

Возгрин Ю.В., Иванов Ю.П., Климов В.Ф., Лазурко А.В., Михайлов В.В.

**ГИДРОДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КАК МЕТОД ИССЛЕДОВАНИЯ  
АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ВОЗДУХООЧИСТКИ**

**Постановка задачи**

При проектировании силовых установок машин специального назначения актуальным вопросом является создание эффективной системы воздухоочистки.

При ограниченных объемах моторно-трансмиссионного отделения создание воздухоочистителей с новыми характеристиками по аэродинамическому сопротивлению и пропуску пыли является технически сложной задачей.

Расчет отдельных элементов системы очистки воздуха из-за множеств неопределенностей не всегда соответствует реальным характеристикам. Исходя из этого, важным элементом в создании системы очистки воздуха являются экспериментальные исследования.

Учитывая некоторые сложности изготовления натуральных образцов, зачастую предпочтение отдается моделям, выполненным с соблюдением критериев геометрического подобия.

Условием гидродинамического моделирования является подобие геометрическое: как границы потоков, так и обтекаемые ими элементы в натуре и в модели должны быть геометрически подобны, равенство соотношений скоростей в соответствующих точках натурального и модельного потоков и одинаковую относительную направленность скоростей в этих точках и т.д. Соотношение различных сил устанавливаются числами (критериями) гидродинамического подобия: критерий Рейнольдса, критерий Эйлера, критерий Маха, критерий Фруда и обуславливается равенством этих критериев для модельного и натурального потоков [1].

**Актуальность темы**

В настоящей работе рассмотрены методы оценки конструктивных составляющих элементов модельных и натуральных воздухоочистителей.

В работе описаны эффекты изменения аэродинамических характеристик воздухоочистителя в зависимости от изменения мощности двигателя силовой установки. Использование метода гидродинамического подобия при проектировании системы очистки воздуха позволяет сократить трудоемкость изготовления и уменьшает энергозатраты при испытаниях.

Для полной уверенности в справедливости результатов выполненного анализа необходимо проведение дополнительной проверки полученных результатов, а также введение коэффициентов перехода от модели к натурному образцу при определении основных характеристик системы очистки воздуха.

**Изложение основного материала**

Как правило, разработка современной системы очистки воздуха представляет собой технически сложную инженерную задачу, решение которой основывается на высоких требованиях, предъявляемых к силовым установкам. В первую очередь необходимо обеспечить высокую степень очистки воздуха при минимальном аэродинамическом сопротивлении. Эти параметры всегда находятся в противоречии, т.к. высокая степень очистки воздуха связана с высоким аэродинамическим сопротивлением, что может привести к дополнительным потерям объектовой мощности двигателя и даже к помпажным явлениям компрессора наддувочного воздуха. Помпажные явления характеризуются резкими знакопеременными изменениями давления и расхода воздуха при постоянной частоте двигателя, что может привести к механическим разрушениям элементов газоздушного тракта двигателя. Поэтому удовлетворение требований по аэродинамическому сопротивлению и степени очистки воздуха необходимо выполнять только по результатам глубоких исследований как стендовых, так и натуральных. Исходя из этого, система очистки воздуха представляет собой многоступенчатый комплекс, предусматривающий различные условия эксплуатации, в т.ч. экстремальные, например движение в пустыне при высокой запыленности воздуха. Основным элементом, в котором происходит очистка воздуха, является циклонный аппарат.

Циклон представляет собой коническую или цилиндрическую трубку, у одного торца которой имеется входное устройство для закрутки потока воздуха при осевом направлении потока или патрубков на стенке корпуса при тангенциальном направлении потока. С другого торца корпуса циклона установлена центральная трубка, куда попадает очищенный воздух. Несмотря на конструктивную простоту циклонов, процесс пылеотделения в них сложен и до настоящего времени достаточно не изучен.

Исследования процессов перемещения турбулентной струи в циклоне опирается на эмпирическую теорию, которая требует задания определенных констант, что конечно, не проникает глубоко в сущность явления. В связи с этим, необходимо при проведении эксперимента измерять величины, входящие в состав критериев гидродинамического подобия, моделируя перемещения воздуха и твердых частиц. Поток воздуха в циклоне пространственный, вихревой и в значительной степени турбулентный.

При проведении эксперимента учитываются начальные условия истечения, которые существенно влияют на аэродинамические характеристики турбулентной струи в циклоне. Параметры течения определяются в выходном сечении циклона (профили скорости и скорости закрутки, температуры и концентрации примеси, энергии и масштаба турбулентности). Изменение происходит при течении в начальном и основном участках циклона турбулентных струй.

Характер потока воздуха определяется конструкцией циклона и зависит от соотношения его геометрических размеров. Скорости движения потока воздуха, формы частиц пыли, а также силы, действующей на частицы пыли, затрудняют разработку методов расчета циклонов с точностью, достаточной для практического применения при проектировании систем воздухоочистки. В практике расчета систем воздухоочистки обычно используют характеристики циклонов, полученные экспериментально. Большой объем экспериментальных данных по циклонам позволяет применять метод расчета эффективности циклонов, основанный на теории подобия, и производить расчет характеристик геометрически подобных циклонов в их рабочем диапазоне, как на определенном дисперсном составе пыли, так и на различных видах пыли при изменении условий работы циклонов в широком диапазоне [5].

При повышении мощности двигателя увеличивается расход воздуха и для сохранения удельного расхода воздуха через один циклон необходимо увеличить количество циклонов, что приводит к увеличению габаритов воздухоочистителя. Для уменьшения объема воздухоочистителя при сохранении качественных характеристик очистки воздуха, необходимо уменьшение габаритов самих циклонов. Уменьшение габаритов циклона проводится по методике моделирования с выбранным коэффициентом по всем геометрическим размерам, определяющим характеристику циклона.

Созданная модель даст возможность экспериментально получить сравнительные характеристики циклона при варьировании размерами корпуса циклона и центральной трубки циклона.

Важной ступенью очистки воздуха являются кассеты многоразового применения, представляющие собой кожух с набивкой из гофрированной проволоки, пропитанной дизельным топливом и моторным маслом.

Созданная модель воздухоочистителя позволит получить характеристики очистки воздуха при изменении параметров кассеты, а также оценить влияние этих параметров на работу воздухоочистителя. Основными параметрами кассеты являются величины удельной плотности и удельной скорости воздушного потока. При минимальных затратах на изготовление появится возможность варьировать различной плотностью набивки кассеты, диаметром проволоки, высотой фильтрующего слоя кассеты, площадью фронтальной поверхности кассеты. Появится возможность применения различных материалов для наполнителя кассеты.

Для определения аэродинамических и пылевых параметров модельных и натуральных воздухоочистителей, с последующей их сравнительной оценкой, проводятся испытания модели воздухоочистителя на стенде, схема которого приведена на рисунке 1. Испытания проводятся по разработанной программе [4].

Испытания одноступенчатых воздухоочистителей (типа циклонного аппарата) проводят сериями опытов продолжительностью от 30 до 60 мин (при частичном отборе) и не менее 1 ч (при фильтрации потока). Количество серий должно быть не менее двух. Количество опытов в серии – четыре. В результате проведения данных испытаний определяются значения аэродинамического сопротивления циклонного аппарата модели воздухоочистителя ( $N_{в0}$ ), коэффициент отсоса эжектора удаления пыли из пылесборника ( $q$ ) и коэффициент пропуска пыли воздухоочистителя ( $\xi_1$ ).

При определении коэффициента пропуска пыли воздухоочистителя ( $\xi_1$ ) методом полной фильтрации потока воздуха в мерном участке трубопроводов за испытываемым воздухоочистителем устанавливается фильтр, в котором в качестве фильтрующих элементов могут использоваться различные ткани (например, ткань Петрянова), которые перед установкой в фильтр предварительно взвешиваются. Задержанная фильтром пыль определяется по разности конечного и исходного весов, и является полным количеством пыли, не очищенной испытываемым воздухоочистителем. Однако применение этого метода в условиях больших расходов воздуха через фильтр требует использования мощного источника разрежения для преодоления сопротивления всего мерного участка и создания необходимой скорости потока воздуха, большой протяженности трубопроводов, необходимых для соблюдения норм длины мерного участка, а также ресивер (успокоитель) для выравнивания скоростей потоков воздуха в определенных участках. Вследствие этого использование метода полной фильтрации представляется более эффектив-

ным в условиях малых расходов воздуха и небольшого количества пыли, улавливаемой фильтроэлементом.

Отличие метода частичного отбора основано на отборе части воздушного потока воздуха отборной трубкой, установленной в мерном сечении трубопроводов на расчетной высоте, что позволяет впоследствии по формулам приведения пересчитать количество пыли, не очищенное воздухоочистителем и в значительной степени снижает габаритные размеры стенда, а также требования к мощности используемого оборудования (турбокомпрессора) для преодоления сопротивления всей трассы и создания необходимой скорости потока воздуха, поэтому чаще применяется метод частичного отбора.

В результате проведения испытаний определяются значения аэродинамического сопротивления циклонного аппарата модели воздухоочистителя ( $H_{в/о}$ ), коэффициент отсоса эжектора удаления пыли из пылесборника и коэффициент пропуска пыли ( $\xi_1$ ).

Аэродинамическое сопротивление определяется по разности полного давления  $H_p$  в мерном сечении моторной трассы (рисунок 1) при испытании с циклонным аппаратом и со свободным входом, т.е.  $H_{в/о} = H_{пу} - H_{пс}$  (Па). Приведенная к нормальным условиям величина  $H_{пс}$  постоянна для стенда и определяется заранее.

Коэффициент пропуска ( $\xi_1$ ) представляет собой отношение запыленности воздуха за циклонным аппаратом  $\Psi_2$  к запыленности воздуха на входе в воздухозаборное устройство  $\Psi_1$ , выраженное в процентах:

$$\xi_1 = \frac{\Psi_2}{\Psi_1} \cdot 100 \% \quad (1)$$

После установки модели воздухоочистителя на стенд без воздухозаборного устройства определяется величина расхода моторного воздуха, которая выбирается из расчета воздушной нагрузки на один циклон соответствующего воздухоочистителя, а коэффициент отсоса устанавливается в соответствии с техническими условиями (ТУ) на данный воздухоочиститель [6].

Коэффициент отсоса ( $q$ ) представляет собой процентное отношение расхода воздуха, идущего на удаление пыли из пылесборника ( $G_{отс}$ ) к расходу моторного воздуха ( $G_m$ ):

$$q = G_{отс} / G_m \cdot 100 \% \quad (2)$$

Расходы моторного и отсасываемого воздуха устанавливаются методом последовательных приближений.

В процессе проведения аэродинамических испытаний макета воздухоочистителя, определяются следующие параметры:

- атмосферное давление  $P_б$ , Па;
- температура окружающего воздуха  $t_{окр}$ , °C;
- температура моторного воздуха  $t_m$ , °C;
- температура сжатого воздуха  $t_c$ , °C;
- перепад давлений по мерной диафрагме моторного воздуха  $\Delta H_m$ , Па;
- разрежение перед диафрагмой моторного воздуха  $\Delta H_{д}$ , Па;
- перепад давлений по мерному коллектору трассы отсоса  $\Delta H_k$ , Па;
- перепад давлений по мерной диафрагме трассы сжатого воздуха  $\Delta H_c$ , Па;
- давление перед мерной диафрагмой трассы сжатого воздуха  $H_c$ , Па;
- разрежение перед коллектором трассы отсоса  $H_k$ , Па;
- расход моторного воздуха  $G_m$ , кг/с;
- полное давление в мерном участке моторной трассы  $H_p$ , Па;
- статическое давление в мерном участке моторной трассы  $H_{ст}$ , Па.

После проведения испытаний проводится обработка полученных результатов. Измеренные значения полного  $H_p^{изм}$  и статического  $H_{ст}^{изм}$  давлений в мерном участке приводятся к нормальным условиям по формулам (3) и (4):

$$H_p^{пр} = H_p^{изм} \cdot \frac{P_б}{273 + T} \cdot \frac{293}{760} \quad (3)$$

$$H_{ст}^{пр} = H_{ст}^{изм} \cdot \frac{P_б}{273 + T} \cdot \frac{293}{760} \quad (4)$$

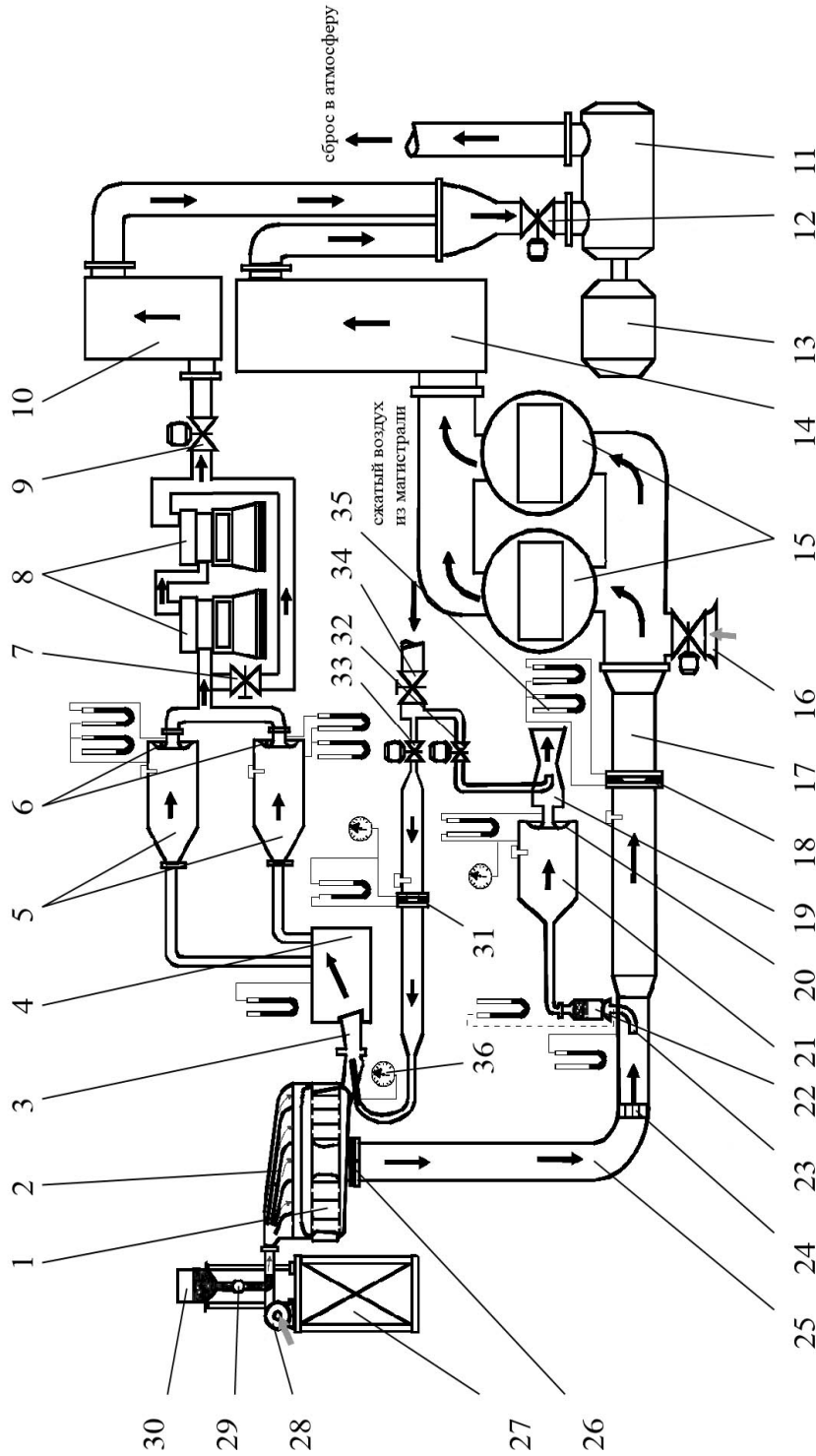


Рисунок 1 – Принципиальная схема стенда испытаний воздухоочистителей

1 – воздухоочиститель, 2 – пылевая камера, 3 – эжектор отсоса пыли, 4 – ресивер уравнивающий, 5 – ресиверы, 6 – мерные коллекторы, 7 – заслонка перепускная, 8 – пылеулавливатели, 9 – регулируемая задвижка №1, 10 – ресивер-успокоитель, 11 – турбокомпрессор, 12 – регулируемая задвижка №2, 13 – электродвигатель турбокомпрессора, 14 – ресивер-успокоитель, 15 – филь-тры, 16 – регулируемая задвижка №3, 17 – труба Ø400 мм, 18 – измерительная диафрагма, 19 – эжектор частичного отбора воздуха, 20 – мерный коллектор, 21 – ресивер, 22 – аллонж, 23 – трубка частичного отбора воздуха, 24 – спрямляющая труба, 25 – соединительная труба, 26 – переходной патрубок, 27 – пыледозатор, 28 – вентилятор пыледозатора, 29 – шнек пыледозатора, 30 – бункер пыли, 31 – измерительная диафрагма, 32 – регулируемая задвижка №4, 33 – регулируемая задвижка №5, 34 – вентиль,

Известное значение полного давления в мерном участке со свободным входом  $H_{nc}$  приводится к условиям в мерном сечении с установленной данной моделью воздухоочистителя:

$$H_{nc}^{np} = H_{nc} \cdot \frac{P_6}{P_6 - H_{ст}^{np} / 13,6} \cdot \frac{760}{293} \quad (5)$$

Определяется аэродинамическое сопротивление циклонного аппарата:

$$H_{в/о} = H_{п}^{np} - H_{nc}^{np} \quad (6)$$

При проведении пылевых испытаний за счет специального устройства обеспечивается равномерная подача пыли дозирующим устройством.

Расчет коэффициента пропуска пыли ведется на основании следующих данных:

- количество пыли, засыпанной в дозатор,  $G_{п}$ , г;
- продолжительность пыления,  $\tau$ , мин;
- привес фильтра,  $g_{ф}$ , мг.

Фактическая запыленность воздуха на входе в циклонный аппарат определяется по формуле:

$$\Psi_1 = \frac{G_{п}}{(G_{мот} + G_{отс}) \cdot \tau} \quad (7)$$

Запыленность на выходе из циклонного аппарата (очищенный воздух) определяется по формуле:

$$\Psi_2 = \frac{g_{ф}}{G_{м} \cdot \tau \cdot 10^3} \quad (8)$$

Определяется коэффициент пропуска циклонного аппарата за один опыт:

$$\xi = \Psi_2 / \Psi_1 \cdot 100 \quad (9)$$

и усредненный коэффициент пропуска:

$$\xi_{ср} = \frac{\xi_1 + \xi_2 + \dots + \xi_n}{n} \quad (10)$$

где  $n$  – количество опытов.

Полученные результаты экспериментов позволяют с достаточной степенью точности оценить любой вариант модели, выбранный для машины специального назначения с силовой установкой любой мощности. По такой же методике оценивается и полноразмерный вариант схемы очистки воздуха.

#### Выводы

1. Сравнительный анализ результатов испытаний натурального и модельного циклонов в модели воздухоочистителя позволяет выбрать наиболее рациональный вариант системы очистки воздуха для проектируемого машины специального назначения с минимальными затратами.

2. После испытания модели воздухоочистителя и получения результатов, удовлетворяющих предъявляемым требованиям к очистке воздуха, появляется возможность создания натурального воздухоочистителя в заданных объемах. Использование модели воздухоочистителя позволяет сократить расходы по материалам при изготовлении опытных воздухоочистителей, трудоёмкость на изготовление партии циклонов, расход пыли при испытании воздухоочистителя, время, затраченное на проведение испытаний воздухоочистителя.

3. При дальнейшем повышении мощности двигателей отечественных машин специального назначения применение моделирования позволит оптимизировать геометрию элементов конструкций воздухоочистителя и дает возможность сохранить его прежний объем, несмотря на неизбежное увеличение расхода моторного воздуха.

Литература

1. Большаков В.А., Попов В.Н. Гидравлика. Общий курс; Учеб. для вузов – Киев: Высшая шк., 1989.
2. Дербунович Г.И., Земская А.С., Репик Е.У. Использование сеток для управления структурой турбулентного потока в аэродинамических трубах. Учен. зап. ЦАГИ. 1982.
3. Дербунович Г.И., Земская А.С., Репик Е.У. К вопросу о гидравлическом сопротивлении сеток. Учен. зап. ЦАГИ. 1982.
4. ГОСТ В 17407-72. «Воздухоочистители дизельных силовых установок ВГМ. Методы стендовых безмоторных испытаний». Введ. 01.01.73.
5. Никитин В.Т., Таушканов Г.П. «Теоретические основы аэродинамики и пылеотделения циклонов» М.:ЦНИИинформации.– 364 с.
6. Методика расчета основных параметров системы воздухоочистки: Отчет о НИР /промежут./ /Предприятие п.я. А-7701; №883012; – Л. – 1987.

УДК 623.438. 14

Возгрін Ю.В., Іванов Ю.П., Клімов В.Ф., Лазурко О.В., Михайлов В.В.

**ГІДРОДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЯК МЕТОД ДОСЛІДЖЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ  
ХАРАКТЕРИСТИК ЕЛЕМЕНТІВ СИСТЕМИ ПОВІТРООЧИЩЕННЯ**

В статті проводиться дослідження щодо створення ефективної системи повітроочищення при проектуванні силових установок важких гусеничних машин.

Vozgrin Yu.V., Ivanov Yu.P., Klimov V.F., Lazurko O.V., Mikhailov V.V.

**FLUID-FLOW SIMULATION AS A RESEARCH METHOD OF AERODYNAMIC  
CHARACTERISTICS OF COMPONENTS IN AIR CLEANING SYSTEM**

The article represents the study hen creating the effective system of air cleaning while designing the power plants of heavy tracked vehicles.