

МПС СССР

Днепропетровский ордена Трудового Красного Знамени  
институт инженеров железнодорожного транспорта  
имени М. И. Калинина

---

На правах рукописи

КУБИЛ Виктор Оттович

УДК 629.423.3:621.635

**Исследование и разработка центробежного  
вентилятора-воздухоочистителя для  
электроподвижного состава  
железнодорожного транспорта**

Специальность 05.22.07. Подвижной состав и тяга поездов

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Днепропетровск 1983

**НТБ  
ДНУЖТ**

Работа выполнена во Всесоюзном научно-исследовательском, проектно-конструкторском и технологическом институте электровозостроения (ВЭЛНИИ)

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**А. Л. Курочка**

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор **В. Д. Кузьмич**;  
кандидат технических наук старший научный сотрудник **В. М. Со-  
болев**.

Ведущее предприятие: Новочеркасский ордена Ленина электровозостроительный завод (НЭВЗ), г. Новочеркасск.

Защита диссертации состоится „23“ июня 1983 г.  
в 14 часов на заседании специализированного совета К.114.07.01 Днепропетровского ордена Трудового Красного Знамени института инженеров железнодорожного транспорта им. М. И. Калинина (320629, ГСП, г. Днепропетровск, ул. им. академика Лазаряна, 2).

Автореферат разослан „18“ мая \_\_\_\_\_ 1983 г.

Ученый секретарь  
специализированного совета,  
кандидат технических наук,  
доцент

**Л. В. Петрович**

НТБ  
ДНУЖТ

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Решениями XXVI съезда КПСС предусмотрено дальнейшее развитие всех отраслей народного хозяйства страны, в том числе и железнодорожного транспорта, на основе ускоренного технического прогресса. К концу пятилетки две трети всех перевозок должны выполняться с использованием электрической тяги.

Эффективность работы железнодорожного транспорта существенно зависит от надежности электровозов. Электрооборудование электровозов выполняется форсированным по токовым нагрузкам и требует интенсивного принудительного охлаждения, которое прямо или косвенно осуществляется атмосферным воздухом, причем расход воздуха, пропускаемого через охлаждаемое оборудование, составляет несколько тысяч кубических метров в минуту.

В атмосферном воздухе в любое время года содержится пыль, в летний период - вода (дождь), биологическая фаза (насекомые), в зимний - снег. Длительный опыт эксплуатации электровозов показывает, что загрязнение и увлажнение изоляции тягового электрооборудования ухудшает ее диэлектрическую и механическую прочность, снижает поверхностное сопротивление, пыль способствует возникновению кругового огня на коллекторах тяговых электродвигателей (ТЭД). Все это приводит к снижению надежности электровоза и, в конечном итоге, возможному выходу его из строя.

В связи с этим особую актуальность приобретает научно-техническая задача совершенствования защиты электрооборудования от перечисленных загрязнений путем создания более эффективных устройств для очистки охлаждающего воздуха с минимальными габаритами, массой, удельными затратами мощности, эксплуатационными затратами.

Решению этих вопросов посвящен ряд работ, выполненных в таких организациях, как МИИТ, ВНИИЭТ, ВНИТИ, ПО "Ворошиловград-тепловоз", ВЭЛНИИ, НИИ, Брянский машиностроительный завод (БМЗ).

За рубежом работы в этом направлении ведутся в США, Японии, Франции, ЧССР, ПНР и других странах.

Анализ известных конструкций воздухоочистительных устройств и опыт эксплуатации электровозов показали, что проблема эффективной очистки охлаждающего воздуха на электровозах в на-

Душпетровский  
Институт инженеров  
железнодорожного транспорта  
им. М. В. Калнигина  
БИБЛИОТЕКА

6668a

стоящее время далека от успешного и полного решения. В частности, недостаточно изучена величина фактической запыленности воздуха перед воздухозаборными устройствами электровозов в движении (большинство имеющихся сведений по этому вопросу касается тепловозов). Нет единого мнения в вопросе необходимого качества очистки вентиляционного воздуха, Используемые на электровозах в настоящее время устройства защищают только от капельной атмосферной влаги (дождя), пыль и особенно снег они практически не задерживают.

Все это свидетельствует об актуальности работ, направленных на создание эффективных средств очистки охлаждающего воздуха для электровозов, и особенно от пыли и снега.

Цель работы и задачи исследований. Целью работы является разработка вентилятора-воздухоочистителя для магистральных и промышленных электровозов, обеспечивающего эффективную очистку охлаждающего воздуха от пыли, снега и капельной влаги (дождя).

Основные задачи:

1. Исследовать величину и характер распределения запыленности воздуха перед воздухозаборными устройствами электровозов в условиях эксплуатации.
2. Разработать требования к степени очистки воздуха, охлаждающего электрооборудование электровозов, и критерий пригодности воздухоочистительного устройства для условий работы на электровозах.
3. Разработать и исследовать воздухоочиститель, отвечающий требованиям условий эксплуатации на электровозах и позволяющий свести до минимума затраты на обслуживание и ремонт.
4. Оценить экспериментально на стенде и в эксплуатации соответствие разработанного воздухоочистителя необходимым требованиям.

Методика исследований. В основу работы положены результаты изучения отечественных и зарубежных достижений в области очистки воздуха на подвижном составе железнодорожного транспорта.

Теоретически исследовались: обоснование критерия оценки пригодности воздухоочистителя условиям работы на электровозах; процесс сепарации аэрозоля в проточной части рабочего колеса центробежного вентилятора; сепарационные характеристики центробежного вентилятора-воздухоочистителя (ЦВВ) с очисткой

воздуха в рабочем колесе. Расчеты проводились с использованием аппарата математической статистики и ЭВМ.

Экспериментально: определены величины и характер распределения запыленности воздуха перед воздухозаборными устройствами магистральных и промышленных электровозов; на стенде проверены результаты теоретических исследований, определены аэродинамические, сепарационные и шумовые характеристики ЦВВ, разработанного автором.

В условиях эксплуатации: определена эффективность очистки воздуха вентилятором-воздухоочистителем; оценено влияние качества очистки вентиляционного воздуха на интенсивность загрязнения изоляции электрооборудования и надежность работы ТЭД.

Научная новизна. Впервые получена зависимость распределения запыленности воздуха перед воздухозаборными устройствами магистральных электровозов в движении в различных условиях эксплуатации. Предложена и обоснована критериальная зависимость для оценки сепарационных параметров воздухоочистителя условиями работы на электровозах. Разработан метод расчета сепарационных характеристик воздухоочистителя на базе центробежного вентилятора с очисткой воздуха в рабочем колесе с учетом аэродинамической схемы, геометрических размеров, режима работы, дисперсного и минералогического состава пыли.

Практическая ценность. Внедрение на электровозах созданного на основании аналитических и экспериментальных исследований ЦВВ типа ЦВП64-14 позволило: в 2,2 раза снизить интенсивность загрязнения электрооборудования; повысить надежность электровозов за счет снижения в 2 раза количества повреждений изоляции ТЭД по причине загрязнения и увлажнения из-за попадания снега; обеспечить стабильный температурный режим обмоток ТЭД в течение всего срока эксплуатации между заводскими ремонтами; снизить расходы на обслуживание и ремонт электрооборудования. Результаты теоретических исследований могут быть использованы для анализа сепарационных качеств воздухоочистителя на базе центробежного вентилятора любой аэродинамической схемы.

Годовой народнохозяйственный эффект от внедрения разработанного ЦВВ типа ЦВП64-14 составляет более пяти тысяч рублей на один электровоз.

Реализация результатов работы. Разработанный вентилятор-воздухоочиститель ЦВБ4-14 внедрен на выпускаемых НЭВЗ для отечественных железных дорог магистральных электровозах ВЛ82М, ВЛ80Р, ВЛ84, экспортируемых в Финляндию электровозах **Эр-1**, тяговом агрегате типа ОПЭ1, а также на тяговом агрегате типа ОПЭ1А производства ДЭВЗ.

Конструкция рабочего колеса ЦВБ защищена авторским свидетельством.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы были доложены, обсуждены и одобрены на республиканской конференции молодых ученых-железнодорожников Днепропетровского института инженеров железнодорожного транспорта (ДИИТ), г. Днепропетровск, 1969 г.; на трех Всесоюзных семинарах "Очистка воздуха, масла и топлива с целью увеличения долговечности двигателей" (НАМИ, г. Харьков, 1967 г., г. Ярославль, 1968 г., г. Мелитополь, 1978 г.); на III научной сессии "Механизация и автоматизация горных работ", Новочеркасский политехнический институт (НПИ), г. Новочеркасск, 1970 г.; на сетевом научно-техническом совещании "Повышение надежности локомотивов и систем их ремонта", ОмИИТ, г. Омск, 1975 г.; на отраслевом совещании специалистов "Аэродинамика, теплопередача и пневматика подвижного состава железнодорожного транспорта", ВЭЛНИИ, г. Новочеркасск, 1980 г.; на заседании научного семинара кафедр факультета электрификации железных дорог и Механического факультета ДИИТа, г. Днепропетровск, 1981 г.; на научном семинаре "Системы охлаждения и аэродинамика экипажей электроподвижного состава", ВЭЛНИИ, г. Новочеркасск, 1982 г.; на совместном заседании секции аэродинамики, теплопередачи и пневматики научного совета ВЭЛНИИ и кафедр гидропневмоавтоматики, гидропривода и рудничных стационарных установок НПИ, г. Новочеркасск, 1982 г.; на совместном техническом совещании специалистов ПО "Ворошиловградтепловоз" и Ворошиловградского машиностроительного института, г. Ворошиловград, 1982 г.; на научно-техническом совете секции локомотивов Уральского отделения Всесоюзного научно-исследовательского института железнодорожного транспорта, г. Свердловск, 1982 г.; на заседании научно-технической секции "Конструкция и динамика локомотивов" кафедры "Локомотивы и локомотивное хозяйство" Московского института инженеров

железнодорожного транспорта, г. Москва, 1982 г.

Публикации. Основное содержание работы отражено в 8 статьях и одном авторском свидетельстве.

Объем работы. Диссертационная работа общим объемом 227 страниц состоит из введения, 6 глав, заключения, списка использованных источников, 12 приложений и содержит 114 страниц машинописного текста, 3 таблицы, 80 рисунков и библиографию из 146 наименований.

### ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении отмечена актуальность работы, ее научная новизна и кратко изложены основные ее положения.

В первой главе выполнен обзор работ по вопросам, связанным с изучением влияния внешних климатических факторов на надежность работы охлаждаемого электрооборудования локомотивов, состава и уровня загрязнения охлаждающего воздуха, способов и средств его очистки.

Большой вклад в развитие теории и практики очистки воздуха на подвижном составе железнодорожного транспорта внесли советские ученые Л.А. Пивоваров, Э.А. Пахомов, В.Д. Кузьмич, Н.В. Большаков, В.М. Соболев, И.В. Скотгорев, Д.А. Куликов, В.И. Иванов, А.А. Сиворцов, Д.А. Курасов и ряд других. Вопросам теории процесса сепарации аэрозоля уделяли много внимания Н.Н. Женишек, А.И. Пирумов, В.И. Фиксен, В.И. Рягузов и другие. Среди зарубежных ученых следует в первую очередь назвать Х. Байера, И. Галахера, К. Баурмейстера и других.

Несмотря на обширную литературу по вопросам защиты охлаждаемого электрооборудования от воздействия пыли, воды (дождя), снега, биологической массы (гноса), некоторые аспекты теории и практики недостаточно изучены.

Опыт эксплуатации электровозов показывает, что получившие широкое распространение средства очистки воздуха не обеспечивают необходимую эффективность защиты охлаждаемого электрооборудования, о чем свидетельствуют массовые случаи выхода из строя ТЭД по причине увлажнения изоляции при попадании снега. Повышение перегревов изоляции, вызванное загрязнением ее поверхности, приводит к снижению ее срока службы.

Анализ литературных источников показал, что недостаточно изучено распределение и величина запыленности воздуха, окружающего электровоз в движении, поскольку большинство исследований выполнено для тепловозов. Нет единого мнения специалистов в отношении требований к степени очистки воздуха на электроподвижном составе (ЭПС). Рассмотрение основных оценочных показателей воздухоочистителей различных типов и конструкций показало, что наиболее полно отвечают условиям работы на ЭПС вентиляторы-воздухоочистители. Однако известные как зарубежные, так и отечественные воздухоочистители этого типа характеризуются невысоким гидравлическим к.п.д. и сложностью конструкции, а методы расчета их сепарационных параметров применимы к конкретной конструкции или основываются на значительной идеализации проточной части.

Обзор конструктивных решений, а также анализ технической литературы и патентного материала позволяют сформулировать следующие основные задачи исследований:

1. Экспериментальное исследование величины и распределения запыленности воздуха, окружающего электровоз в движении.

2. Разработка требований к степени очистки воздуха, охлаждающего электрооборудование электровозов, и критерия для оценки соответствия воздухоочистителя условиям работы на электровозах.

3. Разработка методики расчета сепарационных параметров вентилятора-воздухоочистителя, учитывающей особенности его аэродинамической схемы, геометрические размеры, режим работы и физико-механические свойства аэрозоля.

4. Сравнительные испытания вентиляторов-воздухоочистителей с целью выбора приемлемой конструкции.

Во второй главе приведены результаты исследований уровня запыленности и ее распределение по высоте боковой стенки перед воздухозаборными устройствами магистральных и промышленных электровозов. Исследования проводились методом частичного отбора проб пыли. На магистральных электровозах эксперименты проводились на Восточно-Сибирской и Южной железных дорогах, испытания на промышленных электровозах - на Соколовско-Сарбайском и Лебединском горно-обогатительных комбинатах, Экибастузском и Междуреченском угольных разрезах.

В результате исследований было установлено, что промыш-

ленные электровозы работают при значительно больших величинах запыленности, чем магистральные. Полученные результаты измерений позволяют в зависимости от географической зоны страны и почвенно-климатических условий задавать величину запыленности как магистральных, так и промышленных электровозов при оценке сроков регенерации фильтров контактного действия (ФКД).

Распределение запыленности воздуха по высоте боковой стенки промышленных электровозов имеет случайный характер, что объясняется спецификой их работы (различное расположение подъездных путей по отношению к забой, влияние розн ветров, типа погрузочных механизмов, условий разгрузки и т. д.). Поэтому характер распределения запыленности не налагает дополнительных требований на выбор места установки воздухозаборных устройств. Для магистральных электровозов в результате статистической обработки данных установлена тесная обратная корреляционная связь между величиной запыленности и высотой. Коэффициенты корреляции для совокупности данных по Восточно-Сибирской и Южной железным дорогам составили соответственно  $r_{\text{вс}} = -0,97$  и  $r_{\text{ю}} = -0,99$ . При использовании параметра относительной запыленности  $\bar{\varphi}_i$ , представляющего отношение запыленности  $\varphi_i$  на высоте  $h_i$  к запыленности  $\varphi_0$  на наименьшей высоте возможного расположения воздухозаборных устройств электровоза  $h_0$ , принятой за единичную, корреляционное уравнение связи имеет вид

$$\bar{\varphi}_i = a h_i^{-b}, \quad (1)$$

где  $a$  и  $b$  - постоянные коэффициенты.

Численные значения этих коэффициентов были определены методом наименьших квадратов, и окончательно уравнение имеет вид

$$\bar{\varphi}_i = 5,16 \cdot h_i^{-2,23} \quad (2)$$

где  $h_i$  - высота точки замера над головкой рельса, м.

По уравнению (2) может быть рассчитана зависимость реальной запыленности от высоты для любых условий эксплуатации по результатам замера в какой-либо одной точке, а также может быть определено количество загрязнений, поступающих через воздухозаборные устройства, для расчета сроков регенерации ФКД, которыми оборудован большой парк электровозов прежних выпусков.

В третьей главе предложен и обоснован критерий оценки со-

ответствия сепарационных качеств воздухоочистителя условиям работы на электровозе, проведены сравнительные испытания наиболее приемлемых типов вентиляторов-воздухоочистителей.

На основе анализа характеристик кварцевых пылей, стандартизованных для сравнительных испытаний воздухоочистителей, и экспериментальных данных В.М. Соболева по дисперсному составу пыли, образующей загрязнение на поверхности изоляции электрооборудования, автор впервые предложил методику определения необходимой степени очистки воздуха и оценочный критерий на соответствие воздухоочистителя условиям работы на электровозе. В качестве такого критерия предлагается функциональная зависимость между требуемой эффективностью и удельной поверхностью пыли, а аналогичную зависимость для конкретного воздухоочистителя считать его основной сепарационной характеристикой (кривая I на рис. 1). Воздухоочиститель будет удовлетворять условиям работы на электровозе, если его основная сепарационная характеристика совпадает с требуемой или располагается выше.

С использованием предложенного автором оценочного критерия были проведены сравнительные испытания трех моделей вентиляторов-воздухоочистителей: осевого, центробежного с очисткой воздуха в кожухе и центробежного с очисткой воздуха в рабочем колесе. Модели выполнены на базе серийных электровозных вентиляторов. Испытания показали, что наилучшее соответствие сепарационных параметров предложенному оценочному критерию при приемлемых весовых и энергетических показателях имеет ЦВВ с очисткой воздуха в рабочем колесе. В соответствии с аэродинамическими параметрами ему был присвоен индекс ЦВВ64-14, схема его приведена на рис. 2.

Четвертая глава посвящена вопросу теоретического изучения процесса сепарации в рабочем колесе (РК) ЦВВ и разработке методики определения эффективности очистки воздуха ЦВВ на стадии проектирования.

В общем случае вектор равнодействующей сил, обуславливающий движение частицы, в абсолютной системе координат может быть представлен следующим образом

$$\vec{F}_x = \vec{F}_g + \vec{F}_n + \vec{F}_z + \vec{F}_{кв} + \vec{F}_p + \vec{F}_a, \quad (3)$$

где  $\vec{F}_g$  - вектор гравитационной силы;  $\vec{F}_n$  - вектор подъемной силы;  $\vec{F}_z$  - вектор силы электростатического взаимодействия;

$\bar{F}_{\kappa 0}$  - вектор силы, возникающей при коагуляции частиц;  $\bar{F}_p$  - вектор силы, обусловленной градиентом давления в проточной части РК;  $\bar{F}_a$  - вектор силы аэродинамического сопротивления при движении частицы.

Анализ перечисленных сил показал, что значения векторов  $\bar{F}_g$ ,  $\bar{F}_n$ ,  $\bar{F}_p$ ,  $\bar{F}_{\kappa 0}$  и  $\bar{F}_r$  на несколько порядков ( $\approx 10^{-2} - 10^{-3}$ ) ниже величины вектора  $\bar{F}_a$  и их влиянием можно пренебречь. Таким образом, действующей на частицу силой будет только сила аэродинамического сопротивления, т.е.

$$\bar{F}_z = \bar{F}_a. \quad (4)$$

Поскольку основными составляющими скоростей потока являются радиальные и тангенциальные, то движение можно рассматривать как плоское, приняв следующие допущения: частица имеет шарообразную форму; скорость входа частицы в межлопаточный канал равна среднерасходной скорости воздушного потока; линии тока в межлопаточном канале РК повторяют профиль лопаток, при этом скорость движения воздуха направлена по касательной к линии тока; модуль скорости потока в каждой точке межлопаточного канала равен среднерасходной скорости и является величиной постоянной; частица считается уловленной, если ее траектория движения пересекается с поверхностью набегающей стороны лопатки или касается ее.

В абсолютной системе координат  $XO'Y$  (рис. 3) частица с массой  $m$  будет двигаться с абсолютным ускорением  $\bar{W}_{abs}$  в соответствии с уравнением

$$m\bar{W}_{abs} = \bar{F}_a. \quad (5)$$

В относительной системе координат  $xoy$ , жестко связанной с колесом,

$$\bar{W}_{abs} = \bar{W}_{пер} + \bar{W}_{кор} + \bar{W}_{отн}, \quad (6)$$

где  $\bar{W}_{пер}$  - вектор переносного ускорения;  $\bar{W}_{кор}$  - вектор кориолисова ускорения;  $\bar{W}_{отн}$  - вектор относительного ускорения.

Поскольку переносным в относительном движении является центробежное ускорение, уравнение движения частицы в соответствии с (5) и (6) будет

$$m\bar{W}_{отн} = \bar{F}_a - \bar{F}_{кор} - \bar{F}_ц. \quad (7)$$

Окончательно дифференциальное уравнение движения частицы в проекциях на оси координат имеет вид

$$\begin{aligned}\bar{W}_x &= \frac{\bar{F}_{ax}}{m} + (\bar{\omega}^2 \bar{z})_x - 2(\bar{\omega} \times \bar{U})_x \\ \bar{W}_y &= \frac{\bar{F}_{ay}}{m} + (\bar{\omega}^2 \bar{z})_y - 2(\bar{\omega} \times \bar{U})_y,\end{aligned}\quad (8)$$

где  $(\bar{\omega}^2 \bar{z})_{x;y}$  - проекции центробежного ускорения;  $2(\bar{\omega} \times \bar{U})_{x;y}$  - проекции кориолисова ускорения;  $\bar{z}$  - текущий радиус-вектор, соединяющий центр вращения системы координат с движущейся частицей;  $\bar{\omega}$  - вектор угловой скорости вращения системы координат  $xoy$ ;  $\bar{U}$  - вектор скорости частицы.

Аналитическое решение системы уравнений (8) невозможно, так как она нелинейна, поэтому решение выполнялось численным интегрированием методом Рунге-Кутты на ЭВМ ЕС-1022 через интервал времени  $10^{-5}$  с, в течение которого движение частицы принималось равноускоренным.

В результате решения были получены траектории движения частиц и исследовано влияние геометрических параметров ЦВВ, режима работы, плотности частиц на характер траекторий.

Расчет эффективности сепарации частиц выполнялся путем интегрирования функции распределения по диаметрам числа частиц, траектории которых удовлетворяют принятому условию их улавливания.

В общем виде зависимость для определения теоретической эффективности с учетом фракционного состава полидисперсной пыли, выраженного в виде интервалов по диаметрам  $\delta$ , представляет собой выражение

$$\eta_r = \sum_{i=1}^n \frac{\int_{\delta_i}^{\delta_{i+1}} \kappa_i(\delta) \frac{c_i(\delta)}{L} f(\delta) d\delta}{\int_{\delta_i}^{\delta_{i+1}} \kappa_i(\delta) f(\delta) d\delta} \quad (9)$$

где  $n$  - число фракций пыли (интервалов диаметров);  $f(\delta)$  - функция распределения диаметров частиц;  $L$  - длина дуги между лопатками на входе;  $c_i(\delta)$  - часть длины дуги между лопатками на входе, с которой частицы данной фракции попадают на набегающую сторону лопатки;  $\kappa_i(\delta)$  - функция, учитывающая влияние на эффективность сепарации расположения пылеотводного устройства (желобка).

Полученная в результате расчета основная сепарационная

характеристика ЦВВ приведена на рис. 1 (кривая 2).

Расчетная основная сепарационная характеристика позволяет считать, что воздухоочиститель должен удовлетворять условиям работы на электровозах, поскольку для пыли с дисперсным составом, характерным для условий эксплуатации, она располагается не ниже требуемой.

Проведенный в процессе расчета анализ характера изменения величин и направлений векторов сил показал, что в диапазоне возможных на электровозах частот вращения РК влияние центробежной составляющей невелико (не превышает 4%). Поскольку результаты расчета в силу принятых допущений являются в определенной степени приближенными и могут быть скорректированы введением поправок, полученных экспериментом, то центробежной составляющей при расчете можно пренебречь. Это значительно экономит машинное время ЭВМ.

Предложенная математическая модель позволяет аналитически исследовать сепарационные свойства воздухоочистителя на базе центробежного вентилятора любой аэродинамической схемы, поскольку в ней учитываются все параметры как самого вентилятора, так и аэрозоля.

В пятой главе изложены методики и результаты экспериментальных исследований вентилятора-воздухоочистителя ЦВП64-14.

Наличие двух выбросных патрубков у ЦВВ создает предпосылки к возможности возникновения его неустойчивой работы как вентилятора. При увеличении разрежения на стороне всасывания больше определенной величины может произойти аэродинамическое опрокидывание пылеотводного патрубка - воздух через него начнет поступать в ЦВВ. Автором предложена методика экспериментального определения аэродинамических характеристик ЦВВ для каждого напорного патрубка отдельно. Такие характеристики позволяют аналитически исследовать условия неустойчивой работы ЦВВ как вентилятора.

В процессе аэродинамических исследований были обнаружены значительные пульсации давлений и скоростей в месте выхода воздушного потока из РК против разделительной перегородки 2 (см. рис. 2), а на самой перегородке - зоны отрывного течения. Устранение этих явлений было достигнуто установкой на РК специального разделительного кольца 3, что позволило улучшить аэродинамические и сепарационные качества воздухоочистителя. Предложенное техническое решение защищено авторским

свидетельством .

Исследования сепарационных характеристик ЦВВ проводились на моделях и натуральных образцах. Результаты исследований показали, что эффективность очистки воздуха ЦВВ незначительно зависит от концентрации пыли. В интервале запыленностей от 10 до 300 мг/м<sup>3</sup> она возрастает с 65 до 70 % соответственно, наибольшая эффективность соответствует оптимальному аэродинамическому режиму .

В зоне оптимального аэродинамического режима ЦВВ обеспечивает эффективность очистки воздуха:

- |   |         |
|---|---------|
| - от кварцевой пыли ( $S = 560 \text{ м}^2/\text{кг}$ ) | - 68 %; |
| - от капельной влаги                                    | - 68 %; |
| - от биологической фазы (гноса)                         | - 75 %; |
| - от снега  | - 96 %. |

При этом расход воздуха для отвода отосепарированных примесей составляет всего 3,5...4,0 % от производительности по входу, что выгодно отличает воздухоочиститель ЦВВ64-14 от известных конструкций.

Оценка сепарационных качеств ЦВВ в соответствии с предложенным критерием показала, что эффективность воздухоочистителя ЦВВ64-14 в диапазоне дисперсности пыли, имеющей место в эксплуатации, соответствует условиям работы на электровозах (кривая 3 на рис. 1).

Эффективность ЦВВ при изменении частоты вращения от 600 до 1500 мин<sup>-1</sup> (в диапазоне возможных режимов работы на электровозе) изменяется незначительно (от 62 до 68 % соответственно), что позволяет реализовать систему регулирования производительности ЦВВ с целью стабилизации теплового режима охлаждаемого оборудования. Это дает дополнительные преимущества - возможность экономии электроэнергии на нужды вентиляции.

Для разработанного ЦВВ характерно периодическое самоочищение пылеотводного аппарата (желобков), что является большим его достоинством с точки зрения эксплуатационных затрат.

Результаты расчета и эксперимента показали хорошую сходимость в зоне оптимальных аэродинамических режимов ЦВВ. На режимах, отличных от оптимального, реальная эффективность ЦВВ снижается по сравнению с расчетными данными, что обусловлено принятыми допущениями при составлении математической модели, а именно, что линии тока повторяют профиль лопатки РК. В дей-

ствительности характер течения воздуха в межлопаточном канале РК при отклонении от оптимального режима изменяется.

С целью повышения точности расчета для режимов, отличных от оптимального, определена функциональная зависимость поправки  $\Delta \eta_i$ , которая представляет собой разность ординат сепарационных характеристик, полученных расчетным путем  $\eta_{ri}$  и экспериментально  $\eta_{ei}$  при заданных значениях безразмерного коэффициента производительности  $\bar{Q}$ , т.е.

$$\Delta \eta_i = \eta_{ri} - \eta_{ei}. \quad (10)$$

Анализ зависимости  $\Delta \eta_i = f(\bar{Q})$  показал, что она близка к параболе и может быть описана эмпирическим уравнением вида

$$\Delta \eta = 7,243(\bar{Q} - 0,16)^{1,50} + 0,042. \quad (11)$$

В шестой главе приведены результаты экспериментальных испытаний по определению эффективности очистки воздуха ЦВВ и влияния качества очистки воздуха на эксплуатационную надежность электровоза.

Исследования проводились на электровозах ВЛ80К, ВЛ80Т (Восточно-Сибирская ж.д.), ВЛ82М (Южная ж.д.), ВЛ80Р (Северо-Кавказская ж.д.), а также были проведены наблюдения за работой электровозов  $Sr-I$  на дорогах Финляндии.

При исследовании сепарационных качеств запыленность воздуха изменялась в пределах 0,5 - 15,0 мг/м<sup>3</sup>. Среднеэксплуатационная эффективность ЦВВ по очистке воздуха от железнодорожной пыли составила:

на Восточно-Сибирской ж.д.	- 71 %;
на Южной ж.д.	- 85 %;
на Северо-Кавказской ж.д.	- 74 %.

На электровозах, оборудованных ЦВВ, интенсивность загрязнения изоляции охлаждаемого электрооборудования в 2,2 раза ниже, чем на электровозах, оборудованных обычными вентиляторами и фильтрами контактного действия (ФКД).

Для оценки влияния качества очистки охлаждающего воздуха на надежность работы электровозов были исследованы тепловые режимы ТЭД на партии электровозов ВЛ80К, оснащенных обычными вентиляторами с ФКД, и электровозов ВЛ80Р, на которых установлены разработанные автором ЦВВ типа ЦВВ64-14. На указанных электровозах применяются однотипные ТЭД НБ418К6. Испытания проводились на электровозах, приписанных к депо Ба-

Батайск Северо-Кавказской ж.д., в одинаковых климатических условиях. Перегревы ТЭД электровозов ВЛ80Р практически не меняются в процессе эксплуатации. На электровозах ВЛ80К к концу межремонтного пробега перегревы увеличиваются на 20 % по сравнению с первоначальными. Анализ порч ТЭД по причине загрязнения и увлажнения изоляции, проведенный в депо Батайск за период 1976-1981 годы, показал, что их удельная повреждаемость на электровозах ВЛ80Р в два раза ниже, чем на ВЛ80К.

Кроме повышения эксплуатационной надежности, внедрение ЦВВ только за счет снижения эксплуатационных расходов и меньших энергетических затрат дает экономии 5649 руб. на один электровоз в год.

## ВЫВОДЫ

1. Для повышения надежности электровозов их системы вентиляции необходимо оснащать воздухоочистительными устройствами; не изменяющими свои аэродинамические и сепарационные параметры в процессе эксплуатации. В работе показано, что наиболее приемлемыми и перспективными для этих целей являются центробежные вентиляторы-воздухоочистители с очисткой воздуха в рабочем колесе.

2. На основании исследований величины и распределения запыленности воздуха впервые установлена тесная обратная корреляционная связь и получена эмпирическая зависимость между величиной запыленности и высотой вдоль боковой стенки магистральных электровозов в движении. Полученная зависимость позволяет оценивать количество поступающих в систему вентиляции загрязнений и прогнозировать сроки профилактики самоочищающихся воздухоочистительных устройств типа фильтров контактного действия. Для промышленных электровозов такой связи не обнаружено, а аналогичная зависимость носит случайный характер, что обусловлено спецификой их работы в карьерах.

3. Впервые предложен и обоснован критерий оценки соответствия сепарационных параметров воздухоочистительного устройства условиям работы на электровозах, представляющий собой зависимость требуемой эффективности очистки воздуха на ЭПС от дисперсного состава пыли.

4. Составлена математическая модель процесса сепарации частиц аэрозоля в проточной части рабочего колеса центробеж-

ного вентилятора-воздухоочистителя, реализация которой на ЭВМ позволяет определить теоретические сепарационные характеристики с учетом геометрических параметров проточной части, аэродинамической схемы воздухоочистителя, его аэродинамического режима работы и физических свойств аэрозоля.

5. Разработан и внедрен на электровозах ВЛ82М, ВЛ80Р, ВЛ84, ОПЭ1А, *S*<sup>р</sup>-I центробежный вентилятор-воздухоочиститель ЦВП64-14 с очисткой воздуха в рабочем колесе, удовлетворяющий требованиям работы на электровозах, со следующими параметрами на оптимальном режиме работы:

- гидравлический к.п.д.	- 65 %;
- эффективность очистки воздуха	
от пыли ( $S = 560 \text{ м}^2/\text{кг}$ )	- 68 %;
от капельной влаги	- 68 %;
от снега	- 96 %;
- от биологической фазы (гноса)	- 75 %.

Конструкция рабочего колеса вентилятора-воздухоочистителя защищена авторским свидетельством № 348214.

6. Результаты теоретических расчетов и эксперимента в зоне оптимальных аэродинамических режимов дают удовлетворительную сходимость. Для режимов, отличных от оптимального, получена функциональная зависимость поправки величины эффективности от безразмерного коэффициента производительности  $Q$ .

7. Внедрение центробежного вентилятора-воздухоочистителя ЦВП64-14 на электровозах позволило:

- в 2,2 раза снизить интенсивность загрязнения электрооборудования;
- в 2 раза снизить количество повреждений изоляции по причине загрязнения и увлажнения из-за попадания снега;
- обеспечить стабильный температурный режим обмоток тяговых электродвигателей в течение всего срока службы между заводскими ремонтами.

Годовой народнохозяйственный эффект от внедрения вентилятора-воздухоочистителя ЦВП64-14 в расчете на один электровоз составляет 5649 руб.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНО В РАБОТАХ:

1. Вопросы экспериментальных исследований центробежных вентиляторов-воздухоочистителей / П.В. Журавлев, А.И. Давыдов, И.В. Скогорев, В.О. Кубил. - Тр. Новочерк. политехн. ин-та,

1967, т. 171. Промышленная гидроаэродинамика, с. 50-56.

2. Электровозные воздухоочистители / И.В. Скогорев, В.О. Кубил, П.В. Журавлев, А.И. Давыдов. - В сб.: Труды семинара по очистке воздуха, масла и топлива с целью увеличения долговечности двигателей. - М.: н.-и. автомоб. и автомотор. ин-т, 1969, вып. 9, кн. 2, с. 100-103.

3. Очистка вентиляционного воздуха магистральных электровозов от пыли и вопросы эксплуатационной надежности / И.В. Скогорев, В.О. Кубил, А.М. Солодунов, П.В. Журавлев. - В кн.: Электровозостроение: Сб. науч. тр. Всесоюз. н.-и., проект.-констр. и технолог. ин-т электровозостроения, 1970, т. 12, с. 246-251.

4. Осевой вентилятор-воздухоочиститель / И.В. Скогорев, В.О. Кубил, П.В. Журавлев, А.И. Давыдов. - В сб.: Труды семинара по очистке воздуха, масла и топлива с целью увеличения долговечности двигателей. - М.: н.-и. автомоб. и автомотор. ин-т, 1970, вып. 10, кн. 2, с. 118-121.

5. Сепарация пыли в центробежных вентиляторах / Г.М. Водяник, В.О. Кубил, И.В. Скогорев, П.В. Журавлев и др. - В сб.: Совершенствование проветривания шахт: Тез. докл. Всесоюз. науч.-техн. совещания. - Новочеркасск: Новочерк политех. ин-т, 1972, с. 156-157.

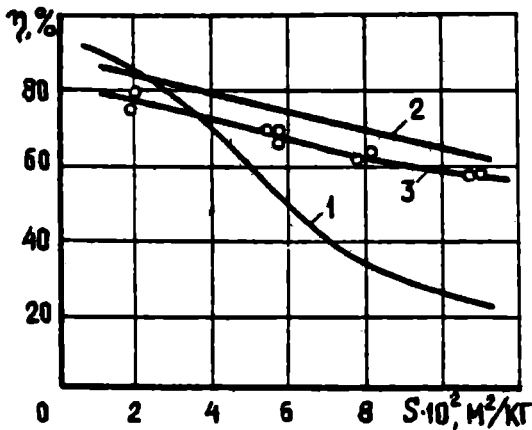
6. Скогорев И.В., Кубил В.О. Центробежный вентилятор-воздухоочиститель и режим его работы на вентиляционную сеть. - Тр. Новочерк. политех. ин-та, 1976, т. 33, вып.5. Теплопередача и газодинамика, с. 100-104.

7. Кубил В.О. и др. Метод расчета эффективности очистки воздуха центробежным вентилятором-воздухоочистителем / В.О. Кубил, И.В. Скогорев, А.Г. Вольвич и др. - В кн.: Электровозостроение: Сб. науч. тр. / Всесоюз. н.-и., проект.-конструк. и технолог. ин-т электровозостроения, Новочеркасск, 1978, т.17, с. 116-122.

8. Кубил В.О. Выбор критерия оценки пригодности воздухоочистителя. - Тр. Новочерк. политех. ин-та, 1982. Гидропневмоавтоматика и гидропривод технологических машин, с. 72-75.

9. А.с. 348214 (СССР). Рабочее колесо центробежного вентилятора-воздухоочистителя. / И.В. Скогорев, В.О.Кубил, П.В. Журавлев, А.И. Давыдов. - Заявл. 04.02.71, № 1629482/24-6; Опубл. в Б.И. 1972, № 23, МПК ВО1 45/12.

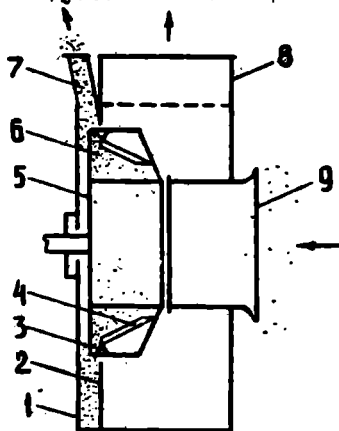
Основная сепарационная характеристика  
воздухоочистителя



- 1 - требуемая для условий ЭПС;  
2 - расчетная воздухоочистителя ЦВП 64-14;  
3 - экспериментальная воздухоочистителя ЦВП 64-14.

Рис. I.

Схема воздухоочистителя ЦВП 64-14

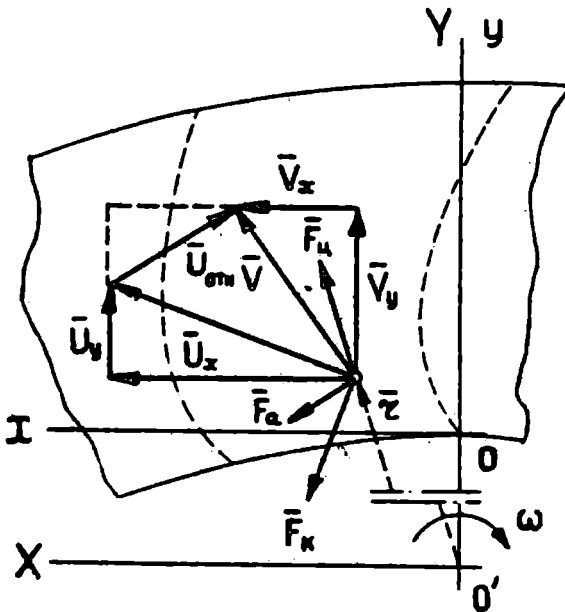


- 1 - корпус (улитка); 2 - перегородка; 3 - разделительное  
колесо; 4 - пылеотбойное колесо; 5 - пылеотбойное колесо;  
6 - лопатка; 7 - пылеотбойная патрубок; 8 - патрубок очи-  
щенного воздуха; 9 - всасывающий патрубок

НАУКОВО-ТЕХНИЧЕСКОЕ  
Днепропетровського національного  
университету імені Василя  
Григорьевича Шевченка

6668a-

Диаграмма скоростей и сил к  
расчету траектории частицы



$\vec{V}$  - вектор скорости воздушного потока ;  $\vec{u}$  - вектор скорости частицы ;  $\vec{F}_a$  - вектор силы аэродинамического сопротивления ;  $\vec{F}_u$  - вектор центробежной силы ;  $\vec{F}_k$  - вектор кориолисовой силы .

Рис . 3 .

Подписано к печати 14.03.83 г. ПК 00222. Объем I п.л.

Тираж 100 экз. Заказ № 497

---

г. Новочеркасск, Типография НПИ

Сканировала Камьянская Н.А.

НТБ  
ДНУЖТ