

УДК 697.132:725.42:621.7

Т.Н. Белоглазова

Пермский национальный исследовательский политехнический университет

ОПТИМАЛЬНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ В СИСТЕМЕ ВЕНТИЛЯЦИИ

Системы вентиляции характеризуются сложной структурой и многообразием режимов функционирования. Процесс проектирования направлен на создание рациональных систем с учетом надежности и экономичности их работы. Анализ подходов к решению задач в области проектирования систем вентиляции показывает, что рекомендации нормативно-технической литературы по проектированию систем вентиляции оставляют большую свободу выбора структуры систем, численных значений технологических и конструктивных параметров, обеспечивающих необходимые микроклиматические условия. В статье проводится анализ применения метода Ньютона для выбора диаметра воздухопроводов систем вентиляции.

Ключевые слова: оптимальное проектирование, математическая модель, численные методы, метод Ньютона, целевая функция, система вентиляции, воздухопроводы, материальная характеристика.

Современные системы вентиляции характеризуются сложной структурой, требуют значительных капитальных и эксплуатационных затрат. Обоснованный выбор структуры и системы вентиляции на основе научного метода и нормативных требований позволяет заранее оценить последствия каждого решения и рекомендовать те, которые представляются наиболее целесообразными. В основу оптимального проектирования заложены принципы системного анализа [1]. С целью реализации научного метода проектирования рассмотрен метод Ньютона [2].

Метод Ньютона обладает высокой скоростью сходимости. Погрешность очередного приближения примерно равна квадрату погрешности предыдущего приближения. Недостатком метода можно указать необходимость знать явный вид первой и второй производных, так как их численный расчет приведет к уменьшению скорости сходимости метода. В ряде расчетов используют так называемый модифицированный метод Ньютона, в котором значение $f(x)$ вычисляется только в точке x_0 , при этом число итераций увеличивается, но расчеты на каждой итерации упрощаются.

В рассмотренном примере требуется найти оптимальное соотношение эквивалентных диаметров двух прямоугольных стальных воздухопроводов длиной l_1 и l_2 , по которым транспортируется объем сухого воздуха V , м³/ч ($t = 20$ °С). Задан общий перепад давления в сети воз-

духоводов $\Delta P_{\text{расп}}$. На рис. 1 представлены предполагаемые варианты распределения потерь давления в воздуховодах. Очевидно, что в общем случае задача имеет достаточно значительное число решений относительно возможных вариантов распределения потерь давления на участках сети. Различным вариантам соответствует разное значение давления в точке 2. Для однозначности решения определяется критерий оптимальности и целевая функция задачи.

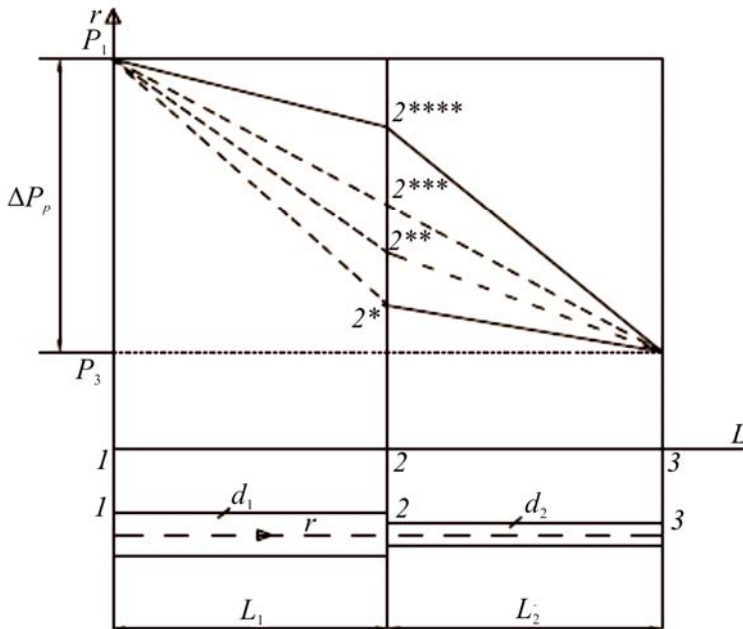


Рис. 1. Варианты распределения потерь давления в воздуховодах

Критерием оптимизации является материальная характеристика. Тогда, учитывая, что толщина листовой стали на участках 1–2 и 2–3 одинакова, целевая функция примет вид

$$M = \sum_{i=1}^2 M_i = \sum_{i=1}^2 d_i \cdot l_i, \quad (1)$$

где M – материальная характеристика, м×мм; d – диаметр участка, мм; l – длина участка, м.

При проектировании систем вентиляции учитываются ограничения. Потери давления не превышают заданных значений. При проектировании применяют типовые воздуховоды.

$$\sum_{i=1}^2 P_i \leq P_p, \quad (2)$$

$$d_i \in D. \quad (3)$$

Для уравнения связи променяем уравнение Дарси – Вейсбаха:

$$d_i = 0,01185 \frac{V_i^{0,38} \cdot l_{\text{пр}i}^{0,2}}{P_i^{0,2}}, \quad (4)$$

где $l_{\text{пр}i}$ – приведенная длина участка воздуховода, м;

Решение целевой функции (1) относительно потерь давления с учетом уравнения связи (4) приводится в виде формулы

$$M = 0,01185 \left(\frac{V_1^{0,38} \cdot l_1^{1,2}}{P_1^{0,2}} + \frac{V_2^{0,38} \cdot l_2^{1,2}}{P_2^{0,2}} \right). \quad (5)$$

Представим функцию (5) в упрощенном виде:

$$M = a_1 \cdot P_1^{-0,2} + a_2 \cdot P_2^{-0,2}, \quad (6)$$

где a_1, a_2 – константы.

Полагая, что оптимальному соотношению диаметров участков соответствует некоторое соотношение потерь давления, исследуем зависимость (6) на экстремум:

$$0,2a_1 \cdot P_1^{-1,2} + 0,2a_2 \cdot P_2^{-1,2} = 0. \quad (7)$$

Определим корни уравнения с использованием рекуррентной зависимости:

$$x_{n+1} = x_n - \frac{f(x)}{f'(x)}, \quad (8)$$

$$P_2 = P_{\text{расп}} - P_i. \quad (9)$$

После преобразования получим

$$P_{1,n+1} = P_{1,n} + 1,2 \frac{a_1 \cdot P_{1,n}^{-1,2} + a_2 (P_p - P_{1,n})^{-1,2}}{a_1 \cdot P_{1,n}^{-2,2} + a_2 (P_p - P_{1,n})^{-2,2}}. \quad (10)$$

Из уравнения (10) путем итераций при известных расходах (V) и длинах (l) находим значения ΔP_1 и ΔP_2 . Для поиска оптимального соотношения диаметров в дальнейшем воспользуемся уравнением связи.

Для исследования эффективности применения метода Ньютона [2] с целью оптимизации вентиляционной системы была выбрана система, обслуживающая общественное здание зрительного плана (рис. 2). Вентиляционная система состоит из двух участков, канальной приточной камеры, прямоугольных воздуховодов и узла воздухозабора.

Для определения диаметра воздуховодов и потерь давления на участках сети производится аэродинамический расчет в соответствии с методикой [3]. При обычном подходе к проектированию в соответствии с нормами, как правило, рассматривается одно единственное решение. В случае оптимального проектирования выбор диаметров осуществляется на основе минимального значения целевой функции.

Расход воздуха на участках составляет: $V_1 = 445,88 \text{ м}^3/\text{ч}$, $V_2 = 819,76 \text{ м}^3/\text{ч}$. Длина участка: $l_1 = 10 \text{ м}$, $l_2 = 15 \text{ м}$. Общий перепад давления в сети воздуховодов $\Delta P_{\text{расп}} = 6 \text{ Па}$.

Значения постоянных для расчета определяются из формулы (5):

$$a_1 = 0,01185 \cdot V_1^{0,38} \cdot l_1^{1,2} = 1,908, \quad a_2 = 0,01185 \cdot V_2^{0,38} \cdot l_2^{1,2} = 3,910.$$

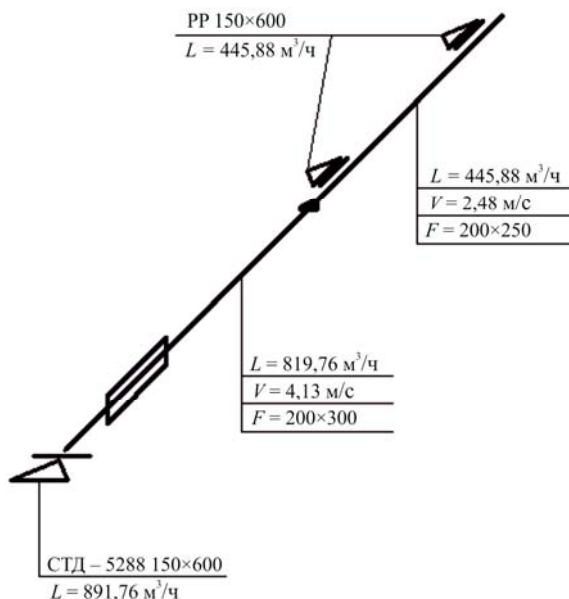


Рис. 2. Аксонометрическая схема системы вентиляции

Полученные диаметры сравниваются с фактическими диаметрами выпускаемых воздуховодов, принимаются ближайшие размеры прямоугольного воздуховода, определяется скорость воздуха. Поскольку нормируемая скорость движения воздуха в воздуховодах общественных зданий принимается в диапазоне 2–6 м/с, необходимо проверить, обеспечивается ли заданное условие. Результаты расчета представлены в таблице.

$$v_i = \frac{L_i}{3600F_i} \quad (11)$$

При обычном подходе к проектированию систем вентиляции выбраны диаметры, которые существенно отличаются от оптимальных (см. рис. 2). Материальная характеристика составляет 5822, что превышает значение целевой функции при оптимальном проектировании на 55 %.

Результаты оптимального расчета воздуховодов

Показатель расчета	Участок 1		Участок 2	
	<i>a×в</i>	<i>l</i>	<i>a×в</i>	<i>l</i>
Первая итерация	150×200	10	200×200	15
Потери давления ΔP , кгс/см ²	1,16		4,48	
Скорость воздуха, м/с	3,3		5,5	
Материальная характеристика <i>M</i>	4100			
Вторая итерация	150×150	10	150×250	15
Потери давления ΔP , кгс/см ²	2,9		3,1	
Скорость воздуха, м/с	5,5		6,0	
Материальная характеристика <i>M</i>	3750			

Анализ результатов расчета (см. таблицу) показывает, что применение метода Ньютона позволяет найти техническое решение с минимальным значением целевой функции при незначительном количестве итераций. Выбранные диаметры удовлетворяют гигиеническим нормам. Варианты, при которых скорости воздуха превышают гигиенические допустимые значения, не рассматриваются. Проектирование осуществляется при оптимальных значениях технологических параметров, в данном примере – при максимальном допустимом значении скоростей.

Сравнивая диаметры, получившиеся при аэродинамическом расчете системы, и диаметры, принятые в результате оптимизации по методу Ньютона, можно отметить уменьшение размеров воздуховода,

т.е. снижение материальных затрат на создание вентиляционной системы. Это значит, что оптимальное проектирование позволяет избежать необоснованного завышения диаметров при строгом соблюдении норм проектирования.

Библиографический список

1. Численные методы решения задач теплоснабжения, вентиляции и охраны воздушного бассейна: метод. руководство / сост. А.В. Гришкова; Перм. гос. ун-т. – Пермь, 1993. – 37 с.

2. Грачев Ю.Г. Оптимизация систем обезболивания воздуха в промышленных зданиях / Перм. гос. техн. ун-т. – Пермь, 1994. – 276 с.

3. Справочник проектировщика. Внутренние санитарно-технические устройства: в 2 ч. Ч. 2. Вентиляция и кондиционирование воздуха / под ред. И.Г. Староверова. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1977. – 502 с.

T.N. Beloglazova

OPTIMUM DESIGN IN VENTILATION SYSTEM

Ventilation systems are characterized by difficult structure and variety of modes of functioning. Process of design is directed on creation of rational systems taking into account reliability and profitability of their work. The analysis of approaches to the solution of tasks in the field of design of systems of ventilation shows that recommendations of normative and technical literature about design of systems of ventilation leave a big freedom of choice of structure of systems, numerical values of the technological and design data providing necessary microclimatic conditions. In article the analysis of application of a method of Newton is made for a choice of diameter of air ducts of ventilation systems.

Keywords: optimum design, mathematical model, numerical methods, Newton's method, criterion function, ventilation system, air ducts, material characteristic.

Сведения об авторах

Белоглазова Татьяна Николаевна (Пермь, Россия) – канд. техн. наук, доцент кафедры «Теплогасоснабжение, вентиляция и водоснабжение, водоотведение» ФГБОУ ВПО ПНИПУ (e-mail: tabeloglazova@yandex. ru).

About the authors

Beloglazova Tatyana Nikolaevna (Perm, Russia) – Candidate of Technics, Associate Professor, Department of Heating, ventilation and water supply, sewerage, Perm National Research Polytechnic University (e-mail: tabeloglazova@yandex. ru).

Получено 14.03.2013