

# ОБОСНОВАНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФИЛЬТРОЭЛЕМЕНТОВ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЕЙ КОМПРЕССОРОВ АВТОМОБИЛЕЙ-ЦЕМЕНТОВОЗОВ

**Каримжон Исмаилович Ибрахимов**

доцент, кафедры «Автомобиль и автомобильное хозяйство», ТГТрУ, к.т.н.

## АННОТАЦИЯ

На основе нами ранее проведенных лабораторно стендовых испытаний был выбран фильтрационный материал для изготовления фильтроэлемента воздушного фильтра. В работы были обоснованы параметры цилиндрического фильтрационного элемента: площадь фильтрующей шторы, наружный и внутренний диаметры, высота, длина и ширина фильтрующей шторы, ширина гофров и их количество. Основными исходными данными для обоснования параметров фильтроэлемента являлись: расход воздуха, площадь фильтрующей шторы, планируемая продолжительность работы до сервисного обслуживания, реальная запыленность воздуха, удельная поверхность пыли, вид фильтрующего материала. Из выбранного материала были изготовлены фильтроэлементы для воздушного фильтра компрессора автоцементовоза. В работе показано, что максимальная площадь фильтрующей шторы в заданном габарите цилиндрического фильтроэлемента будет при соотношении его наружного и внутреннего диаметров 1:2, если шаг между гофрами постоянный. Помимо этого, расчетным методом обоснован оптимальный шаг гофров фильтрующей шторы.

**Ключевые слова:** воздушный фильтр, фильтроэлемент, фильтрационный материал, расход воздуха, скорость фильтрации, продолжительность работы, реальная запыленность воздуха, удельная поверхность пыли, шаг гофров, автоцементовоз, сервисное обслуживание.

## ABSTRACT

Based on our previously conducted laboratory bench tests, we selected a filtration material for the manufacture of an air filter filter element. The work substantiated the parameters of a cylindrical filtration element: area of the filter curtain, outer and inner diameters, height, length and width of the filter curtain, width of the corrugations and their number. The main initial data for justifying the parameters of the filter element were: air flow, area of the filter curtain, planned duration of operation before service, actual dust content of the air, specific surface area of the dust, type of filter material. A filter element for the air filter of the cement truck compressor was made



from the selected material. The work shows that the maximum area of the filter curtain in a given size of a cylindrical filter element will be when the ratio of its outer and inner diameter is 1:2, if the pitch between the corrugations is constant. In addition, the optimal pitch of the filter curtain was substantiated by the calculation method.

**Keywords:** air filter, filter element, filtration material, air flow, filtration rate, duration of operation, real dust content, specific dust surface, spacing of corrugations, truck truck, service.

## ВВЕДЕНИЕ

На основании результатов проведенных исследований для изготовления опытных образцов фильтрационных элементов фильтра компрессора РК-6/1 пневматической системы автомобилей-цементовозов С-972 был выбран гидрофобный картон КТФВ-155 с условной пористостью 155 мм вод ст.

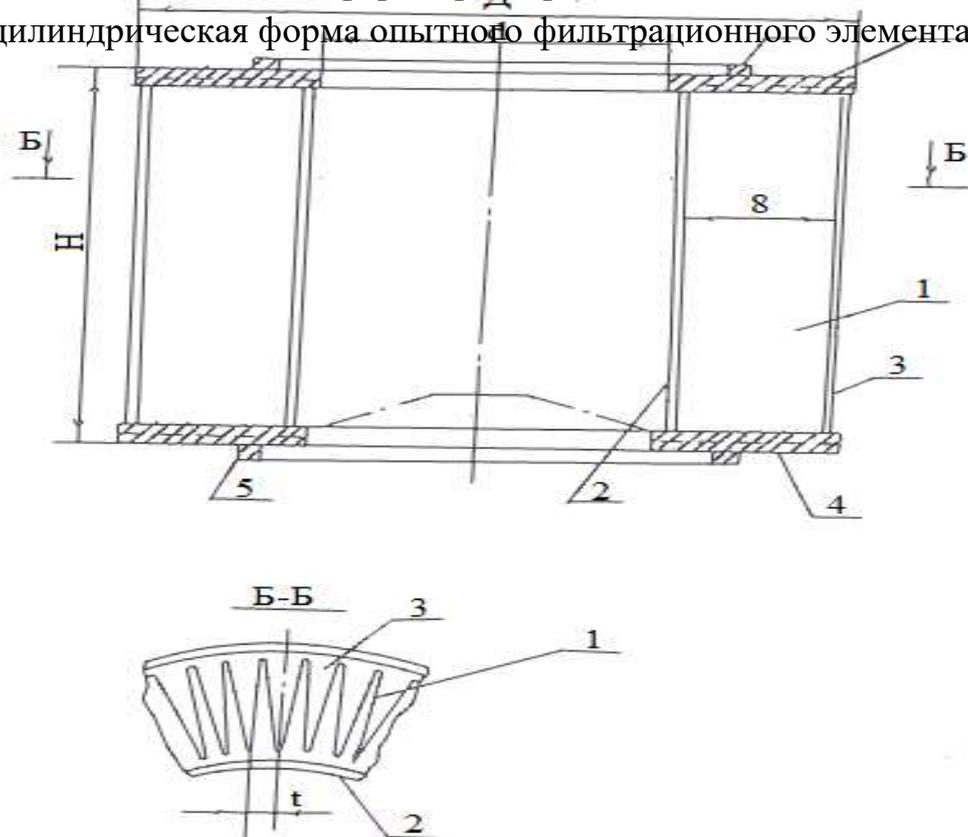
Конструкция фильтрационного элемента, предназначенного для очистки воздуха, может иметь самые разнообразные формы: цилиндрическую, коническую, прямоугольную, панельную (плоскую), эллипсную и т.д. Применение фильтрационного элемента соответствующего вида прежде всего определяется возможностями компоновки и конструктивными схемами воздушного фильтра сухого типа [1,2,3].

Широкое распространение получили фильтрационные элементы цилиндрической формы со звездообразной гофрированной шторой, позволяющие в заданном объеме разместить большую площадь фильтрационного материала. Основными преимуществами таких фильтроэлементов по сравнению с другими являются компактность конструкции, технологичность изготовления, высокий коэффициент удельной поверхности, надежность уплотнения, подобие формы цилиндрических фильтроэлементов корпусам инерционно-масляных фильтров, что позволяет осуществить их взаимозаменяемость при установке на ротационных компрессорах[3,4].

Цилиндрический фильтроэлемент (рис. 1) состоит из звездообразной гофрированной картонной шторы 1, которая заключена между внутренней 2 и наружной 3 перфорированными обечайками.

Торцы обечаек и штор закрываются крышками 4 и заливаются специальным составом, уплотняющим и герметизирующим их. На крышках фильтроэлемента приклеиваются уплотнения 5, выполненные из губчатой или литой профилированной резины.

На основании анализа форм фильтрационных элементов, нами была выбрана цилиндрическая форма опытного фильтрационного элемента.



**Рис.1. Цилиндрический фильтрационный элемент:**

1-гофрированная картонная штора; 2,3-внутренняя и наружная предохранительные обечайки; 4-крышка; 5-резиновая прокладка.

Продолжительность или ресурс работы фильтрационного элемента до технического обслуживания зависит от расхода воздуха  $Q$ , запыленности воздуха  $\phi_1$ , величины удельной поверхности улавливаемой пыли  $S$ , площади шторы  $F$  и вида применяемого фильтрационного материала  $\rho$ . При заданной величине расхода воздуха  $Q_H$  активная площадь шторы фильтрационного элемента  $F$  определяется из условия неразрывности потока воздуха по формуле.

$$F = \frac{Q_H}{V} ; \quad (1)$$

где,  $V$  – скорость фильтрации или воздушная нагрузка на картон,  $\text{м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{ч}$ .

Как видно из формулы (1), воздушной нагрузкой в основном определяется требуемая поверхность шторы в фильтрационном элементе. При завышенных значениях  $V$  площадь шторы может быть настолько мала, что ресурс работы фильтроэлемента будет недостаточен. При слишком заниженных значениях  $V$  значительно возрастут габариты фильтроэлемента. С другой стороны, при проектировании фильтроэлементов воздушную нагрузку желательно выбирать так, чтобы выполнялось

условие ламинарности течения воздуха через фильтра-ционный материал.

Для цилиндрических фильтроэлементов определенных габаритов площадь фильтрующей шторы (см.рис.1) определяется по формуле

$$F = L * H ; \quad (2)$$

где,  $L, H$  – длина и высота шторы, м.

Длина фильтрующей шторы  $L$  определяется из выражения

$$L = 2 n B = n (O - d) ; \quad (3)$$

где,  $n = \frac{\pi d}{t}$  - число гофров картонной шторы, шт;

$t$  – шаг гофров фильтрующей шторы по внутреннему диаметру, м;

$B$  – ширина гофра, м;

$O, d$  – соответственно наружный и внутренний диаметр шторы, м.

Подставив в формулу (2) значения  $L$  и  $n$ , получим

$$F = \frac{\pi d}{t} (O - d) * H ; \quad (4)$$

Максимальная поверхность шторы (если  $O = \text{const}$ ) фильтроэлемента будет при  $dF / d(d) = 0$ ;

$$\frac{dF}{d(d)} = \frac{\pi H}{t} (O - 2d) = 0 ; \quad (5)$$

откуда  $O - 2d = 0$ ;  $d = 0,5O$ .

Из формулы (5) следует, что максимальная площадь фильтрующей шторы в заданном габарите цилиндрического фильтроэлемента будет при соотношении его наружного и внутреннего диаметров 1:2, если шаг между гофрами постоянный.

Подставив значение  $d$  в формулу (4), получим

$$F = \frac{\pi}{4t} O^2 * H ; \quad (6)$$

Приравняв левые части уравнений (1) и (6) и произведя соответствующие преобразования, находим

$$O = 2 \sqrt{\frac{t * Q_H}{\pi * V * H}} ; \quad (7)$$

или

$$H = \frac{4}{\pi} * \frac{t * Q_H}{V * O^2} ; \quad (8)$$

Зная номинальный часовой расход воздуха  $Q_H$ , выбрав определенную воздушную нагрузку  $V$ , по формулам (7) и (8) определяем соответственно диаметр и высоту фильтрующей шторы. Полученные расчетом диаметр  $O$  и высоту  $H$  шторы сопоставляют в соответствии с габаритными размерами фильтра. При этом необходимо иметь в виду результаты, исследований фильтроэлементов, т.е. с

увеличением высоты картонной шторы  $H$  удельная пылеемкость фильтроэлемента уменьшается. Это обстоятельство вызвано, тем что при большой высоте гофры шторы фильтроэлемента из-за значительного прогиба под воздействием перепада давления соприкасаются друг с другом и тем самым часть поверхности фильтрационного материала исключается из работы [5,6,7]. Шаг между гофрами  $t$  при заданных габаритах оказывает существенное влияние на продолжительность работы фильтроэлемента до технического обслуживания. При больших значениях  $t$  уменьшается площадь шторы в заданном объеме фильтроэлемента, следовательно, не полностью используется объем фильтроэлемента. При значительном уменьшении  $t$  гофры могут слипаться друг с другом, в результате часть поверхности картона не будет участвовать в работе.

Исследованиями установлено, что каждой ширине гофров картонной шторы соответствует свой оптимальный шаг  $t_{onm}$ , который определяется по следующему выражению:

$$t_{onm} = \sqrt[3]{\frac{B^2}{12,1 * \Delta P_{CT}}} ; \quad (9)$$

где,  $\Delta P_{CT}$  - сопротивление фильтрационного материала при стандартной скорости фильтрации ( $V = 0,05$  л/мин\*см<sup>2</sup>), Па.

Подставив в уравнение (9) оптимальное значение ширины гофра

$$B = \frac{0-d}{2} = \frac{0-0,5}{2} = 0,25 \text{ O};$$

получим

$$t_{onm} = 0,08 \sqrt[3]{\frac{0^2}{0,1 * \Delta P_{CT}}} ; \quad (10)$$

На начальной стадии проектирования шаг гофров  $t$  может быть определен по эмпирической формуле.

$$t = (6 - 8) * t_k ; \quad (11)$$

где,  $t_k$  – толщина фильтровального картона, мм.

Из формулы (11) видно, что шаг гофров  $t$  зависит от толщины применяемого фильтрационного материала. Меньшее значение коэффициента берется для более тонкого фильтрационного материала и меньшей ширины гофров картонной шторы.

Наружный диаметр  $O_1$ , внутренний диаметр  $d_1$  и высота  $H_1$  (рис.1) фильтроэлемента с учетом перфорированных обечаек и торцевых уплотнений рассчитывается по следующим формулам:

$$O_1 = (O + 2 \Delta r + 2\delta_0 + 2\delta_k) ; \quad (12)$$

$$d_1 = (d - 2 \Delta r - 2\delta_0 - 2\delta_k) ; \quad (13)$$

$$H_1 = H + 2 \Delta h ; \quad (14)$$

где,  $\Delta r$  – технологический зазор между фильтрующей шторой и предохранительными обечайками, равный 1-3 мм;

$\delta_0$  – толщина материала предохранительных обечаек, равная 0,3 – 0,5 мм;

$\Delta h$  – высота торцевых уплотнений, равная 5-8 мм;

$\delta_k$  – толщина материала торцевых крышек, равная 0,5-0,8 мм.

Внутренний диаметр корпуса воздушного фильтра  $O_K$  в соответствии с накопленным опытом применения сухих фильтров в автотракторной промышленности обычно на 40-60 мм больше наружного диаметра фильтрационного элемента и составляет [8,9,10].

$$O_K = [O_1 + (40 \div 60)] \quad (15)$$

Высота корпуса фильтра  $H_K$  обычно превышает на 20-30 мм высоту фильтрационного элемента:

$$H_K = [H_1 + (20 \div 30)] \quad (16)$$

Площадь фильтрации и геометрические размеры опытного фильтро-элемента были рассчитаны с помощью формул (6) – (16).

## ВЫВОДЫ

1. На основе анализа разнообразных форм фильтрационных элементов нами выбран фильтрационный элемент цилиндрической формы со звездообразной гофрированной шторой, позволяющий в заданном объеме разместить большую площадь фильтрационного материала.
2. Для расчета геометрических параметров фильтрационного элемента необходимы следующие основные данные: фактическая запыленность работы в условиях работы элемента, величина удельной поверхности улавливаемой пыли, скорость фильтрации запыленного воздуха, расход воздуха.
3. На основе проведенного расчета и исследования аэродинамического сопротивления фильтрационного материала обосновано:
  - максимальная площадь фильтрующей шторы в заданном габарите фильтроэлемента будет при соотношении его наружного и внутреннего диаметров 1:2, если шаг между гофрами постоянный.
  - каждой ширине гофров картонной шторы соответствует свой оптимальный шаг гофров.
4. Полученные результаты могут быть использованы при разработке конструкций цилиндрических воздушных фильтроэлементов компрессоров и двигателей внутреннего сгорания.

## REFERENCES

1. Техническая эксплуатация автомобилей под редакцией профессора Е.С.Кузнецова, М., Наука, 2004, 536 с.
2. Основы теории надежности и диагностики. Таджибаев А.А., Сидикназаров К.М., Ибрахимов К.И., Кузнецов Н.В. Учебник для ВУЗов, Ташкент, Из-во: VNESHINVESTROM, 2019 – 256 с.
- 3.Ибрахимов К.И. Повышение эксплуатационной надежности пневматической системы автомобилей-цементовозов. Дисс. на степ. канд. техн. наук МАДИ.-1982-216 с.
4. Лахтин Ю.Б. Исследование воздухоочистителей с фильтропатронами в целях повышения долговечности ДВС: - Дисс. на степен. к.т.н. МАДИ.-1974.-168 с
5. Ибрахимов К.И., Туракулов Б.Х. Исследование дисперсного состава пыли в условиях эксплуатации автомобилей цементовозов. Международная научно-практическая конференция, Андижанский машино-строительный институт, 2018 г.
6. Ибрахимов К.И., Туракулов Б.Х. «Development of recommendations on effective operation of air filters of buses Mercedes-Benz in the conditions of Tashkent». Сборник материалов 104-ой международной научно-технической конференции. Туринский политехнический университет в г.Ташкенте 19-20 сентября 2018 года.
7. Ибрахимов К.И., Туракулов Б.Х. Разработка рекомендаций по эффективной эксплуатации воздушных фильтров автобусов Мерседес-Бенц в условиях г.Ташкента. Вестник ГАДИ №1, 2018 г.
8. Крамаренко Г.В., Ибрахимов К.И., Карпекина Т.П. Исследование качества очистки воздуха и повышение надежности пневматической системы автомобилей-цементовозов ЭИ: Конструкции автомобилей, - М.: НИИН автопром, 1981, вып.5, с.23-32.
9. Ибрахимов К.И., Туракулов Б.Х., Рахматуллаев Н.Н. Эффективность восстановленных воздушных фильтрующих элементов. Сборник материалов III Международной научно-практической конференции. Андижанский машино-строительный институт, 2016 г.
10. Дьяков Р.А., Воздухоочистка в дизелях.-Л: Машиностроение, 1975.-151 с.

