

УДК 697.34

Н. В. ДОЛГОВ, Д. В. ВЫБОРНОВ, З. В. УДОВИЧЕНКО

ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО
ИСТОЧНИКА ТЕПЛА С ГЕЛИОКОЛЛЕКТОРОМ ДЛЯ СИСТЕМЫ
ГОРЯЧЕГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

Аннотация. Проведен анализ исследований ведущих ученых с целью определения рациональной методики построения моделей изменения нагрузки систем горячего водоснабжения в течение суток для различных видов потребителей тепловой энергии, в частности для потребителей жилых и общественных зданий. Предложена принципиальная схема горячего водоснабжения с комбинированным источником теплоты на базе гелиоколлектора. Для исследования потокораспределения в предложенной схеме использовался метод контурных расходов (МКР) – аналог известного метода контурных токов для расчета линейных электрических цепей в сочетании с методом Ньютона для решения системы нелинейных алгебраических уравнений. На основании предложенной схемы была разработана орг-граф схема распределения потоков с указанием направления их движения, участков и узлов. Разработана математическая модель потокораспределения контурных расходов в предложенной схеме ГВС с комбинированным источником теплоты, позволяющая определить степень открытия и пределы регулирования балансировочной и регулирующей арматуры в разных режимах работы солнечного коллектора. Использование результатов математического моделирования предложенной схемы дает возможность экономно расходовать теплоноситель, получать более комфортные параметры микроклимата в обслуживаемых помещениях, а также снизить время отклика системы на регулирование того или иного параметра.

Ключевые слова: горячее водоснабжение, комбинированный источник теплоты, гелиоколлектор, потокораспределение, метод контурных расходов, микроклимат.

ФОРМУЛИРОВКА ПРОБЛЕМЫ

На сегодняшний день широкое распространение как среди специалистов строительного профиля, так и среди широких слоев населения получили идеи улучшения изоляционных свойств тепловой оболочки зданий и характеристик внутренних и внешних инженерных сетей. Кроме того, продолжается интенсивная разработка новых строительных норм и стандартов, что на законодательном уровне будет способствовать углублению идей энергоэффективности в проектировании конструктивных и инженерных систем зданий и сооружений по европейскому образцу.

Использование ископаемых источников энергии, представленных в виде газа и нефти, приводит к загрязнению окружающей среды. Решением данной проблемы является задействование высокотехнологичных инновационных решений, которые бы использовали безграничные запасы энергии, находящиеся вокруг нас. Это такие виды энергии, как солнечная, геотермальная и вся энергия окружающей среды.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Научной базой для проведения исследований являются работы В. Н. Богословского, Л. Банхиди, Ф. А. Миссенара, Л. В. Павлухина, Л. А. Гвозденко, Ф. Шлейфмана, В. А. Хасилев, А. П. Меренкова, А. Г. Батухина и других ученых.

ЦЕЛИ

Разработка математической модели комбинированного источника тепла для системы горячего водоснабжения.

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для построения моделей изменения нагрузки систем горячего водоснабжения (ГВС) в течение суток для различных видов потребителей тепловой энергии можно воспользоваться методикой [1, 2]. При этом исходным при рассмотрении работы потребителя тепла по нагрузке ГВС необходимо принять разделение потребителей на две категории: жилые и административные здания. Общий вид графика нагрузки ГВС для зданий в течение суток представлен на рисунках 1–2.

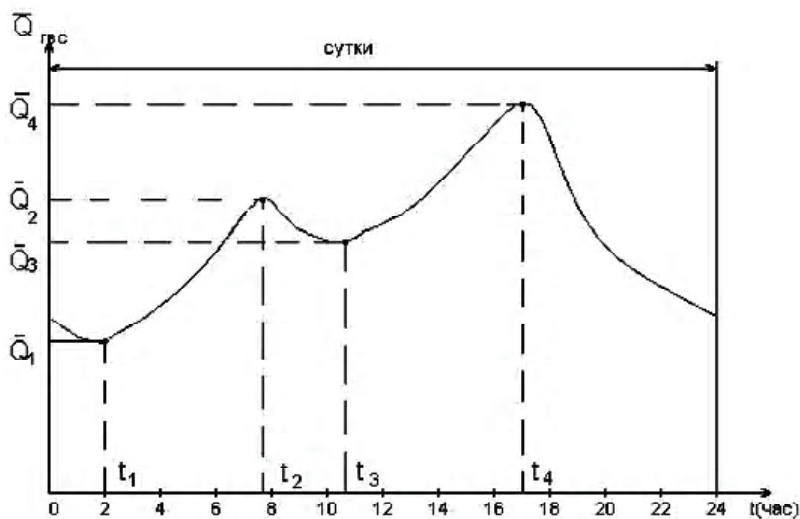


Рисунок 1 – Суточный график нагрузки ГВС жилых зданий [1].

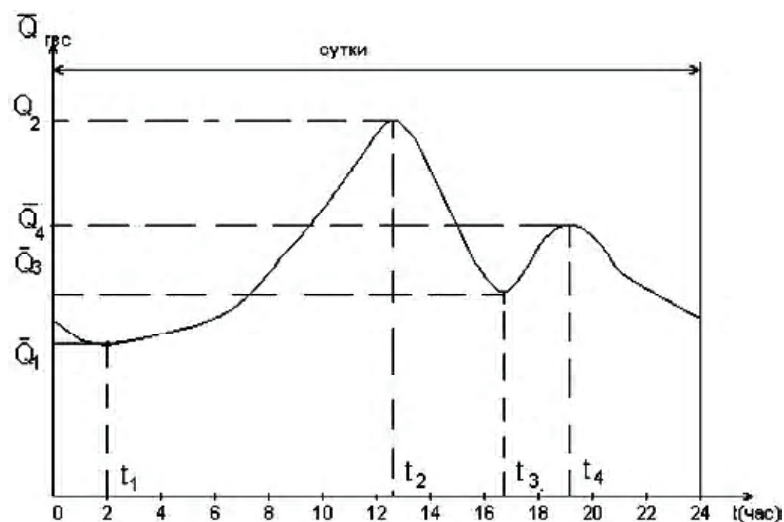


Рисунок 2 – Суточный график нагрузки ГВС административных зданий [2].

Исследование работы системы ГВС производится с целью определения режима стабильной работы насосов, балансировочной, термостатической арматуры и др.

Для схемы системы ГВС с установившимся режимом течения воды имеет место зависимость линейно независимых контуров

$$m - 1 + b = d, \tag{1}$$

где d – произвольное количество участков системы ГВС;
 b – линейно независимые контуры системы ГВС;
 m – узлы системы ГВС.

Будем считать, что для каждой ветви $i = (i, j + 1)$, где j и $j + 1$ ее начальный и конечный узлы, задан закон гидравлического сопротивления, связывающий общую потерю давления на трение, перепад. На каждом участке действует закон квадратичного гидравлического сопротивления

$$X_i + H_i = \mathbf{X}_i S_i^2, \quad (2)$$

где X_i – потеря давления на i -м участке;
 H_i – активный напор на i -м участке;
 \mathbf{X}_i – гидравлическое сопротивление участка на i -м участке;
 S_i – расход воды на i -м участке.

Однако о расходе S_i необходимо судить в зависимости от направления потока на участке и характерного сопротивления. В работах академика В. Я. Хасилева [3–6] вводятся векторные обозначения и диагональные матрицы \vec{X} , \mathbf{S} , \vec{H} , \mathbf{A} и \mathbf{B} , тогда система ГВС в целом описывает уравнение, относящееся к каждому участку ($i = 1, \dots, n$) [6]

$$\vec{S} + \vec{H} = \mathbf{S} \cdot \mathbf{X} \cdot \vec{S}, \quad (3)$$

где \vec{S} – вектор искомых потерь давления на участке;
 \vec{H} – вектор известных перепадов давления, создаваемых циркуляционными, смесительными насосами на участках схемы ГВС;
 \mathbf{X} – диагональная матрица характеристик гидравлического сопротивления всех участков системы ГВС от ($i = 1$) до ($i = n$);
 \mathbf{S} – диагональная матрица расходов воды всех участков системы ГВС от ($i = 1$) до ($i = n$);
 \vec{S} – вектор расходов воды на искомым участках системы ГВС.

При расчете потокораспределения должно выполняться два «сетевых» закона Кирхгофа. В первом законе в каждом узле j будет соблюдаться математический баланс

$$\sum_j S_j = G_j, \quad j = 1, \dots, m, \quad (4)$$

где $\sum_j S_j$ – алгебраическая сумма по всем участкам, имеющая общий узел j . Если в узле j потребляется вода, то $S_j > 0$, источник теплоты $S_j < 0$, если это разветвление $S_j = 0$.

Для системы ГВС должны быть заданы значения S_j таким образом, чтобы имел место их общий нулевой баланс по всем узлам m

$$\sum_{j=1}^m S_j = 0; \quad S_m = -\sum_{j=1}^{m-1} S_j. \quad (5)$$

С использованием матрицы соединений \mathbf{A} , которая однозначно отображает топологию схемы системы ГВС, фиксируя соединение всех ее d – участков и ($m - 1$) линейно независимых узлов, балансы уравнения (4) для всей системы запишем в виде

$$\mathbf{A} \vec{S} = \vec{S}_{yp}, \quad (6)$$

где \vec{S}_{yp} – вектор узловых расходов в отдельных узлах системы ГВС.

Второй закон Кирхгофа требует нулевого суммарного изменения потерь давления Δp_i для любого гидравлического контура

$$\sum_c X_i = 0. \quad (7)$$

Применимо для любого независимого контура ($c = 1, \dots, b$) выбранной системы ГВС, применяя матрицу \mathbf{B} , получаем сокращение закона Кирхгофа

$$\mathbf{B} \vec{X} = 0, \quad (8)$$

где \mathbf{B} – матрица совпадения мест обходов контуров.

Первая математическая модель сводится к системе уравнений

$$\mathbf{A}\bar{S} = \bar{S}_{yp}, \mathbf{B}\bar{X} = 0, \bar{X} + \bar{H} = \mathbf{X} \cdot \mathbf{S} \cdot \bar{S}. \quad (9)$$

Уравнение (3), составляющее последнюю группу из n уравнений, называется замыкающим соотношением – оно дополняет $m - 1$ уравнений первого закона и b уравнений второго закона Кирхгофа до полной системы (9) из $2n$ уравнений относительно S_i и X_i [6].

В этой системе можно исключить вектор \bar{X} путем подстановки (3) в (7):

$$\mathbf{A}\bar{S} = \bar{S}_{yp}. \quad (10)$$

Для определения степени открытия регулирующей арматуры в математическую модель должна быть введена матрица \mathbf{E} , которая будет учитывать степень открытия балансирующей и регулирующей арматуры. После введения дополнительной матрицы она будет иметь вид

$$\mathbf{B} \cdot \mathbf{X} \cdot \bar{S} \cdot \mathbf{E} = \mathbf{B}\bar{H}. \quad (11)$$

В работе исследуется потокораспределение в принципиальной схеме горячего водоснабжения с комбинированным источником теплоты, представленной на рисунке 3.

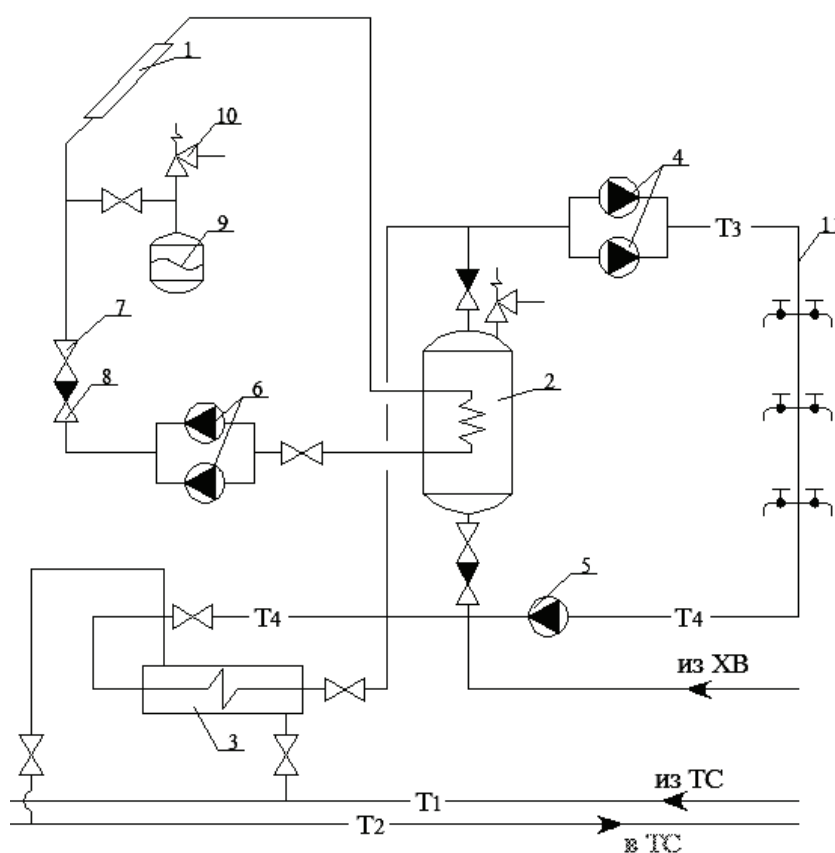


Рисунок 3 – Потокораспределение в принципиальной схеме комбинированного горячего водоснабжения на базе гелиоколлектора: ТС – тепловая сеть; ХВ – сеть питьевого водопровода; T_1 – греющий теплоноситель; T_2 – обратный теплоноситель; T_3 – горячая вода на нужды ГВС; T_4 – циркуляционный водопровод; 1 – солнечный коллектор; 2 – ёмкостной бак-аккумулятор; 3 – ИТП; 4 – повысительные насосы; 5 – циркуляционный насос системы ГВС; 6 – циркуляционные насосы контура солнечного коллектора; 7 – перекрывающий кран; 8 – обратный клапан; 9 – расширительный бак; 10 – предохранительный клапан; 11 – система ГВС.

Метод контурных расходов (МКР) – аналог известного метода контурных токов для расчета линейных электрических цепей в сочетании с методом Ньютона [7–9] для решения системы нелинейных алгебраических уравнений.

Схема представлена контуром гелиоколлектора, в котором циркулирует теплоноситель, нагреваемый теплотой солнечных лучей. Теплоноситель поступает в ёмкостной бак-аккумулятор, где отдает теплоту и поступает на повторный нагрев. Из бака-аккумулятора нагретый теплоноситель поступает на нужды ГВС. В случаях, когда температура воды на нужды ГВС опускается ниже 50°C ,

автоматически включается контур тепловой сети, который догревает воду до требуемых параметров.

На основании предложенной схемы была разработана орг-граф схема распределения потоков с указанием направления их движения, участков и узлов (рис. 4). На схеме были выделены неактивные участки (1, 2, 3), так называемые Хорды. Участки 4–10 образуют активные ветви дерева схемы потокораспределения (рис. 5).

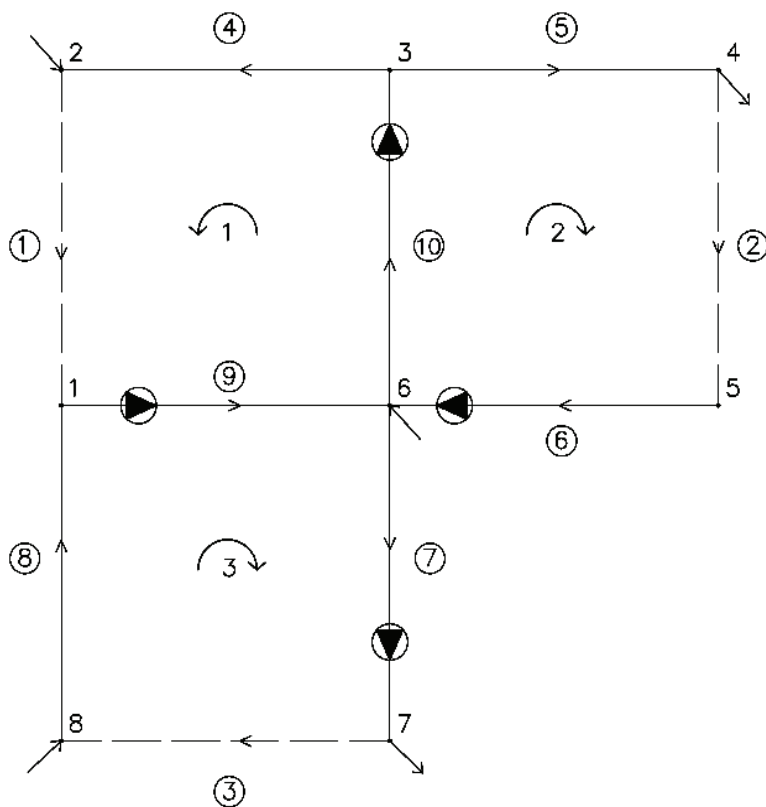


Рисунок 4 – Орг-граф схема распределения потоков.

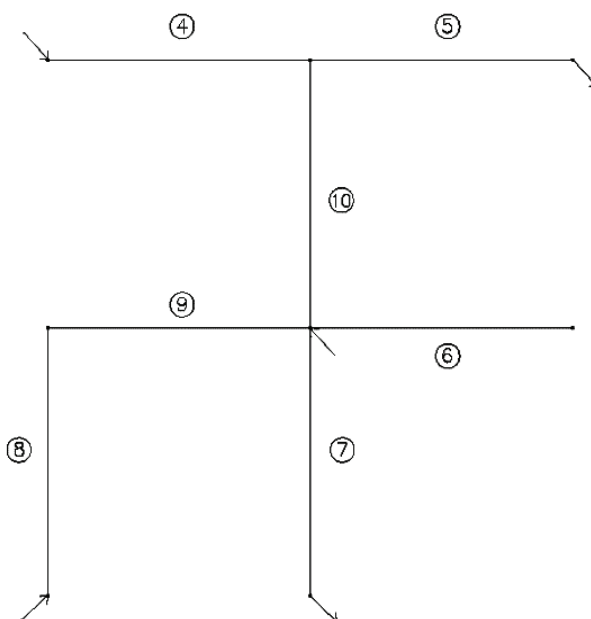


Рисунок 5 – Дерево схемы распределения потоков.

Нумерация элементов эквивалентной схемы комбинированной системы ГВС произведена таким образом, что первые номера присвоены хордам, $S_x = (S_1 \dots S_k)^T$, $S_d = (S_{k+1} \dots S_n)^T$, а номера контуров и направления их обхода совпадают с номерами и ориентацией хорд, то тогда $\mathbf{A} = (\mathbf{A}_x, \mathbf{A}_d)$, а $\mathbf{B} = (\mathbf{I}, \mathbf{B}_d)$, где \mathbf{I} – единичная матрица порядка k , t – знак транспортирования.

В системе комбинированного горячего водоснабжения процессы передачи теплоты обусловлены взаимодействием тепловых потоков, направленных от источников теплоты к нагреваемой воде (горячее водоснабжение). Процесс передачи теплоты в гелиоколлекторе характеризуется уравнением Ньютона-Рихмана, которое описывает передачу теплоты через твердую стенку с учетом коэффициентов теплоотдачи и тепловосприятая.

На основании построенных схем получена матрица \mathbf{A} совпадений векторов. Исходя из данной матрицы определены векторные узловые расходы и расходы действующих напоров (табл. 1).

Таблица 1 – Полная матрица соединений и узлов

	j	i									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\mathbf{A} =$	1	+	0	0	0	0	0	0	0	–	0
	2	–	0	0	+	0	0	0	0	0	0
	3	0	0	0	–	0	0	0	0	0	+
	4	0	–	0	0	+	0	0	0	0	0
	5	0	+	0	0	0	–	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	+	–
	7	0	0	–	0	0	0	+	0	0	0

Для полученного варианта дерева и соответствующей ему хордовой системы контуров исследуемое распределение потоков определяется векторами расходов $\vec{S} = (S_1, S_2, S_3 \dots S_{10})^T$ и гидравлических напоров $\vec{X} = (X_1, X_2, X_3 \dots X_{10})^T$. Для данного дерева системы ГВС и соответствующей ему хордовой системы контуров составляем матрицу \mathbf{B} совпадающих участков и контуров (табл. 2).

Таблица 2 – Полная матрица совпадений участков и контуров

	c	i									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\mathbf{B} =$	1	+	0	0	+	0	0	0	0	+	0
	2	0	+	0	0	+	+	0	0	0	+
	3	0	0	+	0	0	0	+	+	+	0

Числа в строке означают: «0» отсутствие участка на i -м контуре, «+» совпадение, а «–1» несовпадение принятого направления движения на участке с принятым направлением обхода.

Построены диагональные матрицы гидравлических сопротивлений участков \mathbf{X} и расходов \mathbf{S} (ф-ла 12).

$$S = \begin{Bmatrix} S_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & S_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & S_{10} \end{Bmatrix}; \quad X = \begin{Bmatrix} X_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & X_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cdot & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X_{10} \end{Bmatrix}. \quad (12)$$

В каждом столбце матрицы не более двух нулевых элементов «–» или «+», а это значит, что в определенный узел входит не более чем два контура, что является признаком плоской схемы. После построения матриц \mathbf{B} , \mathbf{X} , \mathbf{S} запишем производную трех матриц (табл. 3).

Составим систему уравнений исходя из матриц \mathbf{A} и \mathbf{BSX} , решение которых является коэффициентами системы уравнений (10, 11), относительно S_1, S_2, \dots, S_{10} :

Таблица 3 – Производная матрица **B**, **X**, **S**

BXS	S_1X_1	0	0	S_4X_4	0	0	0	0	S_9X_9	$S_{10}X_{10}$
	0	S_2X_2	0	0	S_5X_5	S_6X_6	0	0	0	$S_{10}X_{10}$
	0	0	S_3X_3	0	0	0	S_7X_7	S_8X_8	S_9X_9	0

$$\begin{cases} X_1 + X_2; \\ X_1 + X_4; \\ X_4 + X_{10}; \\ X_2 + X_5; \\ X_2 + X_6; \\ X_9 + X_{10}; \\ X_3 + X_7. \end{cases} \quad (13)$$

$$\begin{cases} S_2X_1^2 + S_4X_4^2 + S_9X_9^2 + S_{10}X_{10}^2; \\ S_2X_2^2 + S_5X_5^2 + S_6X_6^2 + S_{10}X_{10}^2; \\ S_3X_3^2 + S_7X_7^2 + S_8X_8^2 + S_9X_9^2. \end{cases}$$

Искомой для МРК является система (10, 11) относительно вектора \bar{S} . В процессе последующих приближений

$$\bar{S}^{(N+1)} = \bar{S}^N + \bar{S}^{(N+1)}, \quad (14)$$

где N – порядковый номер приближений, применяется таким образом, что для любого \bar{S} выполняется условия (10) математических балансов в узлах. Для этого необходимо, чтобы выполнялось начальное приближение (6), а все приращения $\Delta S = (\Delta S_1 \dots \Delta S_n)^T$ к расходам имели бы нулевые балансы

$$\mathbf{A}\Delta S = \mathbf{A}_x\Delta S_x + \mathbf{A}_d\Delta S_d = 0, \quad (15)$$

Из выражения (16) следует, что в качестве независимых переменных можно принять приращения к расходам на хордах $-\Delta S_x$, тогда поправки на соответствующих участках к расходам на участках дерева S_d можно будет определить

$$\Delta S_d = -(\mathbf{A}_d^{-1} \cdot \mathbf{A}_x)\Delta S_x, \quad (16)$$

При этом матрицу \mathbf{A}_d обращать не требуется, это следует из работ А. П. Меренкова [11].

$$-\mathbf{A}_d^{-1} \cdot \mathbf{A}_x = \mathbf{B}_d^T, \quad (17)$$

уравнение будет иметь вид

$$\Delta S = (\Delta S_x^T, \Delta S_d^T) = (\mathbf{I}, \mathbf{B})^T \Delta S_x = \mathbf{B}^T \Delta S_x. \quad (18)$$

Приращения расходов на хордах ΔS_x принимаются из условия уменьшения невязок, которые получаем при подстановке в (11)

$$\mathbf{B}\mathbf{S}^N \cdot S^N = \Delta h^N, \quad (19)$$

где Δh^N – вектор невязок напоров для вычисляемых контуров по данным N -го приближения. Для пассивных цепей

$$\Delta h^N = \sum_c h_i^N, \quad (20)$$

где h^N – вектор-столбец невязок давлений, численных для контуров по данным N -го приближения.

В окончании расчетов потокораспределения проводится анализ сходимости вычисления процесса

$$|G^{N+1} - G^N| \leq \delta. \quad (21)$$

где δ – вектор допустимых погрешностей значений расходов.

ВЫВОДЫ

Разработанная математическая модель потокораспределения в контурах системы горячего водоснабжения с комбинированным источником теплоты позволяет определить степень открытия и пределы регулирования балансировочной и регулирующей арматуры в различных режимах работы солнечного коллектора, что позволит более экономично расходовать теплоноситель, получать более комфортные параметры микроклимата в обслуживаемых помещениях, а также снизит время отклика системы на регулирование того или иного параметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Сравнительный анализ показателей конструкций солнечных коллекторов зарубежного и отечественного производства. Новые технические решения [Текст] / О. С. Попель, С. Е. Фрид, В. Н. Щеглов [и др.] // Теплоэнергетика. – 2006. – № 3. – С. 11–16.
2. Методика оценки эффективности использования солнечных водонагревательных установок в климатических условиях Российской Федерации [Текст] / О. С. Попель, С. Е. Фрид, Ю. Г. Коломиец. – М.: Изд-во МФТИ, 2004. – 215 с.
3. Исаченко, В. П. Теплопередача [Текст]: учебник для вузов / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел; изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
4. Михеева, И. М. Теплопередача и тепловое моделирование [Текст]: [сборник статей]. – М.: Изд-во АН СССР, 1959. – С. 226-238. – 420 с.
5. Проектирование тепловых сетей [Текст]: справочник проектировщика / под ред. А. А. Николаева. – М.: Теплопроект, 1985. – 360 с.
6. Методы и алгоритмы расчета тепловых сетей [Текст] / В. Я. Хасилев, А. П. Меренков, Б. М. Каганович и др.; под ред. В. Я. Хасилева и А. П. Меренкова. – М.: Энергия, 1978. – 176 с.
7. Network Flows: Theory, Algorithms and Applications [Текст] / R. K. Ahuja, T. L. Magnati, J. B. Orlin. – Prentice Hall: New Jersey, 1993. – 863 p.
8. Демидович, Б. П. Основы вычислительной математики [Текст] / Б. П. Демидович, И. А. Марон. – М.: Наука, 1970. – 664 с.
9. Parallel algorithms for Solving the Convex Minimum Cost Flow Problem [Текст] / P. Beraldi, F. Guerriero, R. Musmanno // Computational Optimization and Applications. – 2001. – № 18. – P. 175–190.
10. Меренков, А. П. Теория гидравлических цепей [Текст] / А. П. Меренков, В. Я. Хасилев. – М.: Наука, 1985. – 277 с.

Получено 06.10.2019

М. В. ДОЛГОВ, Д. В. ВИБОРНОВ, З. В. УДОВИЧЕНКО МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ КОМБІНОВАНОГО ДЖЕРЕЛА ТЕПЛА З ГЕЛІОКОЛЕКТОРАМИ ДЛЯ СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ ДОО ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури»

Анотація. Проведено аналіз досліджень провідних вчених з метою визначення раціональної методики побудови моделей зміни навантаження систем гарячого водопостачання протягом доби для різних видів споживачів теплової енергії, зокрема для споживачів житлових і громадських будівель. Запропоновано принципову схему гарячого водопостачання з комбінованим джерелом теплоти на базі геліоколлектора. Для дослідження потокорозподілу у запропонованій схемі використовувався метод контурних витрат (МКВ) – аналог відомого методу контурних струмів для розрахунку лінійних електричних ланцюгів в поєднанні з методом Ньютона для розв'язання системи нелінійних алгебраїчних рівнянь. На підставі запропонованої схеми була розроблена орг-граф схема розподілу потоків з вказівкою напрямку їх руху, ділянок і вузлів. Розроблено математичну модель потокорозподілу контурних витрат в запропонованій схемі ГВС з комбінованим джерелом теплоти, що дозволяє визначити ступінь відкриття і межі регулювання балансуювальної і регулюючої арматури в різних режимах роботи сонячного колектора. Використання результатів математичного моделювання запропонованої схеми дає можливість економно витратити теплоносії, отримувати більш комфортні параметри мікроклімату в обслуговуваних приміщеннях, а також знизити час відгуку системи на регулювання того чи іншого параметра.

Ключові слова: гаряче водопостачання, комбіноване джерело теплоти, геліоколлектор, потокорозподіл, метод контурних витрат, мікроклімат.

NIKOLAY DOLGOV, DMITRY VYBORNOV, ZLATA UDOVICHENKO
MATHEMATICAL MODELING OF A COMBINED HEAT SOURCE WITH A
SOLAR COLLECTOR FOR A HOT WATER SYSTEM

Donbas National Academy of Construction and Architecture

Abstract. The research of leading scientists was analyzed to determine a rational methodology for constructing models for changing the load of hot water supply systems during the day for various types of heat energy consumers, in particular for consumers of residential and public buildings. A schematic diagram of hot water supply with a combined heat source based on a solar collector is proposed. To study the flow distribution in the proposed scheme, the contour flow method (MCR) was used - an analog of the known contour current method for calculating linear electric circuits in combination with the Newton method for solving a system of nonlinear algebraic equations. Based on the proposed scheme, an org-graph was developed for a flow distribution scheme indicating the direction of their movement, sections and nodes. A mathematical model of the flow distribution of contour flows in the proposed DHW circuit with a combined heat source is developed, which allows determining the degree of opening and regulation limits of balancing and controlling valves in different operating modes of the solar collector. Operating the results of mathematical modeling of the proposed scheme makes it possible to economically use coolant, obtain more comfortable microclimate parameters in the serviced rooms, and also reduce the response time of the system to the regulation of a particular parameter.

Key words: hot water supply, combined heat source, solar collector, flow distribution, contour flow method, microclimate.

Долгов Николай Викторович – кандидат технических наук, ассистент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

Выборнов Дмитрий Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

Удовиченко Злата Викторовна – кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники, теплогазоснабжения и вентиляции ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры». Научные интересы: энергосбережение в системах теплогазоснабжения и вентиляции.

Долгов Микола Вікторович – кандидат технічних наук, асистент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплогазопостачання і вентиляції.

Выборнов Дмитро Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплогазопостачання і вентиляції.

Удовиченко Злата Вікторівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри теплотехніки, теплогазопостачання та вентиляції ДООУ ВПО «Донбаська національна академія будівництва і архітектури». Наукові інтереси: енергозбереження в системах теплогазопостачання і вентиляції.

Dolgov Nikolay – Ph. D. (Eng.), assistant, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat saving in systems of a heat-gas supply and ventilation.

Vybornov Dmitry – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat saving in systems of a heat-gas supply and ventilation.

Udovichenko Zlata – Ph. D. (Eng.), Associate Professor, Heat Engineering, Heat and Gas Supply and Ventilation Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: heat saving in systems of a heat-gas supply and ventilation.