

Для теплопостачання теплиць представляється змішана повітряно-водяна система, побудована на використанні двох нових технічних рішень з трубчастими газовими нагрівачами. Для математичного моделювання система теплопостачання представлена у вигляді плоского багатоконтурного графа. Модель складається з диференціальних рівнянь руху та теплообміну по ділянкам, а також алгебраїчних рівнянь законів Кірхгофа

Ключові слова: повітряно-водяна система теплопостачання, трубчасті газові нагрівачі, гідравлічний ланцюг, еволюційний пошук

Для теплоснабження теплиць представляється смешанная воздушно-водяная система, построенная на использовании двух новых технических решений с трубчатыми газовыми нагревателями. Для математического моделирования система теплоснабжения представлена в виде плоского многоконтурного графа. Модель состоит из дифференциальных уравнений движения и теплообмена по участкам, а также из алгебраических уравнений законов Кирхгофа

Ключевые слова: воздушно-водяная система теплоснабжения, трубчатые газовые нагреватели, гидравлическая цепь, эволюционный поиск

ВОЗДУШНО-ВОДЯНАЯ СИСТЕМА ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ ТЕПЛИЦ С ТРУБЧАТЫМИ ГАЗОВЫМИ НАГРЕВАТЕЛЯМИ

К. В. Дудкин
Соискатель*

E-mail: kv-automat@i.ua

В. В. Ткачева

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: Leratkacheva@mail.ru

В. В. Данишевский

Доктор технических наук, профессор*

E-mail: vdanish@ukr.net

*Кафедра теплотехники и газоснабжения

Приднепровская академия

строительства и архитектуры

ул. Чернышевского 24а,

г. Днепрпетровск, Украина, 49005

1. Введение

Значительную экономию энергетических ресурсов для промышленного отопления обеспечивает использование инфракрасных трубчатых газовых обогревателей (ИТГО), при этом основной вклад в экономию ресурсов связан с возможностями достаточно быстрого управления тепловыми режимами. Для теплиц, которые потребляют значительное количество тепловой энергии, использование ИТГО практически неприемлемо, так как для их эффективной работы требуется достаточно высокая температура излучающей поверхности, а при малой высоте теплиц это приведет к термическому повреждению растений. Для теплиц следует использовать не лучистый, а конвективный обогрев. Такой обогрев могут обеспечить трубы с теплоносителем (вода или воздух) при температуре греющей поверхности в диапазоне 50-150 °С. Возникает проблема: как построить систему теплоснабжения и отопления, чтобы оставить преимущества трубчатых газовых обогревателей при относительно невысоких температурах греющей поверхности.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Математическое моделирование линейных инфракрасных трубчатых газовых обогревателей [1] позво-

ляет рассчитывать тепловые и гидравлические параметры ИТГО, а также определять их коэффициенты полезного действия (КПД) с выделением лучистой и конвективной составляющих суммарного тепловыделения. Основываясь на этих результатах можно сделать вывод, что максимальная эффективность линейных трубчатых газовых обогревателей достигается при повышении температуры теплоносителя (смеси воздуха с продуктами сгорания газа). Такой подход неприемлем для теплиц, где требуются относительно невысокие температуры тепловыделяющих поверхностей, а снижение температуры теплоносителя приведет к низкому КПД системы. Необходимы новые технические решения.

В качестве новых технических решений можно использовать многоконтурные трубчатые газовые нагреватели [2], а также трубчатые нагреватели для нагрева воды [3].

3. Цель и задачи исследования

Ставилась задача использовать новые технические решения для построения смешанной воздушно-водяной системы теплоснабжения, разработать математическую модель процессов теплообмена и гидродинамики для разработанной системы и алгоритм расчета тепловых и гидравлических параметров. На рис. 1 представлен пример разработанной смешанной

воздушно-водяной системы теплоснабжения на основе трубчатых газовых нагревателей, а на рис. 2 – схема основного узла этой системы (воздушно-водяной нагреватель).

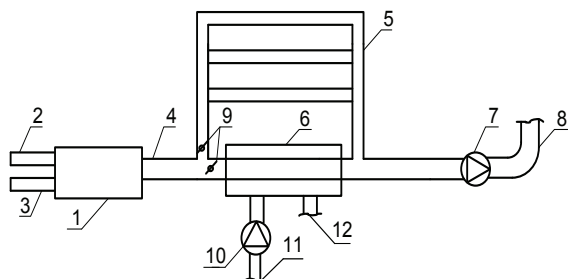


Рис. 1. Принципиальная схема системы теплоснабжения: 1 – газовая горелка; 2,3 – патрубки подачи горючего газа и воздуха; 4 – начальный участок трубчатого нагревателя; 5 – воздушный трубчатый нагреватель; 6 – водяной трубчатый нагреватель; 7 – вытяжной вентилятор; 8 – патрубок удаления отработанных продуктов сгорания; 9 – поворотные заслонки; 10 – водяной насос; 11,12 – патрубки присоединения водяной системы к нагревателю

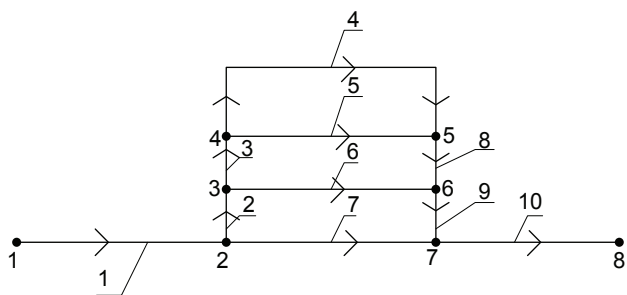


Рис. 2. Расчетная схема системы теплоснабжения

Смешанная воздушно-водяная система теплоснабжения представляет собой многоконтурный трубчатый газовый нагреватель, одна или несколько ветвей, которого представляют собой воздушно-водяной трубчатый нагреватель.

4. Математическое моделирование воздушно-водяной системы теплоснабжения

Систему воздушно-водяного теплоснабжения представим в виде графа $G(J,Y)$, где J – множество узлов, Y – множество дуг (участков), их соединяющих. Граф содержит множество контуров K .

Математическую модель элементарного участка воздушной части системы можно представить, следуя [1, 4], в виде следующей системы уравнений

$$M = \rho w F = \text{const}, \tag{1}$$

$$p = \rho R T, \tag{2}$$

$$dp = -\lambda dx / D \cdot \rho \frac{w^2}{2}, \tag{3}$$

$$dQ_1 = \pi D dx \alpha_1 (T - T_{wi}), \tag{4}$$

$$dQ_2 = \pi D dx \frac{\Lambda}{\delta} (T_{wi} - T_{wo}), \tag{5}$$

$$dQ_3 = \pi D dx C_0 e((T_{wo}^4 - T_o^4)10^{(-8)}), \tag{6}$$

$$dQ_4 = \pi D dx \alpha_2 (T_{wo} - T_o), \tag{7}$$

$$d(\rho w F C_p T) = dQ_1, \tag{8}$$

$$dQ_1 = dQ_2, \tag{9}$$

$$dQ_2 = dQ_3 + dQ_4. \tag{10}$$

В уравнениях (1)-(10) приняты обозначения: w – скорость; p – давление; ρ – плотность; T – температура газозвушной смеси; T_{wi} – температура внутренней стенки трубы; T_{wo} – температура наружной стенки трубы; x – линейная координата; dQ_1 – тепловой поток, передаваемый от газозвушной смеси к трубе; dQ_2 – тепловой поток, передаваемый теплопроводностью через стенку трубы; dQ_3 – тепловой поток, передаваемый излучением от стенки трубы в окружающее пространство, dQ_4 – тепловой поток, передаваемый конвекцией от стенки трубы в окружающее пространство, α_1 – коэффициент теплоотдачи от газозвушной смеси к трубе, α_2 – коэффициент теплоотдачи от стенки трубы в окружающее пространство.

Для элементарного участка водяной части системы математическая модель имеет вид уравнений (1), (2), (3), (4), (5), уравнение (7), где в качестве коэффициента теплоотдачи α_2 берется коэффициент теплоотдачи в водяную среду, а уравнение (10) принимает вид $dQ_2 = dQ_4$.

После преобразований уравнений (1) – (10) математическая модель для всех участков системы, следуя [2], можно представить в виде системы обыкновенных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dp_y}{p_y} = -\lambda_y \frac{dz_y \rho_y w_y^2}{D_y} / p_y, \quad y = \overline{1, n}, \tag{11}$$

$$\frac{dw_y}{w_y} = \lambda_y \frac{dz_y \rho_y w_y^2}{D_y} / p_y + \frac{dT_y}{T_y}, \quad y = \overline{1, n}, \tag{12}$$

$$\frac{dp_y}{\rho_y} = -\lambda_y \frac{dz_y \rho_y w_y^2}{D_y} / p_y - \frac{dT_y}{T_y}, \quad y = \overline{1, n}, \tag{13}$$

где p_y, ρ_y, w_y, T_y – неизвестные параметры теплового и гидравлического режима трубчатого нагревателя (давление, плотность газозвушной смеси, скорость движения и абсолютная температура); y – порядковый номер участка.

Математическая модель многоконтурного трубчатого газового нагревателя представляет собой инженерную сеть по терминологии [5] или гидравлическую цепь с распределенными параметрами по терминологии [6]. Математическая модель многоконтурного трубчатого нагревателя должна включать уравнения первого и второго законов Кирхгофа

$$A * V + Q = 0, \tag{14}$$

$$B * H = 0, \tag{15}$$

где A, B – матрицы соединений и контуров сети соответственно, $V = \{v_y\}$ – вектор массовых расходов по участкам, $Q = \{q_u\}$ – вектор узловых расходов, $H = \{h_y\}$ – вектор потерь давления на элементарных участках, $y=1,2,\dots,n$ $u=1,2,\dots,m$.

5. Алгоритм расчета теплового и гидравлического режима

Задача расчета теплового и гидравлического режима при проектировании многоконтурного нагревателя формулируется следующим образом.

Известны матрицы соединений A и контуров B сети, известны геометрические параметры участков – длины, диаметры трубопроводов и толщина их стенок. Известен массовый расход газа и воздуха в узле источнике и известны начальные значения искомым параметров в узле источнике. Требуется определить распределение искомым параметров по всем участкам многоконтурной сети, которое бы удовлетворяло системе уравнений (11)-(15) и начальным условиям в узле источнике.

Для решения задачи расчета теплового и гидравлического режима использовался метод контурных расходов [5,6]. В качестве варьируемых переменных выбирались массовые расходы по выделенным участкам контуров сети – хордовые расходы, которые обозначим через x^i $i=1,f$.

Выбирая некоторым образом набор значений $\{x^i\}$ $i=1,f$, можно найти совокупность параметров теплового и гидравлического режима, которые удовлетворяют дифференциальным уравнениям (11)-(13) и алгебраическим уравнениям сохранения массы в узлах сети (14). Это можно сделать путем численного интегрирования системы обыкновенных дифференциальных уравнений (11)-(13) с использованием уравнений сохранения массы (14) в узлах сети. Остается невыполненными, в общем случае, уравнения второго закона Кирхгофа (15) для контуров сети.

В соответствие с методом контурных расходов нужно потребовать, чтобы в процессе поиска решения обеспечивался минимум рассогласования выполнения второго закона Кирхгофа

$$E = |B * H| \rightarrow \min. \tag{16}$$

Для поиска минимума (16) использовался алгоритм эволюционного случайного поиска. Алгоритм эволюционного поиска R_S - оптимального решения имеет вид:

$$X_k = S(G(X_{k-1})), k=1, 2,\dots,$$

где X_k – множество наиболее предпочтительных решений по отношению выбора R_S для шага k ; X_{k-1} – то же для $(k-1)$ -го шага итерации; $G(X)$ – функция генерации, порожденная отношением генерации R_G ; $S(X)$ – функция выбора, порожденная отношением выбора. В

данном случае функция выбора обеспечивает выбор решений по минимуму критерия (16), где потери давления по участкам рассчитываются после интегрирования уравнений (11)-(13) с учетом (14).

Искомые значения расходов по хордам сети $\{x^i\}$ $i=1,f$, являются непрерывными переменными в диапазоне допустимых значений. После отбора наиболее предпочтительных решений на k -том шаге итерации по критерию (16) производится оценка лучших решений, отобранных во всех ветвях поиска:

$$x_0^i = (\sum_{j=1}^{N_B} \sum_{l=1}^{N_L} x_{lj}^i) / (N_B * N_L),$$

$$l = 1, 2, \dots, N_L,$$

$$j = 1, 2, \dots, N_B,$$

где i – порядковый номер переменной; l – номер отобранного решения; j – номер ветви эволюционного процесса; N_L – количество лучших решений, отбираемых на каждом шаге эволюционного поиска в одной ветви; N_B – количество ветвей расчета эволюционного алгоритма.

После этого производится оценка эмпирических дисперсий в виде:

$$\sigma_i^2 = (\sum_{j=1}^{N_B} \sum_{l=1}^{N_L} (x_{lj}^i - x_0^i)^2) / (N_B * N_L - 1).$$

На $(k+1)$ -ом шаге итерации производится генерация новых решений по нормальному закону для каждой переменной x^i с центрами в точках x_{lj}^i , $l=1, N_L$, $j=1, N_B$ и дисперсией σ_i^2 . Доказано [7 – 10], что алгоритм эволюционного поиска обеспечивает сходимость к R_S – оптимальному решению с вероятностью 1 при достаточно общих предположениях об отношении выбора R_S , что позволяет быть уверенным в успешной реализации всего поиска решения.

6. Пример расчета теплового и гидравлического режима

В качестве примера приведены результаты расчета теплового и гидравлического режима для трехконтурной системы теплоснабжения, показанной на рис. 1, 2. Исходные данные приведены в табл.1. В этом примере искомые переменные $\{x^1, x^2, x^3\}$ где x^1 – безразмерная величина – относительная доля узлового расхода в узле 2, приходящаяся на участок «2», x^2 – безразмерная величина – относительная доля узлового расхода в узле 3, приходящаяся на участок «3», x^3 – безразмерная величина – относительная доля узлового расхода в узле 4, приходящаяся на участок «4».

Эволюционный поиск иллюстрируется на рис. 3, где наглядно видно сходимость по трем независимым ветвям эволюционного поиска к минимуму рассогласования (16). Сходимость в пространстве искомым величин показана в табл. 2. Наглядно видно достижение требуемой точности решения задачи по искомым переменным.

Таблица 1

Исходные данные для расчета теплового и гидравлического режима для воздушно – водяной системы теплоснабжения

Номер участка	Начало участка	Конец участка	Длина участка, м	Диаметр участка, м
1	1	2	4	0.15
2	2	3	10	0.15
3	3	4	10	0.125
4	4	5	40	0.125
5	4	5	20	0,125
6	3	6	20	0,125
7	2	7	20	0,15
8	5	6	10	0,125
9	6	7	10	0,15
10	7	8	5	0,15

Таблица 2

Сходимость в пространстве искомым величин

Количество итераций	Номер ветви эволюции	Искомые параметры		
		x^1	x^2	x^3
28 $E=1.15 \cdot 10^{-5} \text{Па}$	1	0.3919	0.5408	0.7645
	2	0.3919	0.5408	0.7645
	3	0.3919	0.5407	0.7647

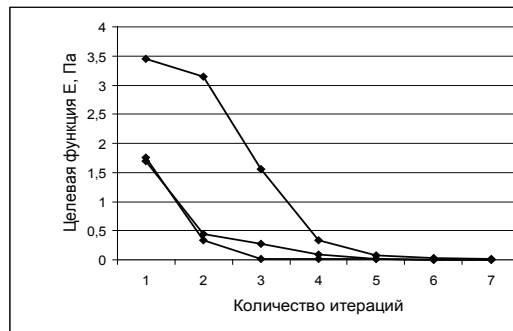


Рис. 3. Минимизация целевой функции по шагам итерации эволюционного поиска

7. Выводы

Разработана воздушно-водяная система теплоснабжения теплиц на основе трубчатых газовых нагревателей. За счет использования водяного теплоносителя и циркуляции воздушного теплоносителя в многоконтурной сети удается в системе теплоснабжения иметь теплоноситель относительно невысокой температуры при высокой эффективности использования тепловой энергии.

Построена математическая модель системы теплоснабжения, которая представляет собой гидравлическую многоконтурную цепь с распределенными параметрами.

Сформулирована задача расчета теплового и гидравлического режима системы теплоснабжения. Алгоритм численного решения использует метод контурных расходов и эволюционный поиск наиболее предпочтительных решений. Приведенный пример численного расчета подтверждает сделанные выводы.

Литература

1. Иродов, В. Расчет температурных удлинений инфракрасного трубчатого газового обогревателя [Текст] / В. Иродов, В. Ткачева, Л. Солод // Theoretical Foundations of Civil Engineering. – 2011. – V.19. – P. 381–386.
2. Дудкин, К. В. Многоконтурные трубчатые газовые нагреватели как средства повышения безопасности воздушно–лучистого отопления [Текст] / К. В. Дудкин, Ю. В. Хацкевич, Л. В. Солод, Г.Я. Черноморец // Сб. научн. тр. «Строительство, материаловедение, машиностроение». – Днепропетровск: ГВУЗ ПГАСА. – 2011. – С.161–165.
3. Патент 63797 Україна (UA), МПК F24C 15/32. Трубчатий нагрівач [Текст] / К.В. Дудкін, В.Ф. Іродов, Ю.В. Бобир (Україна); заявник ДВНЗ «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури». –№ 02070772; Заявл. 25.02.2011; Опубл. 25.10.2011. Бюл. № 20. 4 с.: іл.
4. Иродов, В. Ф. Математическое моделирование элементарного участка системы воздушно-лучистого отопления [Текст] / В. Ф. Иродов, Л. В. Солод, А. В. Кобыща // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. - Дніпропетровськ: ПДАБтаА. – 2001. – №4.- С.41-46.
5. Евдокимов, А.Г. Потокораспределение в инженерных сетях [Текст] / А.Г. Евдокимов, В.В. Дубровский, А.Д. Тевяшев. – М.: Стройиздат, 1979. – С.199.
6. Меренков, А. П. Теория гидравлических цепей [Текст] / А.П. Меренков, В.Я. Хасилев. – М.: Наука, 1985. – С.278.
7. Irodov, V. On the construction and convergence of evolutionary algorithms of random search [Текст] / V. Irodov // Soviet J. Automat. Informat. Sci. Vol.20, 1987, n.4.– P.32–41.
8. Irodov, V. Self-organization methods for analysis of nonlinear systems with binary choice relations [Текст] / V. Irodov // Journal System Analysis Modeling Simulation. Gordon and Breach Science Publishers, Inc. New – ark, NJ, USA. Vol. 18-19, 1995. – 203–206 PP. (Методы самоорганизации для анализа нелинейных систем с бинарным отношением выбора).
9. Irodov, V.F. Application of an evolutionary program for solving the travelling – salesman problem [Текст] // V. Irodov, V. Maksimenkov // Soviet J. Automat. Informat. Sci. Vol.14, 1981, n.4, - P.7-10.
10. Дудкин, К. В. Эволюционный поиск для расчета многоконтурных систем трубчатых газовых нагревателей [Текст] / К.В. Дудкин, Ю.В. Хацкевич // Вычислительный интеллект (результаты, проблемы, перспективы): Матер. 1-й Междун. научн. – практ. конф. – Черкассы: Маклаут. – 2011. – С. 162 – 163.