

УДК 697.1(107), 697.03:5(107)

Давыдов А.П. – кандидат технических наук, доцент

E-mail: ap_Davidov@mail.ru

Валиуллин М.А. – кандидат технических наук, доцент

Габдрафиков Р.Р. – аспирант

E-mail: rust413@yandex.ru

Казанский государственный архитектурно-строительный университет

Адрес организации: 420043, Россия, г. Казань, ул. Зеленая, д. 1

Определение оптимального количества участков подсоединения технологического оборудования к магистральной всасывающей сети

Аннотация

В некоторых отраслях промышленности, таких как производство алюминия, для удаления вредных выделений от технологического оборудования используются разветвленные вытяжные сети с большим количеством участков подсоединения. Определение оптимального количества участков подсоединения к вентиляционной сети определяет число вентиляционных систем.

В статье рассматривается определение оптимального количества участков и числа вентиляционных систем в зависимости от места расположения вентиляторных установок, затрат на амортизацию и эксплуатацию указанных систем.

Ключевые слова: вентиляторная установка, вентиляционная сеть, затраты на амортизацию.

Для определения оптимального количества участков подсоединения технологического оборудования к магистральной всасывающей сети необходимо знать закон изменения давления по ее длине. Определение оптимального количества участков, в свою очередь, определяет число вентиляционных систем, обслуживающих производства с большим числом технологического оборудования, выделяющего вредные вещества. Таким образом, указанная задача является важным элементом энергоаудита вытяжных вентиляционных систем.

Рассмотрим всасывающую сеть (рис. 1) длиной l с количеством участков, равным n . Поперечное сечение сети переменное с целью поддержания постоянной скорости $W = \text{const}$. Принимая условно, что присоединение расхода воздуха происходит непрерывно, представляется возможным записать уравнение изменения статического давления по длине сети [1]:

$$p_i = \frac{W^2}{2\mu_0^2} \rho + \rho W^2 \ln \frac{F_i}{F_0} + \frac{\lambda}{d_k - d_0} \frac{W^2}{2} \rho l \times \ln \left[1 + \left(\frac{d_k}{d_0} - 1 \right) \frac{i}{n} \right] \quad (1)$$

или

$$p_i = \frac{W^2}{2} \rho \left(\frac{1}{\mu_0^2} + 2 \ln \frac{d_i^2}{d_0^2} \right) + \frac{\lambda l}{d_k - d_0} \times \ln \left[1 + \left(\frac{d_k}{d_0} - 1 \right) \frac{i}{n} \right]. \quad (2)$$

Полное давление во всасывающей сети составит, соответственно:

$$p_i^n = \frac{W^2}{2} \rho \left\{ \left(\frac{1}{\mu_0^2} + 2 \ln \frac{d_i^2}{d_0^2} \right) + \frac{\lambda l}{d_k - d_0} \times \ln \left[1 + \left(\frac{d_k}{d_0} - 1 \right) \frac{i}{n} \right] \right\} + \frac{W^2}{2} \rho, \quad (3)$$

где μ_0 – коэффициент расхода участка соединения.

Трассировка воздухопроводов в значительной мере зависит от места установки вентиляторов. Место установки вентиляторов можно определить из следующих рассуждений. Рассмотрим две схемы воздухопроводов (рис. 2). В первой схеме воздухопроводов вентилятор установлен в конце провода (рис. 2а). Во второй схеме воздухопроводов вентилятор установлен в середине провода (рис. 2б).

Мощность установки составит:

$$N = \frac{LP}{1000\eta}. \quad (4)$$

Или подставляя уравнение (3) в (4), получим:

$$N = \frac{W^2}{2} \rho \left\{ \left(\frac{1}{\mu_0^2} + 2 \ln \frac{d_k^2}{d_0^2} \right) + \frac{\lambda l}{d_k - d_0} \times \ln \left[1 + \left(\frac{d_k}{d_0} - 1 \right) \right] - 1 \right\} \frac{L}{1000 \eta}. \quad (5)$$

Если вентилятор расположить в середине (рис. 2 б) при сохранении $V = \text{const}$, и, допуская, что $\rho = \text{const}$, $\eta = \text{const}$, $\lambda = \text{const}$ и $\mu_0 = \text{const}$, будем иметь:

$$N = \frac{W^2}{2} \rho \left\{ \left(\frac{1}{\mu_0^2} + 2 \ln \frac{d_{k/2}^2}{d_0^2} \right) + \frac{\lambda l / 2}{d_{k/2} - d_0} \times \ln \left[1 + \left(\frac{d_{k/2}}{d_0} - 1 \right) \right] - 1 \right\} \frac{L}{1000 \eta}. \quad (6)$$

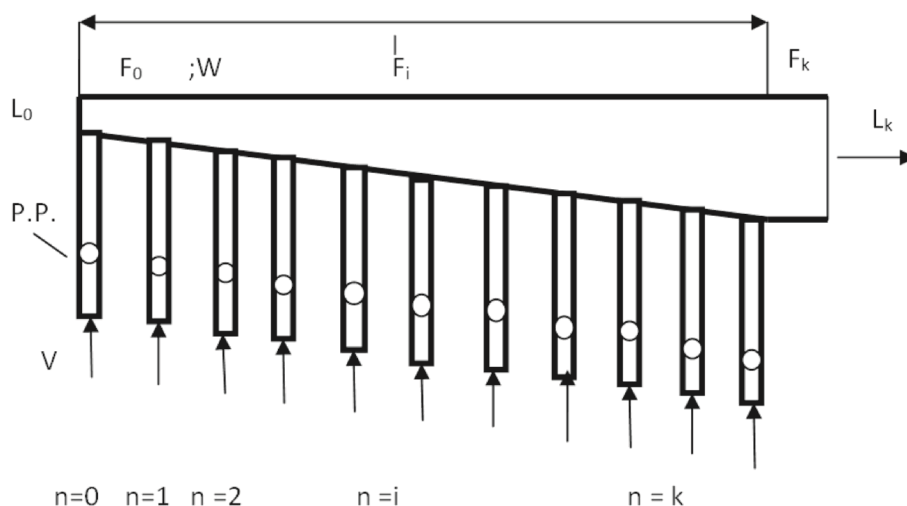


Рис. 1. Расчетная схема всасывающей сети переменного сечения

При расположении вентиляторных установок в середине сети мощность, требуемая на работу системы, будет меньше на величину, соответствующую $l/2$.

Таким образом, расположение вентиляторных установок в середине вентиляционной сети является более целесообразным, чем в концевых участках. Единственно возможным способом определения оптимального количества участков подсоединения к всасывающей сети является способ технико-экономического сравнения вариантов различных схем.

Оптимальным является тот вариант, который обеспечивает минимум годовых суммарных расходов по амортизации и эксплуатации вентиляционных и газоочистных установок.

Годовые суммарные расходы (руб./год) на амортизацию и эксплуатацию вентиляционных и очистных установок составляют:

$$S = A + B + A_{ам} + B_{экс}, \quad (7)$$

где A – годовые расходы на амортизацию воздухопроводов всасывающей сети цеха электролиза алюминия; B – годовые расходы на эксплуатацию всасывающей сети; $A_{ам}$ – годовые расходы на амортизацию очистных сооружений; $B_{экс}$ – годовые расходы на эксплуатацию очистных сооружений.

Строительную стоимость воздухопровода, выявленную по размерам и нагрузкам, представляется возможным выразить в зависимости от поверхности воздухопровода:

$$A_1 = b \sum_1^n \pi d l_i, \quad (8)$$

где b – стоимость 1 м^2 поверхности воздухопровода; n – число участков магистрали; d – средний диаметр участка воздухопровода, м; l – длина участка, м.

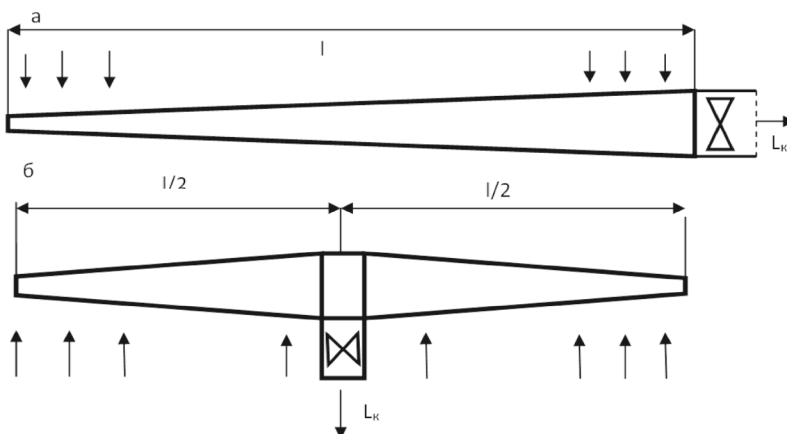


Рис. 2. Варианты установки вентилятора:
а – концевая установка вентилятора; б – центральная установка вентилятора

Выражая диаметр воздухопровода через расход воздуха L и скорость W , получим:

$$d = \sqrt{\frac{4L}{\pi W}} = 1,13 \sqrt{\frac{L}{W}} = 1,13 \frac{L^{0,5}}{W^{0,5}}. \quad (9)$$

Учитывая, что в рассматриваемых системах $W = \text{const}$, будем иметь:

$$A_1 = b \sum_1^n \pi 1,13 \left(\frac{L}{W} \right)^{0,5} l_i. \quad (10)$$

Годовые расходы A на амортизацию воздухопроводов составят:

$$A = aA_1 = b \sum_1^n \pi 1,13 \left(\frac{L}{W} \right)^{0,5} l_i, \quad (11)$$

где a – нормативный амортизационный коэффициент (0,15-0,2).

Годовые затраты на эксплуатацию (руб./год) составят:

$$B = nreN, \quad (12)$$

где n – продолжительность годовой эксплуатации, ч; r – стоимость 1 кВт. ч электроэнергии, руб; e – коэффициент, учитывающий оплату обслуживающего персонала; N – мощность, кВт.

Подставляя уравнения (11), (12) в уравнение (7), получим:

$$S = 1,13ab \sum_1^n \pi \left(\frac{L_i}{W} \right)^{0,5} l_i + \frac{nreL_k}{2000\eta} \rho W^2 \left[\frac{1}{\mu^2} + 2 \ln \left(\frac{d_k}{d_0} \right)^2 + \frac{\lambda l}{d_k - d_0} \ln \frac{d_k}{d_0} - 1 \right] + \quad (13)$$

$$+ A_{ам.оч.} + B_{экс.оч.}$$

Из анализа уравнения (13) становится очевидно, что одним из определяющих факторов является характеристика вентиляторной установки, обслуживающей систему вытяжной вентиляции.

Как известно, характеристика вентилятора графически выражает связь между основными параметрами его работы [2]. В связи с этим энергоаудит указанных систем является основой для определения эффективности их работы, определения оптимального количества присоединенных участков для удаления вредных веществ. Полная характеристика вентилятора определенных геометрических размеров при перемещении воздуха неизменной плотности и неизменной частоте вращения выражает зависимость между производительностью – L , с одной стороны, давлением – P , мощностью – N и к.п.д. – η , с другой.

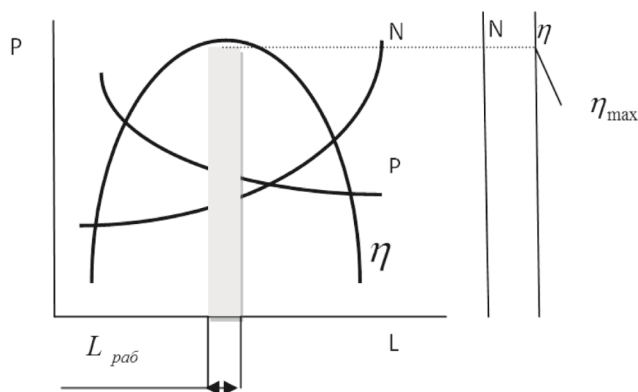


Рис. 3. Полная характеристика вентиляторной установки

Основная зависимость между давлением и производительностью $P-L$ – так называемая характеристика давления вентилятора (напорная характеристика).

Полные характеристики вентилятора весьма наглядно отражают особенности его работы и позволяют подобрать для данной сети воздухопроводов наиболее экономичный вентилятор.

На рис. 3 в качестве примера приведена полная характеристика вентилятора. На оси абсцисс откладывают L , а на оси ординат – P . Кроме этого, на оси ординат откладывают также значения N и η .

Передаваемую воздуху полезную мощность лопаточного вентилятора (кВт) можно вычислить по выражению (4).

Очевидно, что $\eta = 0$, при $L=0$ или $P=0$. Таким образом, характеристика $\eta - L=0$ (рис. 3), имея в начальной точке значения $\eta = 0$, должна при увеличении производительности возрастать до некоторого максимального значения η_{\max} и далее опять падать.

Значение максимального к.п.д. определяет основную характеристику вентилятора – его экономичность, но диапазон частоты вращения рабочего колеса можно регулировать частотой тока.

Производительность вентилятора, соответствующая максимальному к.п.д., является оптимальным показателем, который определяет соответствующий режим работы вентилятора – «оптимальный».

Таким образом, полная характеристика всасывающей сети должна соответствовать оптимальному режиму работы вентилятора.

Для работы вентиляторной установки в сети с переменным расходом предусматривается определенный запас мощности на увеличение объема удаляемого воздуха. Для «оптимальной» стабильной работы указанных систем необходимо использовать для регулирования частотный регулятор – вариатор числа оборотов.

Учитывая это, дополнительный объем воздуха, который должен удалить вентилятор, составит ΔL . Для самоочищающихся сетей $W=\text{const}$ и $P=\text{const}$ дополнительный запас мощности составит:

$$\Delta N = \frac{(L + \Delta L)P}{1000\eta_1} - \frac{LP}{1000\eta_2}. \quad (14)$$

Принимая $\eta_1 = \eta_2$, можно записать:

$$\Delta N = \frac{\Delta LP}{1000\eta_2}. \quad (15)$$

Указанный запас мощности должен быть принят на всю систему, например, систему, обслуживающую 80 укрытий электролизеров. В том случае, если 80 укрытий обслуживаются 2 системами, то этот запас должен приниматься на каждую систему. Соответственно, при двух системах запас мощности составит $2 \times \Delta N$, при трех системах – $3 \times \Delta N$, при четырех системах – $4 \times \Delta N$, и т.д.

Таким образом, из вышеизложенного следует, что чем меньше число вентиляционных систем, обслуживающих укрытия одного корпуса, тем меньше должно закладываться резервных мощностей на удаление дополнительного количества воздуха.

На основе проведенного аналитического анализа можно сделать следующие основные выводы:

1. Полная характеристика всасывающей сети должна соответствовать оптимальному режиму работы вентиляторных установок.

2. При наличии оборудования, работающего с переменным расходом удаляемого воздуха, например, укрытия алюминиевых электролизеров, следует стремиться к увеличению числа подсоединяющих участков и тем самым к снижению числа вентиляционных систем. Этим достигается снижение запаса мощности вентиляторных установок, предусмотренных на увеличение объема удаляемого воздуха.

3. Оптимальным вариантом компоновки всасывающей сети является тот вариант, который удовлетворяет минимальному значению годовых суммарных расходов на амортизацию и эксплуатацию вентиляционных и газоочистных установок.

4. Для энергоэффективного использования вентиляторной установки необходимо использовать для регулирования частотный регулятор – вариатор числа оборотов.

Список библиографических ссылок

1. Давыдов А.П., Валиуллин М.А. и др. Авт. св. № 1105868, 1983.
2. Давыдов А.П. Методика расчета воздухоприемников равномерного всасывания для аспирационных систем. / В сб. Исследования в области обеспыливания воздуха. – Пермь, 1980.
3. Асаул А.Н. Экономика недвижимости. 2-е изд. – СПб.: Питер, 2010. – 351 с.

Davidov A.P. – candidate of technical sciences, associate professor

E-mail: E-mail: ap_Davidov@mail.ru

Valiullin M.A. – candidate of technical sciences, associate professor

Gabdrafikov R.R. – post-graduate student

E-mail: rust413@yandex.ru

Kazan State University of Architecture and Engineering

The organization address: 420043, Russia, Kazan, Zelenaya st., 1

Determining the optimal number of sites connecting to the main process equipment suction network

Resume

Aluminum production for the removal of harmful substances from electroplating baths arranges exhaust having branched network scheme and a large number of connected sites. For efficient and economical operation of such networks, it is important to determine the optimal number of connections as sections and ventilation systems themselves.

Determining the optimal number of sections and ventilation systems shall be conducted on the basis of an energy audit of these systems. It is important to know the change of static and total pressure along the length of the network, the power of the fan unit and its location relative to the location of the network itself, the fan response. An option that will provide a minimum annual total costs of depreciation and operation of fan and sewage treatment plants would be the best.

Based on the analysis, it was found necessary to increase the number tends to connect the sites and thereby reduce the number of ventilation systems, a complete characterization of the network must comply with the suction optimal mode of operation of fan installations, the suction arrangement network should satisfy the minimum value of annual costs for depreciation

and maintenance of ventilation and gas cleaning plants; fan installation should have a frequency regulator.

Keywords: fan installation, ventilation network, the cost of depreciation and amortization.

Reference list

1. Davydov A.P., Valliullin M.A. and other authors. St. № 1105868, 1983.
2. Davydov A.P. Methods of calculating the air inlets for uniform suction aspiration systems. In Sat Research in the field of air dedusting. – Perm, 1980.
3. Asaul Real Estate Economics. 2-nd ed. – SPb.: Piter, 2010. – 351 p.