

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ ПАРОВОДА НА ХИМИЧЕСКОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Balchugov A.V.

OPTIMIZATION OF THE STEAM PIPE SCHEME IN A CHEMICAL PLANT

Аннотация. Предложено использовать метод наименьших квадратов при разработке магистрального паропровода с целью минимизации гидравлических и тепловых потерь при транспортировке водяного пара к аппаратам на химическом предприятии.

Ключевые слова: паропровод, оптимальная схема, минимизация гидравлических и тепловых потерь, энергосбережение, химическое производство.

Abstract. It is proposed to use the least squares method in the development of a main steam pipeline in order to minimize hydraulic and heat losses during the transportation of water vapor to devices at a chemical enterprise.

Keywords: steam pipeline, optimal layout, minimization of hydraulic and heat losses, energy saving, chemical production.

Снижение гидравлических и тепловых потерь при транспортировке водяного пара на химическом предприятии является актуальной задачей [1]. На рис. 1 приведен план химического предприятия (вид сверху), на котором кружками указано пространственное расположение аппаратов ($n=7$), потребляющих водяной пар.

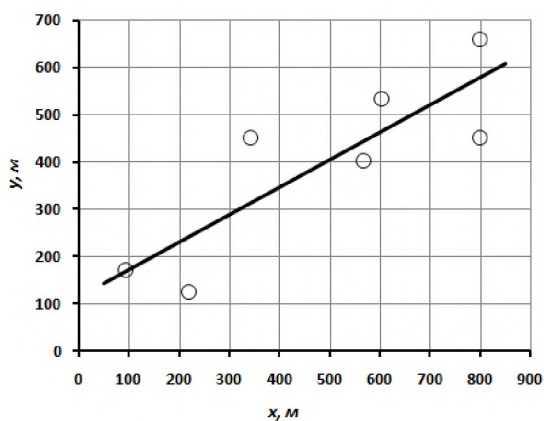


Рис. 1. План расположения аппаратов на химическом предприятии: \circ – аппарат, потребляющий водяной пар; линия – магистральный паропровод.

Необходимо определить оптимальную схему расположения магистрального паропровода для снабжения водяным паром этих аппаратов, при которой гидравлические и тепловые потери при транспортировке водяного пара к аппаратам минимальны. Предпола-

гается, что магистральный паропровод будет соединен с каждым аппаратом отдельным паропроводом малого диаметра. Очевидно, что суммарные гидравлические и тепловые потери в паропроводе будут минимальны, если сумма расстояний от магистрального трубопровода до аппаратов будет минимальна. Данную задачу можно решить методом наименьших квадратов.

В первую очередь определим координаты каждого аппарата (табл. 1), при этом начало системы координат выбирается произвольно.

Таблица 1. Координаты аппаратов

№ аппарата	Координата x , м	Координата y , м
1	93	171
2	220	125
3	343	354
4	567	402
5	604	532
6	799	658
7	800	450

Каждый аппарат рассматривается как точка с заданными координатами. На плане предприятия оптимальное расположение паропровода будет соответствовать прямой линии, сумма расстояний от которой до всех точек будет минимальна. Таким образом, требуется найти зависимость y от x в виде линейной функции:

$$y = a \cdot x + b.$$

Расстояние между фактическим положением точки i (по координате y) и соответствующей ей точкой прямой линии составит:

$$ax_i + b - y_i.$$

Прямая линия будет наиболее близка к точкам, когда для всех точек выражение $\Sigma(ax_i + b - y_i)^2$ будет минимально [2], т.е.:

$$S = \sum_{i=1}^n (ax_i + b - y_i)^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где n – число точек (аппаратов).

В точке минимума функции частные производные равны нулю:

$$\frac{\partial S}{\partial a} = \sum_{i=1}^n 2(ax_i + b - y_i) \cdot x_i = 0. \quad (2)$$

$$\frac{\partial S}{\partial b} = \sum_{i=1}^n 2(ax_i + b - y_i) = 0. \quad (3)$$

Преобразуем уравнения (2) и (3):

$$a \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 + b \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i. \quad (4)$$

$$a \cdot \sum_{i=1}^n x_i + n \cdot b = \sum_{i=1}^n y_i. \quad (5)$$

Уравнения (4) и (5) представляют собой систему с двумя неизвестными (a и b).

Коэффициенты a и b можно найти по формулам Крамера [2]:

$$a = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i - \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sum_{i=1}^n y_i}{n \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2}. \quad (6)$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n y_i}{n} - \frac{a \cdot \sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (7)$$

Найдем:

$$\sum_{i=1}^7 x_i = 3426; \quad \sum_{i=1}^7 y_i = 2788;$$

$$\sum_{i=1}^7 x_i^2 = 2139404; \quad \sum_{i=1}^7 x_i \cdot y_i = 1632757 \quad (8)$$

Тогда система уравнений (4-5) примет вид:

$$2139404 a + 3426 \cdot b = 1632757. \quad (9)$$

$$3426 \cdot a + 7 \cdot b = 2788. \quad (10)$$

Откуда в соответствии с уравнениями (6-7):

$$a = \frac{7 \cdot 1632757 - 3426 \cdot 2788}{7 \cdot 2139404 - 3426^2} = 0,579804.$$

$$b = \frac{2692}{7} + \frac{0,16528 \cdot 3426}{7} = 114,5128.$$

Следовательно, искомая линейная функция будет иметь вид:

$$y = 0,579804 x + 114,5128. \quad (11)$$

По уравнению (11) построена линия на рис. 1, соответствующая оптимальному расположению паропровода.

Соединив каждый аппарат с магистральным паропроводом перпендикулярными паропроводами малого диаметра, получим итоговую схему паропровода, в котором минимальны гидравлические и тепловые потери (рис. 2).

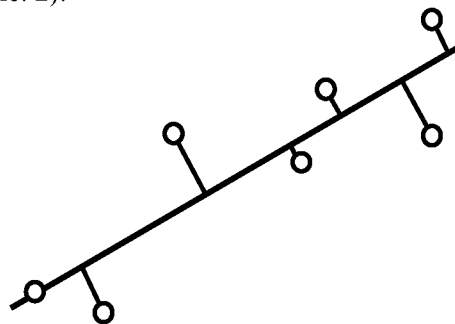


Рис. 2. Оптимальная схема паропровода: \circ – аппарат, потребляющий водяной пар; линия – магистральный паропровод.

Таким образом, использование метода наименьших квадратов позволило минимизировать гидравлические и тепловые потери при разработке магистрального паропровода, снабжающего водяным паром аппараты на химическом предприятии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. М.: Химия, 1973. 753с.

2. Коломиец Л.В., Поникарова Н.Ю. Метод наименьших квадратов. Самара: Изд-во Самарского университета, 2017. 32 с