



Алгоритмы построения матриц контуров трасс трубопроводных сетей методом теории графов

Б. Э. Юлдашев*¹, Р. И. Хуррамова*²

¹ Ташкентский педиатрический медицинский институт, Узбекистан, 100140, г. Ташкент, ул. Богишамол, 223.

² Ташкентский университет информационных технологий имени Аль-Хорезми, Узбекистан, 100084, г. Ташкент, пр. Амира Темура, 108.

Аннотация. Использование средств информационных технологий и уровня автоматизации процессов управления значительно повышают роль технического прогресса и решают поставленные задачи Республикой Узбекистан по обеспечению целевым продуктом населению. Вместе с тем возможности современных компьютерных систем и развитие математических методов моделирования используются далеко не полностью из-за неформализации многих задач, а также несовершенства или отсутствия ряда алгоритмов, обеспечивающих возможность произвести анализ функционирования объекта, обработать поступающую информацию и принять соответствующие решения по оптимальному управлению многосвязных систем. В связи с этим разработка и исследование компьютерных моделей, вычислительных алгоритмов и на их основе создание объектно-ориентированных программных средств в этом направлении представляется актуальной проблемой дальнейшего развития автоматизации научных исследований для различных предметных областей, в частности трубопроводных систем. Всякая реальная энергетическая сеть, в том числе и газовая, по своей топологической структуре эквивалентна некоторому графу. Провести расчет и анализ несогласованности исходной информации сетей с более одним кольцом затруднительно. В этих случаях необходимо обратиться к законам Кирхгофа и соответствующим замыкающим соотношениям. Тем не менее, топология сети отличается разнообразием, чему свидетельствуют, в частности, схемы городских сетей теплоснабжения. В таких условиях основная тяжесть гидравлического или экономического расчета должна концентрироваться на стадии формирования топологии сети, для чего используются теории графов. В данной статье рассматриваются алгоритмы построения и оптимизации функционирования газопроводных многоконтурных сетей методом теории графов и программное обеспечение для оптимального управления, анализа и синтеза трубопроводных систем. Таким образом, разработанные вычислительные алгоритмы и компьютерная программа расчета можно применять для оптимизации функционирования газопроводных сетей, когда сеть имеет сложную лучистую и многокольцевую структуру.

Ключевые слова: математическая модель, газопровод, многоконтурная сеть, алгоритм, трубопроводные системы, газопотребление, транспорт газа, газ, численный метод, графы, программа

Получение: 28.06.2022; Исправление: 20.09.2022; Принятие: 18.03.2023; Публикация онлайн: 16.04.2023

Для цитирования. Юлдашев Б.Э., Хуррамова Р.И. Алгоритмы построения матриц контуров трасс трубопроводных сетей методом теории графов // Вестник КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. 2023. Т. 42. № 1. С. 207-222. EDN: CLQYCV. <https://doi.org/10.26117/2079-6641-2023-42-1-207-222>.

Финансирование. Исследование выполнялось без финансирования.

Конкурирующие интересы. Конфликтов интересов в отношении авторства и публикации нет.

Авторский вклад и ответственность. Авторы участвовали в написании статьи и полностью несут ответственность за предоставление окончательной версии статьи в печать.

*Корреспонденция: ✉ E-mail: baxrom@rambler.ru, rano.huramova@mail.ru

Контент публикуется на условиях Creative Commons Attribution 4.0 International License

© Юлдашев Б. Э., Хуррамова Р. И., 2023

© ИКИР ДВО РАН, 2023 (оригинал-макет, дизайн, составление)





Algorithms for Constructing Matrixes of Routes of Pipeline Networks by Using the Method of Graph Theory

B. E. Yuldashev^{*1}, *R. I. Khurramova*^{*2}

¹ Tashkent Pediatric Medical Institute, Uzbekistan, 100140, Tashkent, Bagishmol str., 223

² Tashkent University of Information Technologies named after Al-Khwarizmi, Uzbekistan, 100084, Tashkent, Amir Temur av., 108.

Abstract. The use of information technology tools and the level of automation of management processes significantly increase the role of technical progress and solve the tasks set by the Republic of Uzbekistan to provide the population with the target product. At the same time, the capabilities of modern computer systems and the development of mathematical modeling methods are far from being fully used due to the informalization of many tasks, as well as the imperfection or absence of a number of algorithms that make it possible to analyze the functioning of an object, process incoming information and make appropriate decisions on the optimal control of multiply connected systems. In this regard, the development and research of computer models, computational algorithms and, on their basis, the creation of object-oriented software in this direction seems to be an urgent problem for the further development of automation of scientific research for various subject areas, in particular pipeline systems. Any real energy network, including a gas network, is equivalent in its topological structure to a certain graph. It is difficult to calculate and analyze the inconsistency of the initial information of networks with more than one ring. In these cases, it is necessary to turn to Kirchhoff's laws and the corresponding closing relations. However, the network topology is diverse, as evidenced, in particular, by the schemes of urban heating networks. In such conditions, the main burden of hydraulic or economic calculation should be concentrated on the stage of network topology formation, for which graph theories are used. This article discusses algorithms for constructing and optimizing the functioning of gas pipeline multiloop networks using the graph theory method and software for optimal control, analysis and synthesis of pipeline systems. Thus, the developed computational algorithms and a computer calculation program can be used to optimize the operation of gas pipeline networks when the network has a complex radiant and multi-ring structure.

Key words: mathematical model, gas pipeline, multi-circuit network, algorithm, pipeline systems, gas consumption, gas transport, gas, numerical method, graphs, program.

Received: 28.06.2022; Revised: 20.09.2022; Accepted: 18.03.2023; First online: 16.04.2023

For citation. Yuldashev B. E., Khurramova R. I. Algorithms for constructing matrixes of routes of pipeline networks by using the method of graph theory. *Vestnik KRAUNC. Fiz.-mat. nauki.* 2023, 42: 1, 207-222. EDN: CLQYCB. <https://doi.org/10.26117/2079-6641-2023-42-1-207-222>.

Funding. Not applicable.

Competing interests. There are no conflicts of interest regarding authorship and publication.

Contribution and Responsibility. All authors contributed to this article. Authors are solely responsible for providing the final version of the article in print. The final version of the manuscript was approved by all authors.

***Correspondence:**  E-mail: baxrom@rambler.ru, rano.hurramova@mail.ru

The content is published under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International License

© Yuldashev B. E., Khurramova R. I., 2023

© Institute of Cosmophysical Research and Radio Wave Propagation, 2023 (original layout, design, compilation)



Введение

Технический прогресс в различных областях народного хозяйства Республики Узбекистан в значительной мере зависит от степени использования средств автоматизации, информационных технологий и уровня автоматизации процессов управления. Вместе с тем возможности современных компьютерных систем и развитие математических методов моделирования используются далеко не полностью из-за неформализации многих задач, а также несовершенства или отсутствия ряда алгоритмов, обеспечивающих возможность произвести анализ функционирования объекта, обработать поступающую информацию и принять соответствующие решения по оптимальному управлению многосвязных систем. В связи с этим разработка и исследование компьютерных моделей, вычислительных алгоритмов и на их основе создание объектно-ориентированных программных средств в этом направлении представляется актуальной проблемой дальнейшего развития автоматизации научных исследований для различных предметных областей, в частности трубопроводных систем.

Всякая реальная энергетическая сеть, в том числе и газовая, по своей топологической структуре эквивалентна некоторому графу. Провести расчет и анализ несогласованности исходной информации сетей с более одним кольцом затруднительно. В этих случаях необходимо обратиться к законам Кирхгофа и соответствующим замыкающим соотношениям. Тем не менее, топология сети отличается разнообразием, чему свидетельствуют, в частности, схемы городских сетей теплоснабжения Казахстана и Российской Федерации [1, 3, 4].

Метод решения образующейся системы смешанных (линейных и квадратных) уравнений может быть единой, но каждая из сетей, отличается количеством источников воды, узлов нагрева (котельных, ТЭЦ), количеством подключенных потребителей и объемом их потребления и другими. Аналогичная картина наблюдается также для сетей газоснабжения.

В таких условиях основная тяжесть гидравлического или экономического расчета должна концентрироваться на стадии формирования топологии сети, для чего используются теории графов. Притом, при минимальной исходной информации о сети, необходимо выработать максимальную конечную информацию, требуемых в процессе гидравлического или экономического расчета сети.

В настоящее время широко применяются топологические матрицы, описывающие графовую модель инженерных, в частности трубопроводных сетей. Математические постановки и модели задач, связанных с проектированием, анализом и оптимизацией трубопроводных сетей (ТС) описываются с помощью указанных матриц. Однако, построение и различные операции над ними, а также подготовка для этого необходимой информации встречают серьезные трудности, связанные с большой размерностью и структурной особенностью матриц. В связи с этим большое значение приобретает создание средств автоматизации этих процессов.

В данной работе приводятся описания и тексты алгоритмов машинного построения матриц. Предложен новый подход к моделированию оптимальных газораспределительных систем, основанный на применении теории графов.

Постановка задачи

Пусть G – циклический граф трубопроводной сети (ТС), M – выбранное в нём $MД$, а A_{cr} и A_{tr} – соответствующие им известные матрицы. Кроме того, в G определено множество фундаментальных контуров $ФК$ следующим образом:

а1. Прибавим к M n -ю хорду (вспомним, что хорды нумерованы числами $n, n+1, \dots, m$) и присвоим образовавшемуся в результате этого контуру номер n ;

а2. Повторяем а1 для $n+1, n+2, \dots, m$ -ой хорды. Результатом этого процесса будет множество фундаментальных контуров ($ФК$). Очевидно, каждый $ФК$ содержит только одну хорду по отношению M , направление которой принимается за положительное направление данного фундаментального контура ($ФК$).

Матрица множества $ФК$ выражается через A_{cr} и OA_{tr} в следующем виде $Vf = [Vf_t, E] = [-A'_{cr} \times OA'_{tr}, E]$, где A'_{cr} и OA'_{tr} – транспонированные матрицы для A_{cr} и OA_{tr} , размерностей $k \times (n-1)$ и $n-1$; E – единичная матрица размерности k ; Vf, Vf_t – матрица $ФК$ и её подматрица, соответствующая дугам M , размерностей $k \times m$ и $k \times (n-1)$.

Матрица Vf , будучи эквивалентная матрице V , обладает следующими преимуществами перед V , обуславливающими эффективность её применения: во-первых, для построения Vf не нужна информация, содержащаяся в строках $K1$ и $K2$ табл. 1; во-вторых, нет необходимости определить всю матрицу и хранить в памяти ЭВМ, а достаточно лишь иметь её первую часть

$$Vf = -A'_{cr} \times OA'_{tr}.$$

Алгоритмы построения

Алгоритм построения фундаментальных контуров, основан на этой зависимости.

Присвоение нулей элементам Vf .

S1. Выполнить S2 для $i = 1, 2, \dots, k$ и $j = 1, 2, \dots, m$.

S2. Положить $Vf(i, j) = 0$ и $i = 0$.

S3. Положить $i = i + 1$ и $j = 0$.

S4. Положить $j = j + 1$ и $ij = 0$.

S5. Положить $ij = ij + 1$. В операции умножения матриц OA'_{tr} и A'_c участвуют только элементы, отличные от нуля.

S6. Если $OA_{tr}(ij, j) \neq 0$ и $A(n+1i-1, ij) \neq 0$, то выполнить $Vf(i, j) = Vf(i, j) - A(n+1i-1, ij) \times OA_{tr}(ij, j)$, в противном случае перейти к S7.

S7. Если $ij < n-1$, то идти к S5 иначе к S8.

S8. Если $j < n-1$, то идти к S4 иначе к S9. Дополнение матрицы Vf_t матрицей E .

S9. Положить $Vf(i, n + i - 1) = 1$. Проверка на окончание алгоритма – переход с одной строки на другую матрицы A'_c .

S10. Если $j < k$, то идти к S3 иначе к S11.

S11. Конец.

Матрица Vf построена.

Нами установлена зависимость между матрицами T и OA_{tr} . Нетрудно видеть, что если выделить из OA_{tr} те столбцы, которые соответствуют конечным вершинам U_1, U_2, \dots, U_L рассматриваемого графа G , транспонировать и поменять знаки их элементов на противоположные, то получим матрицу T . Это осуществляется двумя способами. Первый способ. Все конечные вершины (кроме базисной) нумеруются числами $1, 2, \dots, L$, а остальные вершины – в произвольном порядке. Тогда получается матрица OA_{tr} следующей структуры $OA_{tr} = [OA_{tr1}, OA_{tr2}]$, откуда получим, что $T = -OA'_{tr1}$.

Второй способ. Нумерация вершин произведена в произвольном порядке как в общем случае. Известны матрицы A и OA_{tr} . Используем A для определения конечных вершин. Просматривая построчную матрицу A определяем те строки, для которых $abs\left(\sum_{j=1}^m a_{ij}\right) = mk_i$, где mk_i – число отличных от нуля элементов i -ой строки A ($1, 2, \dots, n - 1$). Эти строки соответствуют конечным вершинам U_1, U_2, \dots, U_L . Затем выделив из OA_{tr} столбцы с номерами U_1, U_2, \dots, U_L , транспонировав и поменяв знаки их элементов на противоположные, находим T . Ниже приводимый алгоритм основан на втором способе.

Примечание. Матрица T , получена с помощью модифицированного алгоритма, имеет размерность $L \times (n - 1)$, а не $L \times m$, что имело место при применении общего алгоритма. Кроме того, номера трасс определяются номерами строк T , т.е., первой трассой принимается та, которая соединяет вершины n и U_1 ; второй трассой принимается та, которая соединяет n и U_2 и т.д.

Представим модифицированный алгоритм построения матрицы трасс. Присвоение нулей элементам T .

S1. Выполнить S2 для $i = 1, 2, \dots, L$ и $j = 1, 2, \dots, n - 1$.

S2. Положить $T(i, j) = 0$.

S3. Положить $L = 0$, $i = 0$.

S4. Положить $j = 0$; $i = i + 1$; $mk = 0$; $LS = 0$. mk – число отличных от нуля элементов i -ой строки матрицы A , а LS – алгебраическая сумма тех же элементов. Начало поиска конечных вершин G с использованием A .

S5. Положить $j = j + 1$. Начало просмотра i -ой строки A .

S6. Если $A(i, j) \neq 0$, то идти к S7 иначе к S8.

S7. Положить $LS = LS + A(i, j)$; $mk = mk + 1$. Проверка на окончание просмотра i -ой строки A .

S8. Если $j \leq m - 1$, то идти к S5 иначе идти к S9.

S9. Если $abs(LS) = mk$, то идти к S10 иначе идти к S13. Перенумерация конечных вершин, т.е. переход от множества U_1, U_2, \dots, U_L к множеству $1, 2, \dots, L$.

S10. Положить $L = L + 1$. Выделение столбцов OA_{tr} , соответствующих конечным вершинам G и образование матрицы T .

S11. Выполнить S12 для $ij = 1, 2, \dots, n - 1$.

S12. Положить $T(L, ij) = -OA_{tr}(ij, i)$. Проверка на окончание алгоритма

S13. Если $i < n - 1$, то идти к S4 иначе к S14.

S14. Конец.

Матрица построена.

Пример

Для иллюстрации способа и процесса подготовки исходной информации, а также формы получаемых результатов применения алгоритмов рассмотрим пример. Пусть граф, изображённый на рис. 1, описывает рассматриваемую ТС.

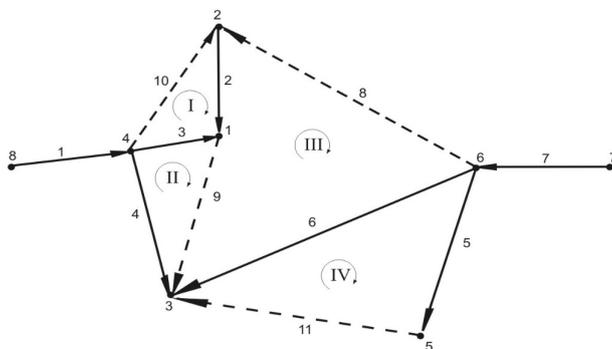


Рис. 1. Графическое представление ТС
 [Figure 1. Graphical representation of pipe networks]

Сплошными линиями указаны дуги МД, а пунктирными – хорды. В графе: $m = 11$, $n = 8$, $k = 4$, два источника с номерами 7 и 8 – конечные; четыре базисных контура образующихся множествами дуг $\{2,3,10\}$, $\{3,4,9\}$, $\{2,6,8,9\}$ и $\{5,6,11\}$; две трассы, образующихся множествами дуг $\{1,4\}$ и $\{1,4,6,7\}$.

Таблица 1

Информация о рассматриваемом графе
 [Information about the graph in question]

| № дуги | Дуги МД (вершины G) | Хорды |
|--------|---------------------|-----------|
| | 1 2 3 4 5 6 7 | 8 9 10 11 |
| M1 | 8 2 4 4 6 6 7 | 6 1 4 5 |
| M2 | 4 1 1 3 5 3 6 | 2 3 2 3 |
| M3 | 4 1 4 8 6 3 6 | |
| K1 | 0 1 2 0 4 3 0 | 0 2 1 4 |
| K2 | 0 3 1 2 0 4 0 | 3 3 0 0 |

Для рассматриваемого примера с помощью вышеприведённых алгоритмов получены результаты в следующих формах:

$$A = [A_t, A_c] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \end{matrix} & \left| \begin{matrix} 0 & 1 & 0 & 0 \end{matrix} \right. & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \\ 8 \end{matrix} \end{matrix}$$

$$B = [B_t, B_c] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 & 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \end{matrix} & \left| \begin{matrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{matrix} \right. & \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \end{matrix}$$

Алгоритмы 3 и 2 дают одинаковый результат

$$T = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} & \left| \begin{matrix} 1 \\ 2 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

Обратная матрица OA_{tr} для усечённой по 8-ой строке матрицы A_{tr} и имеет вид

$$OA_{tr} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 \end{matrix} \\ \begin{matrix} -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 & -1 \end{matrix} & \left| \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \\ 6 \\ 7 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

На рис. 2 изображён тот же самый граф, в котором показано множество фундаментальных контуров, построенное самой ЭВМ в соответствии с выбранным МД. Фундаментальные контуры построены из следующих множеств дуг {2,3,4,6,8}, {3,4,9}, {2,3,10} и {5,6,11}.

Полученная матрица ФК имеет вид

$$B = [Bf_t, E] = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 & 7 & 8 & 9 & 10 & 11 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 0 & 1 & -1 & 1 & 0 & -1 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \end{matrix} & \left| \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \end{matrix} \right. \end{matrix}$$

1. В области ламинарного режима течения при $Re < 2000$ – по формуле Стокса

$$\lambda = \frac{64}{Re};$$

2. При критическом режиме течения, соответствующий $2000 < Re < 4000$, по формуле Зайченко

$$\lambda = 0,0025 \sqrt[3]{Re};$$

3. При турбулентных режимах течения, когда $Re > 4000$, формулу

$$\lambda = 0,11 \left(\frac{k}{d} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25},$$

где k – эквивалентная шероховатость живого сечения газопровода.

При необходимости уточнения данных в турбулентных режимах течения можно использовать обобщенную формулу Лейбензона [7].

Число Рейнольдса Re , использованное при вычислении коэффициента λ , определяется в виде

$$Re = \frac{wd}{\nu} = \frac{4M}{\pi \mu d},$$

где ν, μ – кинематическая и динамическая вязкость транспортируемого газа; w – массовый расход газа, который остается постоянным при переменном давлении.

Согласие сортамента трубы с расчетным диаметром осуществляется, если полученный при расчете диаметр $d < d$, то d нужно округлить до меньшего стандартного диаметра, а если $d > d$, то до большего стандартного диаметра. При $d = d$ лучше округлять до большего стандартного диаметра. На рис. 3 даны величины для стандартных диаметров сети низкого давления, используемых в практике проектирования [5].

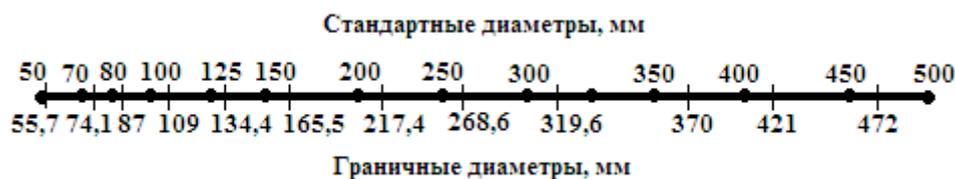


Рис. 3. Номограмма для округления диаметров газопроводов низкого давления до стандартных

[Figure 3. Nomogram for rounding the diameters of low pressure gas pipelines to standard]

При известных участковых показателях гидравлические потери на участке находят, таким образом, по одночленной формуле [2]

$$\Delta P_i = k \frac{Q_i^\alpha}{d^\beta} l_i \quad (1)$$

где показатели степеней α и β зависят от режима течения газа и эквивалентной шероховатости труб. При этом потери давления имеют вид

$$\Delta P_i = P_{iH} - P_{iK} \quad (2)$$

для сети низкого давления и

$$\Delta P_i = P_{iH}^2 - P_{iK}^2 \quad (3)$$

для сети высокого и среднего давления.

В целом формулы (2) и (3), а также, учитывая другие режимы течения [8] потери давления можно принять в виде

$$\Delta P_i = P_{iH}^\gamma - P_{iK}^\gamma.$$

При расчете разветвлённой (в том числе и лучистой) сети каждый участок имеет две неизвестные: диаметра d_i и потери давления на участке. Если число тупиковых участков составляет r , то количество неизвестных составляет $2r$, которые включены в r уравнений (1). Чтобы обеспечить заданный одинаковый перепад давления Δ в каждой нише из i участков, которые начинаются от точки питания и кончаются в тупиковой точке, требуется выполнение

$$\sum_{i=1}^k \Delta P_i - \Delta P_p = 0 \quad (4)$$

Если таких точек k , то уравнения типа (4) составляется в количестве k . В этом уравнение Δ_i имеет вид (2) или (3). Положим, что в точках питания и отбора давления заданы. Тогда однозначность решения систем (1), (2) и (4) обеспечивается тем, что из группы (4) включают в систему только те уравнения, в которых не фигурирует известное узловое давление. К решению задачи относительно давления налагается единственное требование, уменьшение узловых давлений по направлению движения газа. При расчете кольцевой сети нельзя налагать такое условие, поскольку можно наметить бесконечное множество вариантов потокораспределения [2]. Это обусловлено тем, что, в отличие от распределенной сети, в кольцевой сети неизвестными являются также участковые расходы Q_i , то есть каждый участок кольцевой сети характеризуется тремя неизвестными.

Применение первого закона Кирхгофа с учетом участковых ($Q_{i,j}$) расходов и интенсивности отбора и/или подкачки (Q_i) [2]

$$\sum Q_{i,j} + Q_j = 0$$

для каждого j -го узла составит первую группу $m - 1$ уравнений (m – количество узлов в графе сети, чтобы исключить линейную зависимость между уравнениями убрали одно уравнение).

Согласно второму закону Кирхгофа в каждом фундаментальном контуре алгебраическая сумма перепадов давления на участках контура должна равняться нулю

$$\sum_{\text{по контуру}} \Delta P_i = 0.$$

Количество таких зависимостей равняется n – количеству фундаментальных контуров.

Привлечение двух законов Кирхгофа дает всего r уравнений, т.е. по количеству участков в сети. К ним присовокупим (2) и (3) (всего r уравнений). Если учесть k уравнений типа (4), то, все равно, не достает $r - k$ уравнений, чтобы оптимизировать диаметры. Отсюда вытекает, что найти экономически оптимального решения задачи с учетом диаметров трубопровода кольцевой сети не представляются возможным [2]. В связи с этим диаметры предлагается подбирать диаметры по среднему удельному падению давления Δ_i/l_i , которое дает близкое к оптимальному решению задачи.

При известных значениях диаметров участок в задаче получается замкнутой: количество неизвестных равно количеству уравнений. Напомним, что осуществляется более двумя узлами, то из группы уравнений первого закона Кирхгофа удаляются не одно в соответствие количество узлов уравнений.

Таким образом, для автоматизации научных исследований по проектированию и управлению ТС, как средство по оптимальному выбору топологии трубопроводных сетей составлена в виде программного обеспечения под названием «Graf» (рис.4).

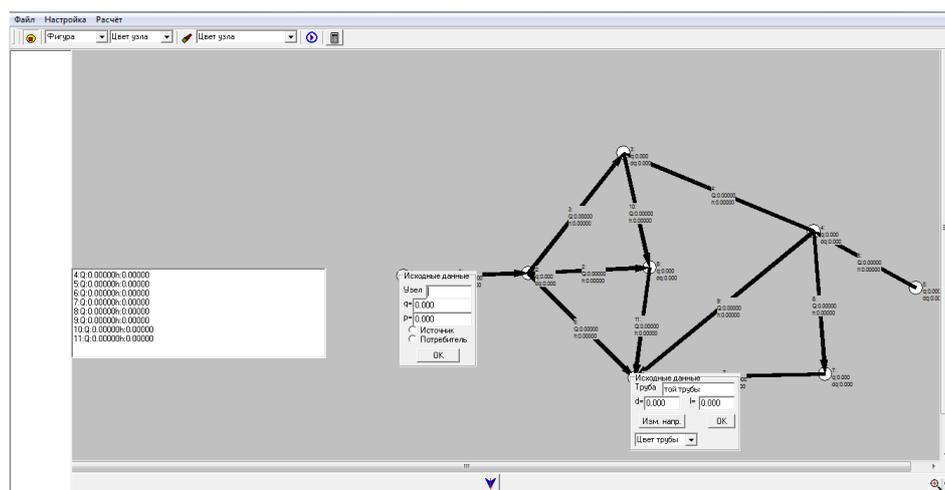


Рис. 4. Окно построения избыточной газопроводной сети
[Figure 4. Window for constructing a redundant gas pipeline network]

В процессе создания программы сначала описываются все объекты вместе с присущими им свойствами и характеристиками. Затем задаются процедуры и функции, детально описывающие все возможные операции над объектами из области внешних взаимодействий с окружающей средой, а также внутренние взаимодействия объектов друг с другом.

Задавая впоследствии конкретные значения каждому из свойств полученных объектов, создаем описание реальной газовой сети. Объекты в ней будут взаимосвязаны друг с другом, а разработанные для них методы позволяют произвести требуемую обработку сети при заданных входных информациях.

Предложенные идеи и концепции легли в основу разработанной системы по автоматизации проектирования и управления ТС.

Как правило, выбор схемы сетей выполняется приблизительно. Неравномерность распределения нагрузок, удельный вес нагрузки каждого потребителя учитывается только интуитивно.

В результате, качество выбора схемы сетей зависит от опытности проектировщика и в сложных случаях вполне возможны и другие решения, которые могут отличаться от оптимальных.

Задача ставится таким образом, чтобы в исходной избыточной схеме выделять оптимальную подсеть в форме дерева, отвечающую наивыгоднейшей трассировке разветвленной сети [9].

Программа представляет собой систему, по которой все операции расчета проектируемых газовых сетей выполняются в определенной последовательности непрерывно по одной первоначальной информации с выдачей как промежуточных, так и конечных результатов.

Поскольку избыточная схема соответствует многоконтурной неплоской сети, нахождение ее наилучшего дерева отвечает решению задачи о наивыгоднейшем потокораспределении. Под таким деревом понимается ориентированный граф без циклов.

Исходными данными для задачи являются:

1. места расположения источников и потребителей;
2. нагрузки потребителей и производительности источников;
3. соединяющая их избыточная схема, задаваемая проектировщиком;
4. все необходимые технико-экономические характеристики сети (рис.5);

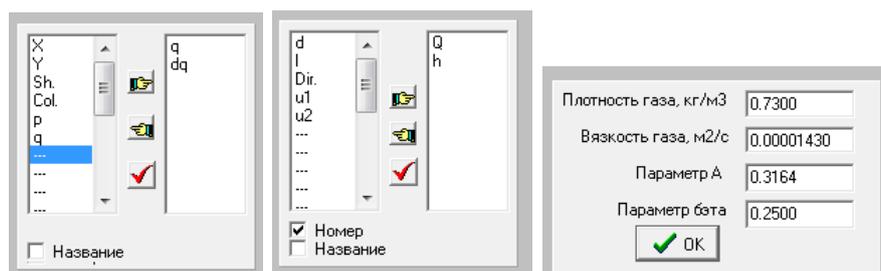


Рис. 5. Техничко-экономические характеристики газовой сети (метки узлов, труб и соответствующие коэффициенты)

[Figure 5. Technical and economic characteristics of the gas network (labels of nodes, pipes and corresponding coefficients)]

Программный продукт, составленный на основе предложенной концептуальной модели и алгоритма, засвидетельствован Агентством по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан.

Результаты расчетов

В качестве примера рассмотрена газораспределительная сеть поселка "Геолог" областного управления "Самаркандгаз"[10].

Таблица 2

Технологические данные ГРС поселка "Геолог"
[Technological data of the gas distribution network of the settlement "Geolog"]

| Начал. узел | Конеч. узел | Длина, м | Диаметр, мм | Начал. узел | Конеч. узел | Длина, м | Диаметр, мм |
|-------------|-------------|----------|-------------|-------------|-------------|----------|-------------|
| 1 | 2 | 20 | 50 | 12 | 14 | 85 | 50 |
| 1 | 7 | 65 | 80 | 12 | 16 | 65 | 50 |
| 2 | 3 | 35 | 50 | 14 | 15 | 45 | 50 |
| 2 | 4 | 55 | 50 | 16 | 17 | 60 | 50 |
| 4 | 5 | 20 | 50 | 16 | 18 | 40 | 50 |
| 4 | 6 | 45 | 50 | 19 | 1 | 5 | 80 |
| 7 | 8 | 120 | 50 | 19 | 20 | 70 | 50 |
| 7 | 9 | 55 | 70 | 20 | 21 | 60 | 50 |
| 9 | 10 | 30 | 50 | 20 | 25 | 25 | 50 |
| 9 | 11 | 30 | 50 | 21 | 22 | 45 | 50 |
| 9 | 12 | 60 | 70 | 21 | 24 | 50 | 50 |
| 12 | 13 | 60 | 50 | 22 | 23 | 60 | 50 |

Использованные в расчетах следующие производственные технико-технологические данные представлены в табл. 2 [6]. Начальное давление на входе в газораспределительную сеть принимали равным 300 мм вод. столбца.

Таблица 3

Технологические данные ГРС поселка "Геолог" полученные на основе вычислительного эксперимента

[Technological data gas distribution network of the village "Geologist obtained on the basis of a computational experiment]

| Начал. узел | Конеч. узел | Давление, мм вод.ст. | Рас. газа, м ³ /час | Начал. узел | Конеч. узел | Давление, мм вод.ст. | Рас. газа, м ³ /час |
|-------------|-------------|----------------------|--------------------------------|-------------|-------------|----------------------|--------------------------------|
| 1 | 2 | 293,6 | 144,9 | 12 | 14 | 276,3 | 103,4 |
| 1 | 7 | 294,9 | 152,4 | 12 | 16 | 283,8 | 112,4 |
| 2 | 3 | 290,3 | 128,4 | 14 | 15 | 274,8 | 92,7 |
| 2 | 4 | 285,5 | 119,0 | 16 | 17 | 280,3 | 95,4 |
| 4 | 5 | 283,0 | 104,7 | 16 | 18 | 282,3 | 101,1 |
| 4 | 6 | 283,0 | 104,7 | 19 | 1 | 295,0 | 155,7 |
| 7 | 8 | 244,3 | 90,0 | 19 | 20 | 277,2 | 117,8 |
| 7 | 9 | 294,5 | 147,1 | 20 | 21 | 272,8 | 99,2 |
| 9 | 10 | 292,0 | 132,56 | 20 | 25 | 276,4 | 110,1 |
| 9 | 11 | 292,0 | 132,5 | 21 | 22 | 271,5 | 89,3 |
| 9 | 12 | 294,2 | 141,6 | 21 | 24 | 271,2 | 88,2 |
| 12 | 13 | 285,4 | 114,7 | 22 | 23 | 270,0 | 78,6 |

Полученные методом наискорейшего спуска результаты расчетов по показателям давления и оптимальным значениям расхода газа по участкам сети представлены в табл. 3.

Таблица 4

Результат расчета для ламинарного режима по участкам
[The result of the calculation for the laminar regime by sections]

| № участка | Направление потока | | Диаметр участка трубопровода | Расход газа по участкам | Расчетный перепад давлений |
|-----------|--------------------|------|------------------------------|-------------------------|----------------------------|
| | Нач. | Кон. | | | |
| 1 | 1 | 2 | 50 | 144,9 | 0,0005586738341184 |
| 2 | 1 | 7 | 50 | 152,4 | 0,0019096697725248 |
| 3 | 2 | 3 | 50 | 128,4 | 0,0008663492789952 |
| 4 | 2 | 4 | 50 | 119 | 0,001261739214736 |
| 5 | 4 | 5 | 50 | 104,7 | 0,0004036794370752 |
| 6 | 4 | 6 | 50 | 104,7 | 0,0009082787334192 |
| 7 | 7 | 8 | 50 | 90 | 0,00208201428864 |
| 8 | 7 | 9 | 50 | 147,1 | 0,0015596793150224 |
| 9 | 9 | 10 | 50 | 132,56 | 0,00076664392806144 |
| 10 | 9 | 11 | 50 | 132,5 | 0,00076629692568 |
| 11 | 9 | 12 | 50 | 141,6 | 0,0016378512403968 |
| 12 | 12 | 13 | 50 | 114,7 | 0,0013267057717056 |
| 13 | 12 | 14 | 50 | 103 | 0,0016943355169312 |
| 14 | 12 | 16 | 50 | 112,4 | 0,0014084441104448 |
| 15 | 14 | 15 | 50 | 92,4 | 0,0008041780189872 |
| 16 | 16 | 17 | 50 | 95,4 | 0,0011034675729792 |
| 17 | 16 | 18 | 50 | 101,1 | 0,0007795986836352 |
| 22 | 21 | 22 | 50 | 89,3 | 0,0007746828165648 |
| 23 | 21 | 24 | 50 | 88,2 | 0,000850155834528 |
| 24 | 22 | 23 | 50 | 78,6 | 0,0009091462393728 |
| Итого | | | | 2756,46 | |

Технологические данные ГРС поселка "Геолог" полученные на основе вычислительного эксперимента с помощью программы «Graf» представлены в табл. 4.

Расчетный перепад давлений полученных результатов в среднем равен $1,0292 \cdot 10^{-3}$, что, несомненно, позволяет судить о практической приемлемости данной методики. Анализ табл. 4 показывает о минимальных потерях газа на участках сети и соответственно об экономии его расхода. При этом за счет оптимизации и требуемого уровня надежности системы достигнута экономия определенных материальных ресурсов, в том числе экономия суточного и годового расхода газа.

Заключение

Таким образом, разработанные вычислительный алгоритм и программу расчета можно применять для оптимизации функционирования газопроводных сетей и в других малонаселенных пунктах, когда сеть имеет сложную лучистую и многокольцевую структуру.

Список литературы

1. Акбасов А. Р. *Разработка интеллектуальной системы управления тепловыми сетями города*, Дис. соиск. степени док. PhD. Казахский нац.тех. универ. им. К. И. Сатпаева: Алма-аты, 2011. 110 с.
2. Ионин А. А. *Газоснабжение*, Учеб. для ВУЗов. М.: Стройиздат, 1989. 438 с.
3. Меренков А. П., Хаселев В. Я. *Теория гидравлических цепей*. М.: Наука, 1985. 278 с.
4. Сеннова Е. В., Сидлер В. Г. *Математическое моделирование и оптимизация развивающихся теплоснабжающих систем*. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1987.. 222 с.
5. Смирнов В. А., Герчиков С. В. *Применение современной вычислительной техники в городском газоснабжении*. М.: Изд-во литературы по строительству, 1970. 170 с.
6. Ходжаев Ш. Т. *Модели, алгоритмы функционирования и оперативного управления объектами газоснабжения (на примере Самаркандской области)*, Дисс... канд. техн. наук. Ташкент: Институт математики и информационных технологий АН РУз, 2012. 165 с.
7. Хужаев И. К., Юлдашев Б. Э., Куканова М. А. Гидравлический расчёт кольцевого газопровода при наличии участка с равномерным путевым отбором, *Красноярск: Наука Красноярья*, 2012. № 3(03), С. 39-47.
8. Юлдашев Б. Э. Создание компьютерной модели для гидравлического расчета кольцевой сети газопроводов с одним узлом подвода, *Научно-практический журнал «Отраслевые аспекты технических наук»*, 2012. № 3(15), С. 37-40.
9. Садуллаев Р., Юлдашев Б. Э. Построение алгоритма трассировки и информационного обеспечения трубопроводных систем, *Алгоритмы, методы и системы обработки данных*, 2005. № 10, С. 110-118.
10. Юлдашев Б. Э. Создание компьютерной модели для оптимизации функционирования газопроводных сетей со сложной лучистой и многокольцевой структурами *Журнал «Газовая промышленность»*, 2014. № 8(710), С. 86-90.

Информация об авторах



Юлдашев Бахром Эргашевич ✉ – доцент кафедры «Биофизика, медицинская информатика, Ташкентский педиатрический медицинский институт, г. Ташкент, Республика Узбекистан,  ORCID: 0000-0001-6682-1520.



Хуррамова Рано Ибрагимовна ✉ – кандидат технических наук, доцент кафедры, Национальный университет Узбекистана имени Мирзо Улугбека, г. Ташкент, Узбекистан,  ORCID: 0000-0003-4563-6638.

References

- [1] Akbasov A. R. Razrabotka intellektual'noy sistemy upravleniya teplovymi setyami goroda [Development of an intelligent control system for thermal networks of the city], Dis. soisk. stepeni dok. PhD. Kazakhskiy nats. tekhn. univer. im. K.I.Satpayeva. Alma-aty, 2011 110 (In Russian).
- [2] Ionin A. A. Gazosnabzheniye [Gas supply], Ucheb. dlya VUZov, Moscow, Stroyizdat, 1989, 438 (In Russian).
- [3] Merenkov A. P., Khaselev V. YA. Teoriya gidravlicheskiykh tsepey [Theory of hydraulic circuits], Moscow, Nauka, 1985, 278 (In Russian).
- [4] Sennova Ye. V., Sidler V. G. Matematicheskoye modelirovaniye i optimizatsiya razvivayushchikhsya teplosnabzhayushchikh sistem [Mathematical modeling and optimization of developing heat supply systems], Novosibirsk, Nauka. Sib. otd-niye, 1987, 222 (In Russian).
- [5] Smirnov V. A., Gerchikov S. V. Primeneniye sovremennoy vychislitel'noy tekhniki v gorodskom gazosnabzhenii [Application of modern computer technology in urban gas supply], Moscow, Izd-vo literatury po stroitel'stvu, 1970, 170 (In Russian).
- [6] Khodzhayev Sh. T. Modeli, algoritmy funktsionirovaniya i operativnogo upravleniya ob'yektami gazosnabzheniya (na primere Samarkandskoy oblasti) [Models, algorithms for the functioning and operational management of gas supply facilities (on the example of the Samarkand region)] Diss... kand. tekhn. nauk, Tashkent, Institut matematiki i informatsionnykh tekhnologiy AN RUz, 2012, 165 (In Russian).
- [7] Khuzhayev I. K., Yuldashev B. E., Kukanova M. A. Gidravlicheskiy raschot kol'tsevogo gazoprovoda pri nalichii uchastka s ravnomernym putevym otborom, Krasnoyarsk: Nauka Krasnoyarsk, 2012, 3(03), 39-47. (In Russian).
- [8] Yuldashev B. E. Sozdaniye komp'yuternoy modeli dlya gidravlicheskogo rascheta kol'tsevoy seti gazoprovodov s odnim uzlom podvoda, Nauchno-prakticheskiy zhurnal «Otraslevyye aspekty tekhnicheskikh nauk», 2012, 3(15), 37-40 (In Russian).
- [9] Sadullayev R., Yuldashev B. E. Postroyeniye algoritma trassirovki i informatsionnogo obespecheniya truboprovodnykh sistem, Algoritmy, metody i sistemy obrabotki dannykh, 2005, 10, 110-118 (In Russian).
- [10] Yuldashev B. E. Sozdaniye komp'yuternoy modeli dlya optimizatsii funktsionirovaniya gazoprovodnykh setey so slozhnoy luchistoy i mnogokol'tsevoy strukturami, Zhurnal «Gazovaya promyshlennost'», 2014, 8(710), 86-90 (In Russian).

Information about authors



Yuldashev Bahrom Ergashevich ✉ – Associate Professor of the Department of Biophysics, Medical Informatics, Tashkent Pediatric Medical Institute, Tashkent, Republic of Uzbekistan,  ORCID: 0000-0001-6682-1520.



Khurramova Rano Ibragimovna ✉ – Ph.D. (Tech.), Associate Professor, National University of Uzbekistan named after Mirzo Ulugbek, Tashkent, Uzbekistan,  ORCID: 0000-0003-4563-6638.