

УДК 621.63

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЕНТИЛЯТОРА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НАЧАЛЬНОГО И КОНЕЧНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ФИЛЬТРА

Гримитлин А. М.¹, Крупкин Г. Я.¹, Мухин В. А.²

¹ООО НПП «Экоюрис-Венто», Санкт-Петербург, Россия (190005, Санкт-Петербург, ул. Сердобольская, 65, Лит А), e-mail: ventproecteco@mail.ru

²ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», Санкт-Петербург, Россия (190005, Санкт-Петербург, ул.2-я Красноармейская,4) e-mail: muxini@mail.ru

Проведен графоаналитический анализ влияния изменения сопротивления воздушных фильтров на производительность вентилятора. Представлена зависимость полной характеристики сети при максимальной пылеемкости фильтра от соотношения начального и конечного сопротивления фильтра. В отличие от рукавных фильтров, где основное улавливание пыли происходит на поверхности фильтрующего материала, в воздушных фильтрах, применяемых в приточных и вытяжных установках, улавливание пыли происходит как на поверхности, так и в объеме фильтрующего материала. Общее сопротивление сети предлагается разделить на условно постоянные и переменные, к которым относится фильтрующий элемент, меняющий своё сопротивление в процессе эксплуатации за счёт запыления. Рассматривается связь периодичности замены фильтров с допустимым уменьшением производительности вентилятора, которая в свою очередь зависит от допустимых отклонений микроклиматических и пылегазовых параметров воздушной среды.

Ключевые слова: подбор вентилятора, ресурс фильтра, допустимого уменьшения расхода вентилятора, аэродинамическая характеристика сети, постоянные и переменные сопротивления сети.

GRAPHICALLY ANALYTICAL ANALYSIS OF CHANGES OF PRODUCTIVITY OF THE FAN DEPENDING ON INITIAL AND FINAL RESISTANCE OF THE FILTER

Grimitlin A. M.¹, Krupkin G. Ya.¹, Mukhin V. A.²

¹"Ecoyurus-vento", e-mail: ventproecteco@mail.ru

²Federal State Budget Educational Institution of Higher Professional Education «Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering », St. Petersburg, Russia (190005, St. Petersburg, 2nd Krasnoarmeyskaya St., 4), e-mail: ventproecteco@mail.ru

The graphic analytical analysis of influence of change of resistance of air filters on productivity of the fan is carried out. Various options of use of a resource of the filter with admissible reduction of productivity of the fan are considered. Dependence of a total characteristic of a network is presented at maximum a dust holding capacity from a ratio of initial and final resistance of the filter. Unlike hose filters where the main catching of a dust occurs on a surface of a filtering material, in air filters of applied stitched and recircular installations catching of a dust occurs both on a surface and in volume of a filtering material. The general resistance of a network is offered to be divided on conditionally constant and variable to which the filtering element changing the resistance in use at the expense of a dusting belongs. Communication of periodicity of replacement of filters with admissible reduction of productivity of the fan which in turn depends on tolerances of microclimatic and dust-gas parameters of the air environment is considered.

Keywords: fan selection, resource of the filter, admissible reduction of an expense of the fan, aerodynamic characteristic of a network, constants and variable resistance of a network.

Введение

Секция пылеулавливания в приточных и рециркуляционных вентиляционных системах является необходимой и существенно влияющей на выбор располагаемого давления вентилятора [1]. Очистка воздуха, как правило, производится методом фильтрации воздуха с помощью воздушных фильтров, сопротивление которых увеличивается в процессе эксплуатации и может составлять значительную часть общих потерь давления в сети. При

этом производительность вентилятора снижается. Необходимо увязывать максимальное допустимое снижение производительности вентиляторов с максимальным использованием ресурса фильтра (максимальной пылеемкостью). Наиболее существенно эти факторы проявляются при проектировании систем кондиционирования «чистых комнат», где, с одной стороны, снижение расхода производительности увязано с необходимыми перепадами давления между помещениями, а с другой стороны, используются дорогостоящие фильтры сверх высокой эффективности. В рукавных фильтрах, где основное улавливание пыли происходит на поверхности фильтрующего материала с последующей регенерацией [2], в воздушных фильтрах, применяемых в приточных и вытяжных установках, улавливание пыли происходит как на поверхности, так и в объёме фильтрующего материала и применение регенерации не производится, так как усложняется конструкция.

Основная часть

В данной статье рассматривается проблема оптимизации использования ресурса фильтра (пылеемкости) и допустимого уменьшения расхода вентилятора. Подбор вентилятора производится с учётом сопротивления всех элементов сети, которые можно разбить две группы: условно постоянные и переменные (изменяющиеся в процессе эксплуатации). Под условно постоянными принимаются участки воздуховодов, местные сопротивления, секции нагрева и охлаждения воздуха, условными их можно назвать потому, что в практическом применении секции обработки воздуха должны быть защищены фильтрами, а шероховатость воздуховодов и местных сопротивлений меняется незначительно [3,4]. К элементам с переменным сопротивлением относятся воздушные фильтры, сопротивление которых увеличивается по мере их запыления.

В данной статье приводится графоаналитический метод выбора конечного сопротивления фильтра с учётом допустимого снижения расхода подаваемого воздуха. Если подбор вентилятора производится по индивидуальной характеристике вентилятора, то рабочая точка на характеристике вентилятора при чистых фильтрах – точка 1 на рис. 1 – определяется графически, этой точке соответствует производительность вентилятора $L_{пр}$, полное сопротивление системы $\Delta P_{пр}$ при максимальном КПД вентилятора. Однако современное состояние теории турбомашин, к которым относятся вентиляторы, не позволяет достоверно составить аналитическое уравнение его характеристик, как правило, используются экспериментальные данные.

Условия движения воздуха по сети воздуховодов и местным сопротивлениям описываются уравнением параболы $P=kL^2$. Пересечение параболы и аэродинамической

характеристики вентилятора образует рабочую точку, которая графически определяет режим работы вентилятора.

По существующим рекомендациям конечное сопротивление фильтра не должно превышать начальное более чем в 3 раза [5]. Однако некоторые производители указывают допустимое сопротивление фильтров, превышающее начальное в 10 раз.

Целью данной статьи является анализ возможности использования допустимого сопротивления фильтра при обеспечении снижения производительности вентилятора не более определённой величины. В общем случае снижение производительности вентилятора задаётся не более 10 % от проектного расхода. Однако для общеобменной вентиляции, рассчитанной на поддержание заданной температуры в рабочей зоне, это снижение может достигать 30 %. Например, при незначительных тепловыделениях допустимый рабочий перепад температур в рабочей зоне должен составлять 3 °С, а возможное отклонение по рабочей зоне – 1 °С, в помещениях со строгим поддержанием температуры (микrokлиматические камеры) допустимое отклонение по температуре может составлять 0,1 °С. В этом случае уменьшение производительности вентилятора не должно превышать 3 %.

Допустимое снижение производительности вентилятора при конечном допустимом сопротивлении фильтра P_{ϕ}^k определяется по графику (рис.1).

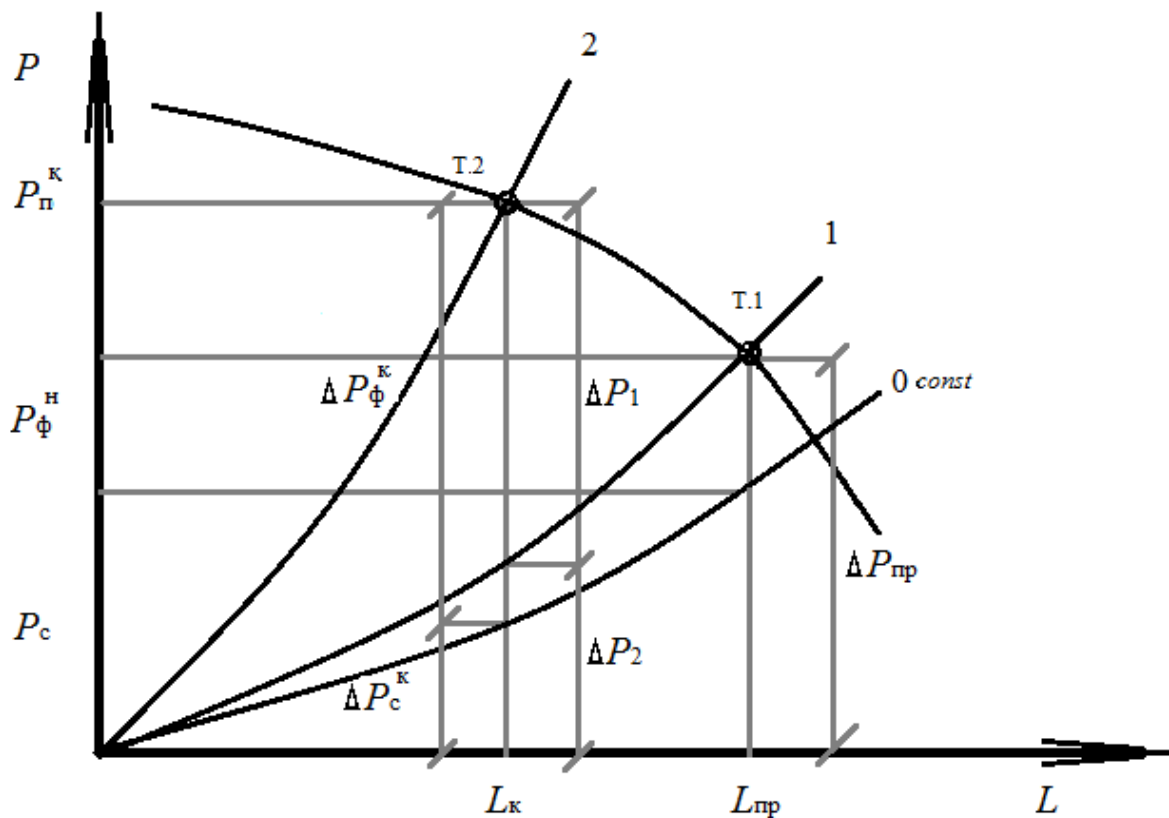


Рис.1. Графическое изображение работы вентилятора в режиме фильтрации

Условные обозначения

$L_{\text{пр}}$ – проектное значение производительности вентилятора;

L_{κ} – конечная допустимая производительность вентилятора;

ΔP_c^H – сопротивление сети без фильтров при проектном расходе;

ΔP_c^K – сопротивление сети без фильтров при конечном расходе;

ΔP_{ϕ}^H – начальное сопротивление (чистых) фильтров;

ΔP_{ϕ}^K – конечное допустимое сопротивление (запылённых) фильтров;

$\Delta P_{\text{пр}}$ – полное сопротивление сети с учётом начального сопротивления фильтров;

ΔP_{π}^K – полное сопротивление сети с учётом конечного сопротивления фильтров;

ΔP_1 – прирост сопротивления фильтра при конечном расходе;

$\alpha = L_{\kappa}/L_{\text{пр}}$ – допустимое относительное предельное уменьшение производительности вентилятора;

$\Delta P_2 = \Delta P_{\text{пр}} \alpha^2$ – полное сопротивление сети с учётом начального сопротивления фильтров при расходе L_{κ} ;

k_1, k_2 – константы характеристик сети в начале и конце режима фильтрации.

$$\frac{\Delta P_{\text{н}}^{\text{к}}}{\Delta P_2} = \frac{\Delta P_2 + \Delta P_1}{\Delta P_2} = 1 + \frac{\Delta P_1}{\Delta P_2} \quad (1)$$

$\Delta P_1 = \Delta P_{\text{ф}}^{\text{к}} - \Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}} \alpha^2$, отношение отрезков $\frac{\Delta P_{\text{ф}}^{\text{к}}}{\Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}}} = m$, тогда $\Delta P_{\text{ф}}^{\text{к}} = m \Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}}$, а

$\Delta P_1 = m \Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}} - \Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}} \alpha^2$, подставляем в (1)

$$\frac{\Delta P_{\text{н}}^{\text{к}}}{\Delta P_2} = 1 + \frac{m \Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}} - \Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}} \alpha^2}{\Delta P_2} = 1 + (m - \alpha^2) \frac{\Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}}}{\Delta P_2} \quad (2)$$

или

$$\frac{\Delta P_{\text{н}}^{\text{к}}}{\Delta P_2} = 1 + \left(\frac{\Delta P_{\text{ф}}^{\text{к}}}{\Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}}} - \alpha^2 \right) \frac{\Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}}}{\Delta P_2} \quad (3)$$

Уравнение (3) решаем относительно $\Delta P_{\text{н}}^{\text{к}}$,

$$\Delta P_{\text{н}}^{\text{к}} = \left[1 + \left(\frac{\Delta P_{\text{ф}}^{\text{к}}}{\Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}}} - \alpha^2 \right) \frac{\Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}}}{\Delta P_2} \right] \Delta P_{\text{пр}} \alpha^2 \quad (4)$$

Уравнение (3) решаем относительно $\Delta P_{\text{ф}}^{\text{н}}$,

(5)

Выражаем отношение $\frac{\Delta P_{\text{н}}^{\text{к}}}{\Delta P_2} = \frac{\kappa_2 L_{\kappa}}{\kappa_1 L_{\kappa}}$ с учётом этого и подстановки отношения в формулу (3),

(6)

Уравнение (6) выражаем относительно κ_2 ,

(7)

Как видно из зависимости (7), увеличение характеристики k_2 зависит пропорционально отношениям $\Delta P_{\phi}^H / \Delta P_2$ и $\Delta P_{\phi}^K / \Delta P_{\phi}^H$

Рассмотрим пример анализа изменений сопротивления фильтра с заданным падением расхода. Исходные данные: $L_{np}=3000 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\Delta P_{np}=400 \text{ Па}$, выбран вентилятор ВР 86-77-4,0, фильтр ФЯК $\Delta P_{\phi}^H=50$, $L_k=2700 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\Delta P_c^H=350 \text{ Па}$. По индивидуальному графику характеристики вентилятора определяем ΔP_{np}^K при $L_k=2700 \text{ м}^3/\text{ч}$, $\Delta P_{np}^K=500 \text{ Па}$. Решаем эту задачу, подставляя в уравнение (5)

$$\Delta P_{\phi}^K = 500 - 400 \times 0,81 + 50 \times 0,81 = 216,5 \text{ Па}$$

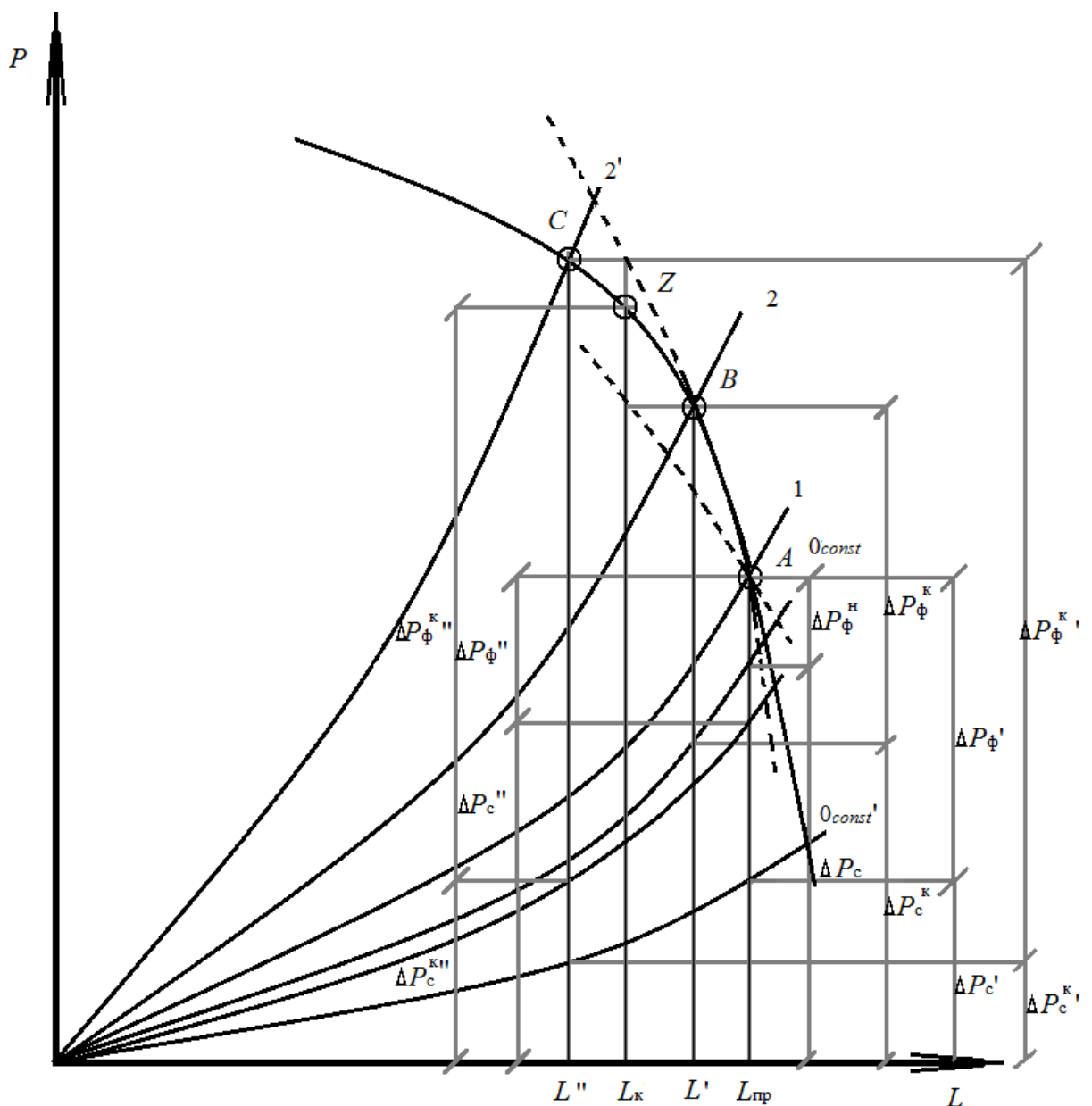


Рис. 2. Рассмотрены различные варианты режимов фильтрации в зависимости от отношений

$$\Delta P_{\phi}^H \text{ и } \Delta P_c^H$$

На рисунке 2 представлены возможные варианты изменения падения расхода вентилятора в зависимости от начального и максимально допустимого сопротивления фильтра.

Первый вариант: с начальным соотношением $\Delta P_{\phi}^H / \Delta P_c$ при запылении фильтра этой сети на предельно допустимое значение, характеристика сети переходит в точку «В» пересечения k_2 с характеристикой вентилятора. При этом достигнуто максимальное допустимое сопротивление для данного фильтра, но уменьшение расхода ещё не достигло своего минимального возможной величины L_k . Это приводит к необходимости более частой замены фильтров.

Второй вариант: здесь $\Delta P_{\phi}^{H'} / \Delta P_c' > \Delta P_{\phi}^H / \Delta P_c$, тогда при запылении фильтра на предельно допустимое значение характеристика сети переходит в точку «С». При этом уменьшение производительности вентилятора выходит за рамки допустимого, и критерий замены фильтра будет определяться по расходу L_k . Это будет приводить к неполному использованию ресурса фильтра.

Наилучшим решением этих вариантов является подбор вентилятора, при котором предельное допустимое значение сопротивления фильтра обеспечивает допустимое снижение производительности вентилятора. Такие характеристики вентиляторы на рис.2 показаны пунктиром, а для данного вентилятора оптимальным будет такое соотношение $\Delta P_{\phi}^{H''} / \Delta P_c''$, при котором конец режима фильтрации соответствует точке «Z».

Заключение

- 1) Полученная аналитическая зависимость для определения конечного сопротивления воздушного фильтра ΔP_{ϕ}^k при заданном допустимом отклонении производительности вентилятора от проектного значения.
- 2) Получена аналитическая зависимость константы k^2 характеристики сети в конце режима фильтрации, обеспечивающие связь с допустимым отклонением производительности вентилятора от проектного значения.

Список литературы

1. Альтшуль А. Д., Киселев П. Г. Гидравлика и аэродинамика (основы механики жидкости): Уч. пособие для вузов. Изд. 2-ое, перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1975. С.265-267.

2. Воскресенский В. Е. Системы пневмотранспорта, пылеулавливания и вентиляции // Политехника. 2009. – С.124-135.
3. Гримитлин А. М., Дацук Т. А., Крупкин Г. Я. и др. Отопление, вентиляция производственных помещений // АВОК Северо-Запад. – С. 365-374.
4. Идельчик И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям. – М.: Машиностроение, 1965. 560 с.
5. Справочник проектировщика. – М.: Стройиздат, 1977. – С. 80; таблица 4.2.

Рецензенты:

Воскресенский Владимир Евгеньевич, д.т.н., профессор каф. теории механизмов деталей машин в подъемно-транспортных устройствах ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет», г. Санкт-Петербург.

Юрманов Борис Николаевич, д.т.н., профессор кафедры вентиляции, отопления и кондиционирования воздуха ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», г. Санкт-Петербург.