American Journal of Engineering Research (AJER)
e-ISSN: 2320-0847 p-ISSN : 2320-0936
Volume-11, Issue-10, pp-53-58
www.ajer.org
Research Paper Open Access

Creation of software for automatic construction and solution of a complex model of temperature change in a closed system.

Gasimov G.G., Yusifli S.S.
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, assosiatiive professor
Azerbaijan State Oil and Industry University, Baku, master student
Corresponding Author: ***Gasimov G.G.***

Abstract*: First, mathematical models of individual elements involved in this complex system are built. The model includes various types of connections between elements, the problem is solved by the network and direct methods. The construction of mathematical models of elements that can be launched into the network (taking into account automation elements) and bringing them to a discrete form has been worked out. An approach to reducing the task size is also proposed.*

Keywords: *boundary conditions, hiperbolic equation, difference schemes, network method, direct method*

Date of Submission: 07-10-2022 Date of acceptance: 23-10-2022

Введение. Рассмотрим процесс тепловлагообмена, происходящий в системе конкретного замкнутого аппарата, изображенного на рис. 1.
Пусть данная сеть заполнена теплоносителем (жидкостью, газом, воз-духом и т. д.), и состоит

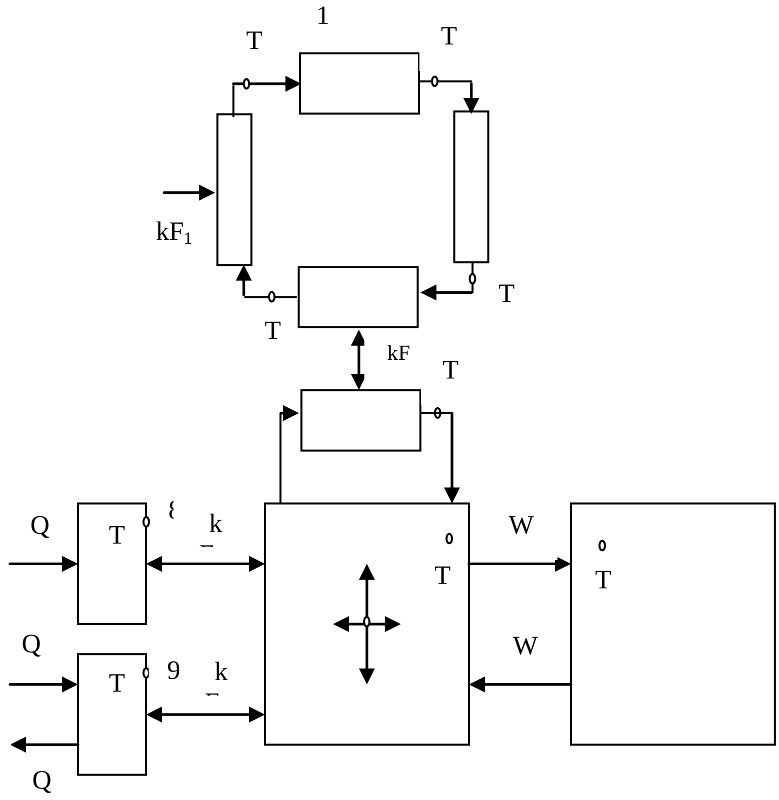

Рис.1.Теп
ловй сеть

из линий тока, элементов конструкции и объемов. В набор элементов сети могут войти так же элементы автоматики: клапаны, регуляторы, смесители – разделители, датчики и др. Элементы сети находятся в конвективной, кондуктивной и лучистой связях и процесс теплообмена происходит путем подачи тепловых возмущений извне на отдельные элементы сети.

Основными элементами тепловой схемы являются:

- теплообменные агрегаты (жидкостно-жидкостные и газо-жидкостные теплообменники, холодильно-сушильные агрегаты, змеевики термостатирования, радиационные теплообменники, змеевики непосредственного охлаждения или подогрева агрегата);
- соединительные трубопроводы и воздуховоды;
- элементы конструкции;
- регуляторы расхода теплоносителя;
- арматура (клапаны) и люки;
- жидкостные и воздушные нагреватели, электронагреватели;
- элементы приборно-агрегатного оборудования (датчики и элементы автоматики)
- смесители-разделители.

Рассматриваемый аппарат, в котором происходит процесс теплообмена, задается в виде сети, приведенной на рис. 1

Для описания процессов, происходящих в таких сетях, вводом следующих понятий:

1. линия тока–это теплопроводы определенной длины, в которых происходит направленной движении жидкости, газа или другого теплоносителя (жидкостно-жидкостные и радиационные теплообменники, змеевики термостатирования или непосредственного охлаждения или подогрева, соединительные трубопроводы, холодильно-сушительные агрегаты);
2. объем – это замкнутое помещение определенного размера, в котором происходит перемещение тепло-влагоносителей, либо направлено по линии тока, либо хаотически. В объемах могут находится источники тепла;
3. элементы конструкции – это совокупность элементов аппарата, с которыми имеется тепловое взаимодействие теплоносителя в данном объеме;
4. регулятор – это клапан с приводом, который имеет непосредственный контакт с линией тока и служит для регулирования потока теплоносителя в линии тока;
5. датчик – предназначен для измерения температуры в определенных точках контура;
6. смеситель-разделитель, который может работать в режиме смесителя или разделителя.

Процесс теплообмена в данной сети происходит путем подачи тепловых возмущений извне на отдельные элементы. Температура объектов терморегулирования определяется, либо исходя из их непосредственного теплового контакта, либо исходя из того, что этот контакт обеспечивается через определенную промежуточную тепловую связь.

Тепловые нагрузки от элементов, находящихся в тепловом контакте с теплоносителями зависят от температуры теплоносителя в объеме.

Сеть состоит из совокупности контуров, связанных между собой. Каждый контур может содержать несколько ветвей. Под ветвью понимается последовательность объемов теплоносителя, не содержащая смесителей-разделителей. Ветвь характеризуется одинаковым расходом по всей длине.

Комплексную математическую модель процессов тепловлагообмена в подобных сетях рассмотрены в работе [2,3,4] и представляет собой обобщенные уравнения тепловлагообмена системы обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнений в частных производных и алгебраических уравнений (если в сети задействованы элементы автоматики), решения которых связаны с определенными трудностями.

В данной работе рассматривается подход, позволяющий выбрать устойчивые разностные схемы аппроксимации систем дифференциальных уравнений, значительно уменьшить размерность задачи, что даст возмож-ность решать задачу с помощью компьютеров, потратив разумное количество машинного времени, что очень важно если решение нужно получить в реальном масштабе времени, а также разработанный алгоритм для полной автоматизации процесса построение дискретного варианта построенной комплексной математической модели процесса тепловлагообмена в сложных замкнутых аппаратах.

Идейная сторона данного подхода системы в расчленении объекта на элементы, математические модели процессов которых относительно просты и легко формируемы на уровне входа – выхода.

Постановка задачи

Рассмотрим математические модели процесса тепловлагообмена для отдельных элементов данной сети на рис.1.

1. Математическая модель процесса теплообмена в k - ой линии тока имеет вид:

$$C_k\rho_k\left(\frac{\partial T_k}{\partial t}+U_k\frac{\partial T_k}{\partial V_k}\right)=q_k \qquad (1)$$

при начальных и граничных условиях:

$$\begin{aligned}&T_k(V_k,0)=C,\ \ (C=const)\\&T_k(0,t)=T_{k-1}(L_{k-1},t)\end{aligned} \qquad (2)$$

где

$$q_k=\frac{Q_k}{L_k\dfrac{V_k}{U_k}},\qquad 0\le|V_k|\le L_k \qquad (3)$$

q_k - теплоподвод в единицу времени на единицу объема теплоносителя; U_k - скорость потока теплоносителя;

$C_{k,}\rho_k$ - соответственно плотность и теплоемкость теплоносителя;

T_k - температура k - го элемента.

2. Математическая модель процессов теплообмена в объемах описывается в следующем виде:

$$C_k\rho_kV_k\frac{dT_k}{dt}=C_k\rho_k\left[\sum_{j_{вх}}\left(U_{j_{вх}}T_k-T_k\sum_{j_{вых}}U_{j_{вых}}\right)\right]+\sum_jQ_j+\sum_kQ_k \qquad (4)$$

с начальным условием:

$$T_k(t)\big|_{t=0}=C,\qquad (C=const) \qquad (5)$$

где

$$Q_k=\sum_{l=1}^{2}F_{l,k}(T_l-T_k) \qquad (6)$$

3. Уравнение, описывающее изменение теплосодержания элемента конструкции или приборно–агрегатного оборудования, имеет следующий вид:

$$C_k\frac{dT_k}{dt}=F_{l,k}(T_k-T_l)+\sum_lQ_l+\sum_kQ_k$$

(7)

с начальным условием:

$$T_k(t)\big|_{t=0}=C,\qquad (C=const)$$

(8)

где C_k и T_k - соответственно температура и теплоемкость k - го элемента;

T_l - температура l - го элемента, находящегося в тепловом контакте с k - тым элементом;

$F_{l,k}$ - параметр теплопередачи от теплоносителя к элементу, находящемуся в контакте с теплоносителем;

Q_k - тепло, переданное элементу от смежных элементов или окружающей среды;

Q_l - внутреннее тепловыделение элемента.

Решения задача

Для решения системы (1)-(9) нами использован метод прямых и метод сеток.

Введем равномерную сетку по $V:\Omega_k=\left\{V_j=jh,\ j=\overline{0,N},\ h=\frac{1}{N}\right\}$, а по переменной t:

$$\Omega_\tau=\{t_i=il,\ i=0,1,...\} \qquad (9)$$

На $\Omega = \Omega_h \times \Omega_\tau$, применив явную схему метода сеток к уравнениям (1)-(3) и построив итерационную процедуру по методу Эйлера, получим конечно-разностную систему уравнений:

$$\frac{T_{i,j+1}^k - T_{i,j}^k}{l} + U_k \frac{T_{i+1,j}^k - T_{i,j}^k}{h} = F\left(t, C_k, \rho_k, V_k, T^k, T^{k-1}, F_k, Q_k\right) \tag{10}$$

$$T_{i+1,j}^k = T_{i,j}^k + lF\left(t, C_k, \rho_k, V_k, T^k, T^{k-1}, F_k, Q_k\right) - U_k \frac{T_{i,j+1}^k - T_{i,j}^k}{h} \tag{11}$$

При этом начальные и граничные условия будут определены следующим образом:

$$\begin{aligned} &T_{i-1,0}^k = C, \ (C = const), \qquad i = 1, 2, \ldots \\ &T_{0,j}^k = T_{M,k,} \ (i = \overline{1, M}_k, \ j = 1, 2, \ldots), \ \ 0 \le \left|V_{k-1}\right| \le L_{k-1} \end{aligned} \tag{12}$$

где

$$F\left(t, C_k, \rho_k, V_k, T^k, T^{k-1}, F_k, Q_k\right) = \frac{Q_k}{C_k \rho_k} \frac{U_k}{L_k V_k}.$$

Аппроксимируя дифференциальные уравнения (4) – (6) получим:

$$\frac{T_{i+1}^k - T_i^k}{l} = F_1\left(t, C_k, \rho_k, V_k, T_i^k, T_i^{k-1}, F_k, Q_k\right)$$

(13)

$$T_{i+1}^k = T_i^k + lF_1\left(t, C_k, \rho_k, V_k, T_i^k, T_i^{k-1}, F_k, Q_k\right)$$

(14)

а начальные условия будут иметь вид:

$$T_i^k(t)\big|_{t=0} = C, \ \ (C = const)$$

(15)

где

$$F_1\left(t, C_k, \rho_k, V_k, T_i^k, T_i^{k-1}, F_k, Q_k\right) =$$

$$= V_k^{-1}\left[\sum_{j\hat{a}\tilde{o}}\left(U_{j\hat{a}\tilde{o}} T_k - T_k \sum_{j\hat{a}\hat{u}\tilde{o}} U_{j\hat{a}\hat{u}\tilde{o}}\right) + V_k^{-1}\left(\sum_j Q_j + \sum_k Q_k\right)\right]$$

Аппроксимируя уравнения (7) – (8) получим:

$$T_{i+1}^k(t+l) = T_i^k(t) + lF_2\left(t, C_k, V_k, T_i^k, T_i^{k-1}, F_k, Q_k\right)$$

(16)

и начальные условия

$$T_i^k(t)\big|_{t=0} = C, \ \ (C = const)$$

где

$$F_2\left(t, C_k, V_k, T_i^k, T_i^{k-1}, F_k, Q_k\right) = F_{l,k}\left(T_k - T_l\right) + \sum_l Q_l + \sum_k Q_k$$

(17)

Таким образом, в результате аппроксимации получаем комплексную конечно-разностную систему линейных алгебраических уравнений.

(10), (12), (13), (14) или итерационную процедуру по методу Эйлера (11), (12), (14). Решение поставленной задачи получается реализацией именно итерационной процедуры (8), (9), (11), (15), (19), (20).

Теперь сделаем анализ тепловлагообменной сети и полученных моделей процессов тепловлагообмена уравнений (1)-(9), с целью уменьшения размерности задачи.

Система конечно-разностных уравнений (13), (15) была получена из математических моделей линий тока (1), (2) применением явной схемы (левый уголок) аппроксимации производной по t по объему V. Эта схема удовлетворяет критерию устойчивости по Куранту, если

$$U_k \frac{l}{h} \le 1 \tag{18}$$

где U_k - есть скорость потока по ветвям. Из (18) следует, что временно-пространственные и пространственные координаты сильно зависимы $\left(l \le h \dfrac{1}{U_k} \right)$ и при большом численном значении потока U_k, значение шага l по времени следует брать достаточно малым.

Это приводит к тому, что в такой постановке задача практически не реализуема, т. к. мелкий шаг l приводит к тому, что размерность задачи (количество уравнений в системе (10), (12)) сильно увеличивается.
Однако, проанализировав тепловую сеть, можно добиться значительного уменьшения размерности задачи, при той же явной схеме аппроксимации $\dfrac{\partial T}{\partial V}$ и при сохранении устойчивости по Куранту.
Для этой цели предлагается следующее:
1) Если в сети есть элементы типа «линии тока», длины которых сравнительно малы и скорость теплоносителя достаточно велика, тогда эти элементы можно рассматривать, как точки. Это означает, что вместо уравнений в частных производных, описывающих теплообмен, надо рассматривать обыкновенные дифференциальные уравнения, и при этом по физическому смыслу теплоноситель выходит из линии тока, не изменяя свою температуру. Это приводит к тому, что количество систем уравнений намного уменьшится.
2) Если в сети существуют линии тока, на которые внешние тепловые воздействия отсутствуют, то их можно принять за точку, или вовсе не рассматривать, или считать частью смежной линии тока, которое имеется внешнее воздействие. Например, сеть указанную на рис.1, можно уподобить сети на рис.3. При таком подходе появляется возможность укрупнить шаги и по времени и по объему.

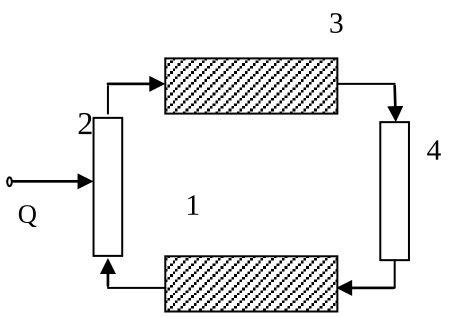

Рис.3. Сеть

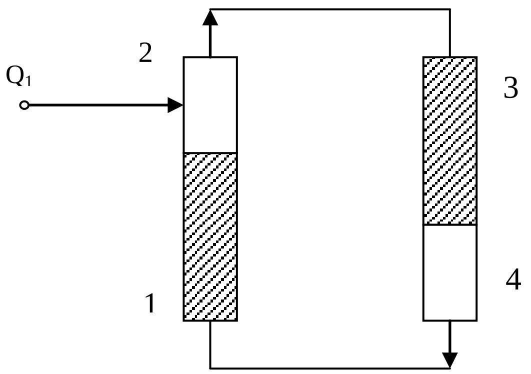

Рис. 4. Сеть

Таким образом, при таком подходе размерность задачи уменьшается почти на половину, так как шаг по координате удается увеличить в три раза.
Действительно, пусть сеть состоит из пяти линий тока (рис.2). После объединения элементов, данная сеть приводится к виду, как на рис.3.
Чтобы можно было выбирать шаг по времени независимо от шага по объему, нами была рассмотрена и неявная схема аппроксимации $(^{*\ *}_{*})$, (левый уголок), которая абсолютно устойчива.
Несмотря на такое преимущество, неявную схему применять в данной задаче не очень выгодно.

Заключение

Данная методика применяется для тех сетей, которые замкнуты, но не имеют разветвленности в каждом контуре. Разветвление в основном бывает там, где находится смеситель-разделитель и клапаны. В одном контуре может быть несколько подконтуров.

Разработан алгоритм для автоматизации построения дискретных аналогов математических моделей (1)-(9). При этом необходимо знание начальных значений температур каждого элемента, собственных конструктивных размеров элементов сети, значений коэффициентов теплопередачи между элементами, значение объемных расходов и др. На основе этих данных строятся таблицы связей, которые и являются основной информационной базой для автоматической генерации конечно-разностных схем для моделей (1)-(9).

Для учета различных тепловых и влажностных связей в комплексной математической модели, в алгоритме предусмотрена специальная система кодировки, которая позволяет идентифицировать типы элементов и их взаимное расположение (смежность между собой).

Данная методика применена для решения конкретной практической задачи связанная с расчетом тепловых и влажностных полей в специальных замкнутых аппаратах больших размерностей.

ЛИТЕРАТУРА

[1]. Молоземов В.В. Тепловой режим космических аппаратов.- М.: Машиностроение,1980,230 с.

[2]. Мирсалимов В.М., Касумов К.Г., Новрузбеков И.Г. Об одном подходе к численному решению задач теплообмена. Вопросы разрушения и оптимизации деформируемых сред (тематический сборник научных трудов), Б-1989, с. 3-9.

[3]. Новрузбеков И.Г., Касумов К.Г. Исследование систем обеспечения теплового режима, Известия АН Аз. ССР, 1987-№3, с.99-104.

[4]. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамика жидкости. – М.: Энергоиздат, 1984.