 = 4$	Первоначальный 0 0 0 0 Результирующий 2 2 2 2

Маршрут обхода второго главного цикла – от корневого узла W = 1 через хорду 3→4:
1→2, 2→3, 3→4, 4→1.

5. Построение матрицы главных циклов (В).

C = 1, 2, …, *k*	*j* = 1, 2, …, *p*				
	1→2	2→3	2→4	3→4	4→1
1	1		1		1
2	1			1	1

Лабораторная работа 2

РАСЧЕТ ПОТОКОРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ЦЕПИ С ПРОИЗВОЛЬНОЙ СТРУКТУРОЙ ГРАФА МОДИФИЦИРОВАННЫМ МЕТОДОМ НЬЮТОНА - МЕТОДОМ КОНТУРНЫХ РАСХОДОВ

Для гидравлической цепи, заданной матрицей смежности (С), в лабораторной работе 1, требуется определить методом линеаризации начальное приближение значений расходов потоков и уточнить это решение, проделав один шаг по методу контурных расходов. Дополнительные данные (характеристики сопротивления участков S_i и действующие давления установленных на них нагнетателей H_i) даны в табл. 2. Индексы соответствуют порядку расположения ребер в столбцах матрицы инциденций (А).

Выполнение лабораторной работы сводится к следующему.

Сначала гидравлическую цепь – нелинейную систему матричных уравнений, описывающих потокораспределение

$$\left.\begin{aligned} A\vec{x} &= 0, \\ B\vec{H} &= BSX\vec{x}, \end{aligned}\right\} \qquad (1)$$

заменяют на линеаризированную

$$\left.\begin{aligned} A\vec{x} &= 0, \\ B\vec{H}' &= BS'\vec{x}, \end{aligned}\right\} \qquad (2)$$

где $\vec{x} = \begin{vmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_p \end{vmatrix}$ – вектор-столбец расходов потоков в ребрах графа, кг/с;

$\vec{H} = \begin{vmatrix} H_1 \\ H_2 \\ \dots \\ H_p \end{vmatrix}$ – вектор-столбец действующих давлений нагнетателей, установленных на участках гидравлической сети, Па;

S, X, S` и $\vec{H}$` – диагональные и одностолбцовая матрицы:

Таблица 2

Исходные данные

Параметры S_i, 1/кг*м H_i, Па	Варианты задания																				
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
S_1	16	9	4	9	16	4	16	4	16	9	9	36	25	25	25	16	36	4	16	4	16
S_2	9	16	9	9	9	16	16	4	9	16	4	25	16	36	16	36	9	9	25	16	9
S_3	25	36	9	16	4	9	9	4	25	36	16	4	49	49	9	9	16	16	49	9	25
S_4	4	25	25	16	16	16	9	9	16	25	36	16	25	9	36	25	16	36	25	25	25
S_5	9	9	36	4	25	25	25	16	4	4	25	9	36	16	49	16	25	25	16	16	16
H_1	25	16	16	0	0	4	36	36	36	25	9	9	5	25	16	9	16	16	25	25	11
H_2	0	0	0	0	4	0	25	0	25	16	16	18	20	25	16	7	27	9	0	0	8
H_3	0	25	0	0	25	9	0	0	0	0	20	7	16	11	9	18	9	0	0	16	18
H_4	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4
H_5	0	0	36	25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10

$$S=\begin{bmatrix} S_1 0 \dots\dots 0 \\ 0 S_2 \dots\dots\dots 0 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ 0 \dots\dots\dots\dots S_p \end{bmatrix};\ X=\begin{bmatrix} X_1 0 \dots\dots\dots 0 \\ 0 X_2 \dots\dots\dots 0 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ 0 \dots\dots\dots\dots X_p \end{bmatrix};\ \grave{S}=\begin{bmatrix} \sqrt{S_1} 0 \dots\dots\dots 0 \\ 0 \sqrt{S_2} \dots\dots\dots 0 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ 0 \dots\dots\dots\dots \sqrt{S_p} \end{bmatrix}\ \grave{H}=\begin{bmatrix} \sqrt{H_1} \\ \sqrt{H_2} \\ \dots \\ \sqrt{H_p} \end{bmatrix}.$$

Представление системы (2) в развернутом виде и ее решение каким-либо из известных методов решения систем линейных алгебраических уравнений (например, Гаусса или Крамера) дает численное значение вектор-столбца расходов потоков в ребрах графа

$$\vec{x}=\begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_p \end{bmatrix} \tag{3}$$

Из опыта решения задач потокораспределения известно, что вектор (3) примерно в два раза меньше искомого решения задачи потокораспределения. Поэтому в качестве нулевого приближения для пошагового решения системы (1) модифицированным методом Ньютона предлагается принять удвоенное значение найденного решения (3) системы (2):

$$\vec{x}^{(0)}=\begin{bmatrix} 2x_1 \\ 2x_2 \\ \dots \\ 2x_p \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} x_1^{(0)} \\ x_2^{(0)} \\ \dots \\ x_p^{(0)} \end{bmatrix} \tag{4}$$

Теперь исходную систему матричных уравнений (1), отражающую гидравлические аналоги законов Кирхгофа для электроцепей, надо представить в развернутом виде. Для этого перемножить матрицы, стоящие в левых и правых частях уравнений. Значения матриц инциденций (А) и циклов (В) принять по результатам примера выполнения лабораторной работы 1. Получим нелинейную систему из *p* независимых уравнений (по числу ребер графа сети), решение которой надо уточнить методом Ньютона.

Рассмотрим решение в общем виде. Задана система нелинейных уравнений:

$$\left.\begin{array}{l} f_1(x_1,x_2,\dots x_p)=0, \\ f_2(x_1,x_2,\dots x_p)=0, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ f_p(x_1,x_2,\dots x_p)=0 \end{array}\right\} \tag{5}$$

и начальное (нулевое) приближение (4) корней системы (5) - $x_1^{(0)}, x_2^{(0)}, \ldots, x_p^{(0)}$. Требуется уточнить решение с точностью

$$\begin{aligned} &\left|x_1^k - x_1^{k-1}\right| \le \delta; \\ &\left|x_2^k - x_2^{k-1}\right| \le \delta; \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &\left|x_p^k - x_p^{k-1}\right| \le \delta; \end{aligned} \qquad (6)$$

где δ – предварительно заданная величина;

x_i^k – k-е приближение i-го корня системы (5).

Процесс уточнения значений корней системы методом Ньютона заключается в последовательном вычислении их приближений по алгоритму

$$\begin{aligned} &\vec{x}^{(1)} = \vec{x}^{(0)} - W_{x^{(0)}}^{-1} * \vec{f}(\vec{x}^{(0)}) \\ &\vec{x}^{(2)} = \vec{x}^{(1)} - W_{x^{(1)}}^{-1} * \vec{f}(\vec{x}^{(1)}) \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \\ &\vec{x}^{(k)} = \vec{x}^{(k-1)} - W_{x^{(k)}}^{-1} * \vec{f}(\vec{x}^{(k)}) \\ &\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \end{aligned}$$

вплоть до выполнения условия (6), проверяемого на каждом шаге вычислений. Здесь

$$W_{x^{(k)}} = \begin{bmatrix} f`_{1X_1} & f`_{1X_2} & \ldots\ldots & f`_{1X_p} \\ f`_{2X_1} & f`_{2X_2} & \ldots\ldots & f`_{2X_p} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ f`_{pX_1} & f`_{pX_2} & \ldots\ldots & f`_{pX_p} \end{bmatrix}$$ – матрица значений частных производных

функций f_i, относительно переменных $x_1, x_2, \ldots, x_p$, вычисленных при k-х приближениях переменных;

$$\vec{f}(\vec{x}^{(k)}) = \begin{bmatrix} f_1(\vec{x}^{(k)}) \\ f_2(\vec{x}^{(k)}) \\ \ldots \\ f_p(\vec{x}^{(k)}) \end{bmatrix}$$ – вектор-столбец, состоящий из численных значений

функций f_i , стоящих в левых частях уравнений системы (5), определенных при k-х приближениях корней системы.

В лабораторной работе предлагается выполнить только один шаг для уточнения значений начальных приближений расходов потоков в ребрах графа гидравлической сети методом Ньютона.

Ниже приведены основные этапы выполнения данной лабораторной работы для варианта задания 0 в табл. 2. Значения матриц инциденций (A) и циклов (B) приняты по результатам примера выполнения лабораторной работы 1.

1. Представление линеаризированной системы (2) в развернутом виде.

$$\left.\begin{array}{l}
\begin{bmatrix} -1 & & & & 1 \\ 1 & -1 & -1 & & \\ & 1 & & -1 & \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = 0 \\[2ex]
\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & & \\ 1 & & & 1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \sqrt{25} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & & \\ 1 & & & 1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} \sqrt{16} & & & & \\ & \sqrt{9} & & & \\ & & \sqrt{25} & & \\ & & & \sqrt{4} & \\ & & & & \sqrt{9} \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix}
\end{array}\right\} \quad (7)$$

2. Преобразование системы (7) после перемножения матриц, стоящих в левых и правых частях уравнений.

$$\left.\begin{array}{r}
x_5 - x_1 = 0 \\
x_1 - x_2 - x_3 = 0 \\
x_2 - x_4 = 0 \\
4x_1 + 5x_3 + 3x_5 - 5 = 0 \\
4x_1 + 2x_4 + 3x_5 - 5 = 0
\end{array}\right\} \quad (8)$$

3. Решение системы (8) и получение начального (нулевого) приближения корней исходной системы матричных уравнений (1).

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,59 \\ 0,43 \\ 0,17 \\ 0,43 \\ 0,59 \end{bmatrix}; \qquad \vec{x}^{(0)} = \begin{bmatrix} x_1^{(0)} \\ x_2^{(0)} \\ x_3^{(0)} \\ x_4^{(0)} \\ x_5^{(0)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2x_1 \\ 2x_2 \\ 2x_3 \\ 2x_4 \\ 2x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1,18 \\ 0,86 \\ 0,34 \\ 0,86 \\ 1,18 \end{bmatrix}. \quad (9)$$

4. Представление исходной системы матричных уравнений (1) в развернутом виде.

$$
\left\{
\begin{aligned}
&\begin{bmatrix} -1 & & & & 1 \\ 1 & -1 & -1 & & \\ & 1 & & -1 & \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \end{bmatrix} \\
&\begin{bmatrix} 1 & & 1 & & 1 \\ 1 & & & 1 & 1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 25 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & & 1 & & 1 \\ 1 & & & 1 & 1 \\ & & & & \\ & & & & \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 16 & & & & \\ & 9 & & & \\ & & 25 & & \\ & & & 4 & \\ & & & & 9 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 & & & & \\ & x_2 & & & \\ & & x_3 & & \\ & & & x_4 & \\ & & & & x_5 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{bmatrix}
\end{aligned}
\right. \qquad (10)
$$

5. Преобразование системы (10) после перемножения матриц в левых и правых частях уравнений.

$$
\left.
\begin{aligned}
x_5 - x_1 &= 0 \\
x_1 - x_2 - x_3 &= 0 \\
x_2 - x_4 &= 0 \\
16x_1^2 + 25x_3^2 + 9x_5^2 - 25 &= 0 \\
16x_1^2 + 4x_4^2 + 9x_5^2 - 25 &= 0
\end{aligned}
\right\} \qquad (11)
$$

6. Вычисление вектор-столбца функций f_i, равных левым частям уравнений системы (11) при начальном приближении вектор-корня $\vec{x}^{(0)}$ (9).

$$
\vec{f}(\vec{x}^{(0)}) = \begin{bmatrix} x_5 - x_1 \\ x_1 - x_2 - x_3 \\ x_2 - x_4 \\ 16x_1^2 + 25x_3^2 + 9x_5^2 - 25 \\ 16x_1^2 + 4x_4^2 + 9x_5^2 - 25 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 12{,}88 \\ 13{,}09 \end{bmatrix}
$$

.

7. Вычисление частных производных функций f_i по каждому аргументу и составление матрицы $W_{\vec{x}}$.

$$
W_{\vec{x}} = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 16x_1 & 0 & 25x_3 & 0 & 9x_5 \\ 16x_1 & 0 & 0 & 4x_4 & 9x_5 \end{bmatrix}
$$

8. Вычисление матрицы W_x при начальном приближении корней $x^{(0)}$ по (9).

$W_x^{(0)}$ =

-1	0	0	0	1
1	-1	-1	0	0
0	1	0	-1	0
18,98	0	8,25	0	10,67
18,98	0	0	3,42	10,67

9. Обращение матрицы $W_x^{(0)}$. Операция выполняется на ЭВМ с использованием прикладной программы пакетов Maplesoft Maple или Mathcad.

$W_{x^{(0)}}^{-1} =$

-0,333	0,075	0,075	0,009	0,022
-0,235	-0,654	0,346	-0,079	0,101
-0,098	-0,271	-0,271	0,088	-0,079
-0298	-0,654	-0,654	-0,079	0,101
0,667	-0,075	0,075	0,009	0,022

10. Уточнение начального приближения значений расходов потоков в ребрах графа гидравлической сети.

$$x^{(1)} = \begin{bmatrix} x_1^{(1)} \\ x_2^{(1)} \\ x_3^{(1)} \\ x_4^{(1)} \\ x_5^{(1)} \end{bmatrix} =$$

1,18		-0,333	0,075	0,075	0,009	0,022	
0,86		-0,235	-0,654	0,346	-0,079	0,101	
0,32	-	-0,098	-0,271	-0,271	0,088	-0,079	*
0,86		-0298	-0,654	-0,654	-0,079	0,101	
1,18		0,667	-0,075	0,075	0,009	0,022	

0		0,78
0		0,56
0	=	0,22
12,88		0,56
13,09		0,78

1. Гинцбург Э.Я. Расчет отопительно-вентиляционных систем с помощью ЭВМ / Э.Я. Гинцбург. М.: Стройиздат, 1979. 84 с.
2. Вырлан П.М. Численные методы расчета систем теплогазоснабжения и вентиляции / П.М. Вырлан. Кишинев: КПИ им. С. Лазо, 1987. 78 с.
3. Вержбицкий В.М. Основы численных методов : учебник для вузов / В.М. Вержбицкий. М.: Высшая школа, 2005. 848 с.

Учебное издание

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА СИСТЕМ ТЕПЛОГАЗОСНАБЖЕНИЯ И ВЕНТИЛЯЦИИ

Составитель **Ушаков** Михаил Григорьевич

Редактор *И.В. Коршунова*

Подписано в печать 05.03.2009 Формат 60 х 84 1/16
Бумага писчая Плоская печать Усл. печ. л. 0,93
Уч.-изд. л. 0,83 Тираж 100 экз. Заказ

Редакционно – издательский отдел УГТУ-УПИ
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19
rio @ mail. ugtu. ru
Ризография НИЧ УГТУ-УПИ
620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19