

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 621.51

ГАЛЮЖИН
АЛЕКСАНДР СЕРГЕЕВИЧ

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА
ЦЕНТРОБЕЖНО-МАГНИТНОЙ ОСУШКИ
СЖАТОГО ВОЗДУХА ПНЕВМОПРИВОДА**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов
и детали машин

Минск, 2014

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете и государственном учреждении высшего профессионального образования «Белорусско-Российский университет».

Научный руководитель Сафонов Андрей Иванович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод» Белорусского национального технического университета

Официальные оппоненты: Галай Эдуард Иванович, доктор технических наук, доцент, руководитель ОНИЛ «Тормозные системы подвижного состава» УО «Белорусский государственный университет транспорта»;

Калишук Дмитрий Григорьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Процессы и аппараты химических производств» УО «Белорусский государственный технологический университет»

Оппонирующая организация ОАО «Белорусский автомобильный завод»

Защита состоится 18 апреля 2014 г. в 14⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.03 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220013, г. Минск, пр-т Независимости, 65, 1 корпус, ауд. 202, тел. 292 24 04

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан « 17 » марта 2014 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций
доктор технических наук, профессор

О.Г. Девойно

© Галюжин А.С., 2014

© Белорусский национальный
технический университет, 2014

ВВЕДЕНИЕ

В конструкции современных мобильных машин (большегрузные самосвалы БелАЗ, троллейбусы, тракторы «Беларус», автомобили МАЗ и др.) широкое распространение получил пневматический привод, в котором рабочим телом является сжатый воздух. Надежность работы пневмопривода в значительной мере зависит от степени осушки сжатого воздуха. При этом необходимо удалять воду как жидком (конденсат), так и парообразном состоянии, поскольку в наиболее удаленных от компрессора элементах пневмопривода из-за охлаждения возможна дальнейшая конденсация парообразной воды. Особенно в условиях отрицательных температур сконденсированная влага будет замерзать и, как правило, будет наблюдаться отказ пневмопривода. Наиболее опасным является отказ пневмопривода при движении мобильной машины с пневматической тормозной системой, так как это может привести к дорожно-транспортному происшествию.

Вода является хорошим растворителем и в ней растворяются почти все содержащиеся в воздухе газообразные примеси, концентрация которых при сжатии воздуха увеличивается. Образовавшаяся агрессивная смесь вызывает ускоренную коррозию всех элементов, соприкасающихся со сжатым воздухом. Кроме того, водой смывается смазка с трущихся поверхностей элементов пневмопривода и увеличивается их износ.

Поэтому проблема разработки эффективных устройств осушки сжатого воздуха актуальна и требует решения в процессе развития отечественного производства мобильных машин.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами (проектами) и темами

Тема диссертации соответствует п. 1.1, 7.1 и 7.2 приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2011 – 2015 годы (Перечень утвержден постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 19.04.2010 г. № 585).

Научные исследования по теме диссертации проводились в соответствии с планами НИР Белорусско-Российского университета: ГБ-0117Ф «Исследование возможности кондиционирования воздуха пневмосистем мобильных машин с помощью электромагнитных полей» от 01.01.2001 г., № госрегистрации 2001597; ГБ-0620 «Разработка современных экологически безопасных, энергосберегающих и конкурентоспособных систем и устройств», № госрегистрации 20061122; ХД-0219 «Исследование и разработка устройства для

очистки воздуха пневмосистемы троллейбуса с помощью электромагнитных полей» от 14.02.2002 г., № госрегистрации 20031420.

Цель и задачи исследования

Цель работы – расчет и проектирование устройства центробежно-магнитной осушки сжатого воздуха, повышающего функциональную и экономическую эффективность системы кондиционирования сжатого воздуха, а также надежность пневмоприводов мобильных машин.

Для достижения поставленной цели в данной работе необходимо решить следующие *задачи*:

- теоретически обосновать способ влагоотделения, повышающий функциональную и экономическую эффективность системы кондиционирования сжатого воздуха пневмопривода и надежность пневмопривода в целом;

- разработать схему влагоотделителя системы кондиционирования, позволяющего реализовать предложенный способ осушки сжатого воздуха пневмопривода;

- для определения значений основных параметров проектируемого влагоотделителя разработать математическую модель движения частиц воды в силовом поле центробежно-магнитного влагоотделителя и на основе модели получить зависимости для расчета основных его параметров;

- для экспериментальной оценки эффективности системы кондиционирования сжатого воздуха с опытным образцом разработанного влагоотделителя разработать автоматизированный стенд, методику испытаний и провести экспериментальные исследования данной системы;

- оценить степень повышения показателей надежности пневмопривода при использовании в его составе разработанного влагоотделителя;

- на основе проведенных исследований разработать конструкторскую документацию и технические условия на центробежно-магнитный влагоотделитель.

Объектом исследований является система кондиционирования сжатого воздуха пневмоприводов мобильных машин. *Предмет* исследований – способы и устройства осушки сжатого воздуха системы кондиционирования пневмопривода. Выбор объекта и предмета исследования обусловлен приоритетными направлениями научных исследований в Республике Беларусь.

Положения, выносимые на защиту

1. Математическая модель движения частиц воды в силовом поле центробежно-магнитного влагоотделителя, отличающаяся тем, что она является трехмерной и описывает пространственное движение как макрочастиц (капель), так и микрочастиц (молекул, димеров и т. д.) воды в винтовом канале

влажнотделителя, в зависимости от их массы, электрического заряда, индукции магнитного поля и угловой скорости потока сжатого воздуха, позволившая рассчитать внутренние параметры влажнотделителя - размеры и форму сечения винтового канала, угол его наклона и количество витков до и после облучения потока сжатого воздуха.

2. Установленная математическая зависимость для гидравлического расчета центробежно-магнитного влажнотделителя, отличающаяся тем, что она учитывает гидравлический диаметр, смоченный периметр, количество витков и угол наклона винтового канала, а также наружный диаметр сердечника влажнотделителя, которая позволила определить значение одного из основных внутренних параметров влажнотделителя – зазор между сердечником и корпусом влажнотделителя, в зависимости от расхода сжатого воздуха и количества содержащегося в нем конденсата.

3. Установленная математическая зависимость, описывающая состояние рабочей среды пневмопривода, отличающаяся тем, что она учитывает температуру, относительную влажность и степень сжатия атмосферного воздуха, а также отношение температур сжатого и атмосферного воздуха, которая позволила определить входной параметр системы кондиционирования сжатого воздуха пневмопривода - массу конденсата в сжатом воздухе на выходе компрессора.

4. Результаты сравнительных экспериментальных исследований по определению основных показателей эффективности системы кондиционирования сжатого воздуха пневмопривода троллейбуса, использующей разработанный центробежно-магнитный осушитель и системы со штатным адсорбционным осушителем, подтвердившие эффективность разработанного устройства на основе предложенного способа центробежно-магнитной осушки сжатого воздуха.

Личный вклад соискателя

Автор самостоятельно получил основные положения, выносимые на защиту, сформулировал цель и задачи исследований, разработал математическую модель движения частиц воды в силовом поле влажнотделителя, методики гидравлического расчета и выбора основных параметров влажнотделителя, выполнил теоретические и экспериментальные исследования, разработал центробежно-магнитный влажнотделитель и стенд для проведения экспериментальных исследований. Он лично опубликовал 5 статей и 5 тезисов докладов, в соавторстве – 11 работ. Совместно с научным руководителем к.т.н., доц. Сафоновым А.И. определил возможные пути решения поставленных задач, провел обобщение полученных результатов. Другие соавторы опубликованных работ – к.т.н., доц. Галюжин С.Д., инж. Руцкий М.И. и инж. Пускова

В.М. – оказывали методическую и техническую помощь при создании устройства осушки сжатого воздуха и проведении экспериментальных исследований. Студенты Петренко В.В. и Попелушко А.П. оказывали техническую помощь при монтаже стенда для экспериментальных исследований.

Апробация результатов диссертации.

Основные положения работы были представлены в Могилевском государственном техническом университете на международных научно-технических конференциях «Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов» (Могилев, 2001 г.), «Современные технологии, материалы, машины и оборудование» (Могилев, 2002 г.); в Белорусско-Российском университете на международных научно-технических конференциях «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» (Могилев, 2009, 2010, 2011, 2012 г.г.), на международной научно-технической конференции «Современные технологии, машины и материалы для зимнего содержания автомобильных дорог» (Могилев, 2010 г.); в Белорусской государственной сельскохозяйственной академии на международной научно-практической конференции «Актуальные проблемы механизации сельскохозяйственного производства» (Горки, 2002 г.); в Белорусском национальном техническом университете на международной научно-технической конференции, посвященной 25-летию кафедры «Гидропневмоавтоматика и гидропневмопривод», (Минск, 2010 г.).

Опубликованность результатов диссертации

Основные результаты диссертации опубликованы в 21 научной работе, в том числе в 5 статьях общим объемом 4,19 авторских листов, которые включены Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований. Также результаты диссертации изложены в 1 статье в сборнике научных трудов, 12 материалах научных конференций и 3 патентах на изобретения Республики Беларусь.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, списка использованных источников и приложений. Полный объем диссертации составляет 175 страниц, из них 45 рисунков, 9 таблиц, список использованных источников в количестве 117, включая 21 авторскую работу, и 14 приложений на 56 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении и общей характеристике работы обоснована актуальность темы диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, изложены основные положения диссертации, выносимые на защиту.

В первой главе выполнен обзор работ и нормативных документов в области подготовки сжатого воздуха пневмоприводов. Анализ схем современных пневмоприводов как мобильных, так и стационарных машин, показал, что в питающей части пневмопривода в обязательном порядке устанавливается устройство осушки сжатого воздуха, обеспечивающее необходимый уровень качества сжатого воздуха.

Выполнен анализ способов и устройств сушки сжатого воздуха. Для мобильных машин чаще всего используются устройства адсорбционного типа. Такие устройства эффективны только в начальный период эксплуатации. Через 15-20 тыс. км пробега эффективность устройства осушки резко снижается. Причиной этого является невозможность полной регенерации адсорбента, с помощью специальной системы, встроенной в пневмопривод. В результате необходима постоянная регенерация адсорбента с помощью специальных устройств и приспособлений в стационарных условиях. В этом случае производится разборка устройства осушки и извлечение адсорбента, а через 2-3 цикла регенерации необходима замена адсорбента. Это приводит к повышению эксплуатационных расходов.

Анализ работ и технических решений данных специалистов показывает, что существует проблема разработки устройств осушки сжатого воздуха без использования расходных материалов, эффективность которого выше эффективности устройств адсорбционного типа с новым адсорбентом. Решение этой проблемы позволит отказаться от использования адсорбентов, что приведет к снижению эксплуатационных расходов.

Во второй главе выполнен анализ процесса образования конденсата при сжатии воздуха и разработаны способ и схема устройства осушки сжатого воздуха без использования адсорбента.

На основе уравнения состояния газа и результатов аппроксимации табличных зависимостей абсолютной влажности в состоянии насыщения от температуры получено уравнение для расчета массы конденсата (воды в жидком состоянии), образующего в результате сжатия воздуха:

$$m_{вк} = \frac{V_{сж} \delta_{сж}}{\delta_T} \varphi_{атм} (a_1 T_{атм}^4 + a_2 T_{атм}^3 + a_3 T_{атм}^2 + a_4 T_{атм} + a_5) - V_{сж} \varphi_{сж} (a_1 T_{сж}^4 + a_2 T_{сж}^3 + a_3 T_{сж}^2 + a_4 T_{сж} + a_5), \quad (1)$$

где $V_{сж}$ – объем воздуха после сжатия, м³; $\delta_{сж}$ – коэффициент сжатия воздуха: $\delta_{сж} = p_{сж} / p_{атм}$; $p_{атм}, p_{сж}$ – атмосферное давление и абсолютное давление сжатого воздуха, Па; δ_T – коэффициент изменения температуры воздуха: $\delta_T = T_{сж} / T_{атм}$; $T_{атм}, T_{сж}$ – абсолютная температура атмосферного и сжатого воздуха, К; $\varphi_{атм}, \varphi_{сж}$ – относительная влажность атмосферного и сжатого воздуха, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5 – коэффициенты регрессии: $a_1 = 2 \cdot 10^6, a_2 = 2 \cdot 10^4, a_3 = 9,9 \cdot 10^3, a_4 = 0,3216, a_5 = 4,764$;

Расчеты, выполненные с помощью уравнения (1) показали, что при сжатии атмосферного воздуха, температура которого > -10 °С, до избыточного давления $> 0,4$ МПа всегда в сжатом воздухе образуется конденсат (вода в жидком состоянии), что необходимо учитывать при разработке способа и устройства осушки сжатого воздуха. Причем, объем конденсата в сжатом воздухе существенно зависит от температуры и относительной влажности атмосферного воздуха, а также от степени сжатия. При увеличении данных показателей наблюдается рост объема конденсата.

При разработке способа осушки сжатого воздуха использовано известное свойство воздействия магнитного поля на движущиеся в нём электрически заряженные частицы. Поэтому, если электрически зарядить частицы воды и расположить поток сжатого воздуха в магнитном поле, таким образом, что бы вектор индукции магнитного поля B был направлен по нормали к вектору переносной скорости частицы воды V_o , то можно увеличить суммарную радиальную силу (центробежная сила плюс сила Лоренца), действующую на частицу жидкости. Для создания магнитного поля внутри устройства можно использовать соленоид, в котором вектор индукции магнитного поля B параллелен оси устройства. На основе формулы Лоренца и зависимости для расчета магнитной индукции внутри соленоида получено уравнение для расчета силы Лоренца F_L , действующей на заряженную частицу, движущуюся по кривой в магнитном поле соленоида:

$$F_L = q V_o \sin\alpha \mu \mu_0 \frac{U S_{np}}{\pi D_{cp} \rho_{np} \sqrt{l_c^2 + D_{cp}^2}} \quad (2)$$

где F_L – сила Лоренца, Н; q – электрический заряд, Кл; V_o – переносная (окружная) скорость движения частицы, м/с; α – угол между векторами V_o и B , град; μ – магнитная проницаемость среды: для воздуха и парамагнитных материалов $\mu \approx 1$; μ_0 – магнитная постоянная Н/А²; U – напряжение на обмотке, В; S_{np} – площадь поперечного сечения проводника, м²; D_{cp} – средний диаметр обмотки соленоида, м; ρ_{np} – удельное сопротивление проводника, Ом·м; l_c – длина соленоида, м.

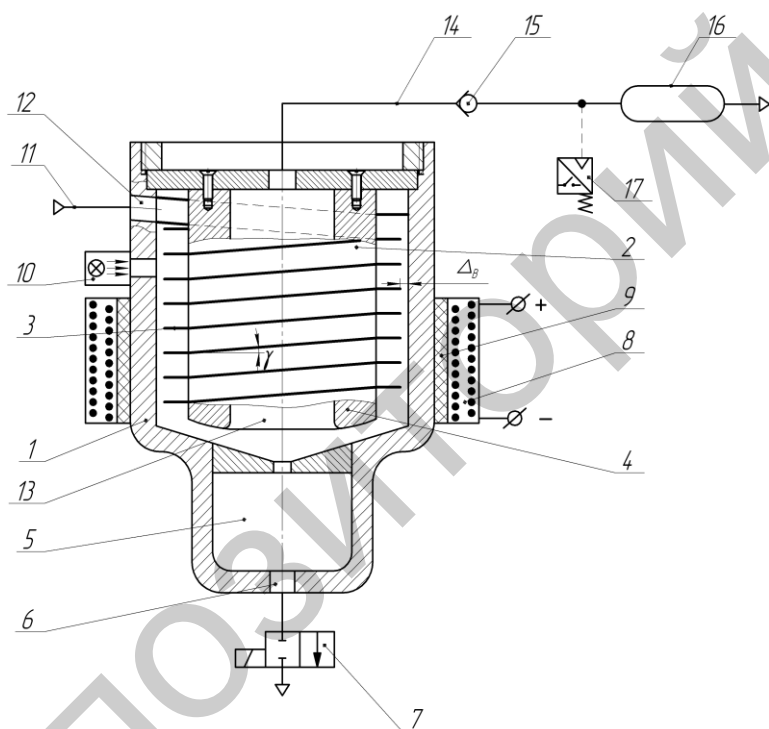
В качестве ионизатора молекул воды принято ультрафиолетовое излучение, так как оно более безопасно, чем γ -излучение. Если во влагоотдели-

теле создать магнитное поле безопасным для человека постоянным напряжением питания $U=24$ В, то при этом сила Лоренца, воздействующая на димер воды (две молекулы) массой $m = 5,986 \cdot 10^{-26}$ кг и зарядом $q=1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл (выбит один электрон), будет более чем в 70 раз больше центробежной силы, действующей на эту же частицу.

Основываясь на приведенных выше теоретических положениях, разработана схема центробежно-магнитного влагоотделителя (рисунок 1). От компрессора сжатый воздух по трубопроводу 11 через отверстие 12 в корпусе 1 поступает в винтовой канал, образованный направляющим аппаратом 3. Под действием центробежной силы инерции капли воды достигают внутренней вертикальной стенки корпуса 1 и стекают вниз в полость 5 через кольцевой зазор величиной Δ_B .

Затем поток воздуха подвергается ультрафиолетовому облучению с помощью ионизатора 10 и входит в магнитное поле, образованное соленоидом 8.

Поток положительно заряженных частиц воды под воздействием силы Лоренца устремляется к вертикальным стенкам корпуса 1, где соединяются с имеющимися там молекулами воды, и удерживаются за счет наличия водородной связи. Капли масла и твердые частицы пыли, находящиеся в сжатом воздухе, под воздействием центробежных сил инерции также отбрасываются к внутренней стенке корпуса 1, и образовавшаяся смесь стекает вниз в полость 5.



1 – корпус; 2 – сердечник; 3 – направляющий аппарат; 4 – заслонка; 5 – полость; 6 – отверстие; 7 – клапан; 8 – соленоид; 9 – теплоизоляционная прокладка; 10 – ионизатор; 11 – входной трубопровод; 12, 13 – отверстия; 14 – выходной трубопровод; 15 – обратный клапан; 16 – ресивер; 17 – реле давления

Рисунок 1 – Схема центробежно-магнитного влагоотделителя

Осушенный и очищенный сжатый воздух поступает в основной ресивер 16. Когда давление в пневмосистеме достигает верхнего предела, то срабатывает реле давления 17 и отключат электродвигатель компрессора, обмотку соленоида и обмотку

электромагнитного клапана 7. В результате запорный элемент клапана 7 опускается вниз и полость 5 соединяется с атмосферой. Под действием давления воздуха, находящегося в корпусе 1, смесь воды, масла и твердых частиц выбрасывается наружу.

Важным внутренним параметром влагоотделителя является смоченный периметр винтового канала. Смоченный периметр винтового канала необходимо выбирать таким образом, чтобы движение сжатого воздуха в винтовом канале происходило в области гидравлически гладких труб, так как при этом будет минимальное количество местных вихрей в потоке сжатого воздуха. В этом случае будет обеспечено радиальное направление центробежной силы и силы Лоренца от центра к периферии. С помощью зависимостей для расчета числа Рейнольдса и смоченного периметра установлено, что для компрессора ЭК 4В-М выполнение этих требований возможно при смоченном периметре $\chi_{min}=44$ мм.

На основе известной зависимости для расчета расхода, проходящего через щель, и зависимости для расчета объема конденсата в единицу времени, установленной путем преобразования зависимости (1), получено уравнение для определения одного из основных внутренних параметров влагоотделителя – площади кольцевого зазора (щели) $S_{щ}$ между сердечником и корпусом влагоотделителя:

$$S_{щ} = \frac{Q_{щ}}{\mu_{щ}} \sqrt{\frac{\rho_в D^3 \chi \cos \gamma}{256 \pi \nu_{сж} Q_{сж} \rho_{сж} d_c n}},$$

где $Q_{щ}$ – расход воды, проходящий через щель, м³/с; $\mu_{щ}$ – коэффициент расхода щели: $\mu_{щ}=0,73$; $\rho_в$ – плотность воды, кг/м³; D – гидравлический диаметр винтового канала, м; χ – смоченный периметр винтового канала, м; γ – угол подъема винтовой линии, град; $\nu_{сж}$ – кинематическая вязкость сжатого воздуха, м²/с; $Q_{сж}$ – расход сжатого воздуха, поступающего в винтовой канал, м³/с; $\rho_{сж}$ – плотность сжатого воздуха, кг/м³; d_c – наружный диаметр сердечника, м; n – количество витков винтового канала.

При использовании влагоотделителя в различных климатических условиях величина зазора между корпусом и сердечником центробежно-магнитного влагоотделителя должна быть различной, что может быть достигнуто установкой в корпусе влагоотделителя сердечников различного наружного диаметра. Максимальный зазор должен быть для зоны с тропическим влажным климатом. Для климатических условий Беларуси и применения в пневмоприводе компрессора ЭК 4В-М величина площади кольцевого зазора между корпусом и сердечником влагоотделителя должна быть $S_{щ}=2.5^{+0.3}$ мм², так как при этом через данный зазор будет проходить только

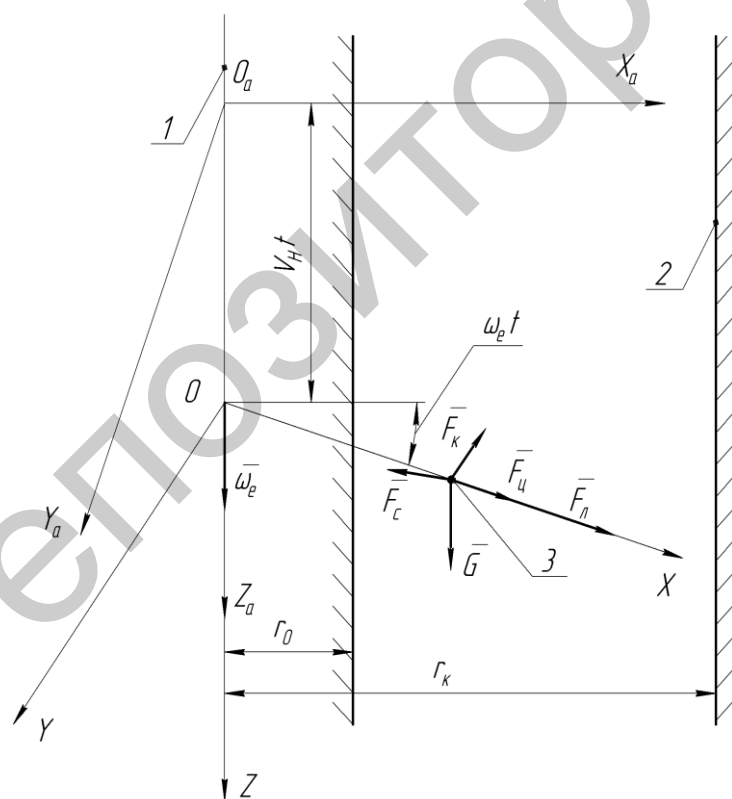
вода, а поток сжатого воздуха будет двигаться по винтовому каналу не прорываясь через кольцевой зазор и не нарушая винтовую траекторию.

Третья глава посвящена обоснованию и выбору основных параметров центробежно-магнитного влагоотделителя. Для определения необходимой длины пути или времени движения потока сжатого воздуха до и после облучения необходимо знать время движения частиц воды в винтовом канале относительно потока сжатого воздуха. Это также позволяет, зная смоченный периметр канала, определить размеры сечения винтового канала. С этой целью разработана схема сил, действующих на заряженную частицу (рисунок 2), и математическая модель движения частицы воды в силовом поле влагоотделителя вместе с потоком сжатого воздуха.

Система дифференциальных уравнений движения частицы в винтовом канале влагоотделителя имеет вид:

$$\begin{cases} m\ddot{x} = m\omega_e^2 x + q\omega_e Bx - 0,5k_c S_c \rho_{сж} \dot{x}^2; \\ m\ddot{y} = -2m\omega_e \dot{x} + 0,5k_c S_c \rho_{сж} \dot{y}^2; \\ m\ddot{z} = mg - 0,5k_c S_c \rho_{сж} \dot{z}^2, \end{cases} \quad (3)$$

где m – масса частицы, кг; g – ускорение свободного падения, м/с²; ω_e – угловая скорость, характеризующая вращательное движение частицы воды вместе с потоком воздуха, с⁻¹; r – радиус, равный расстоянию по нормали от оси влагоотделителя до частицы жидкости, м; k_c – коэффициент лобового сопротивления; S_c – площадь проекции макрочастицы воды на плоскость, перпендикулярную вектору V_r , м²; $\rho_{сж}$ – плотность сжатого воздуха, кг/м³.



1 – ось влагоотделителя; 2 – вертикальная стенка корпуса; 3 – заряженная частица

Рисунок 2 – Схема сил, действующих на заряженную частицу, движущуюся в канале центробежно-магнитного влагоотделителя

Теоретические исследования, выполненные с использованием полученных зависимостей, позволили установить, что вертикальный размер винтового канала

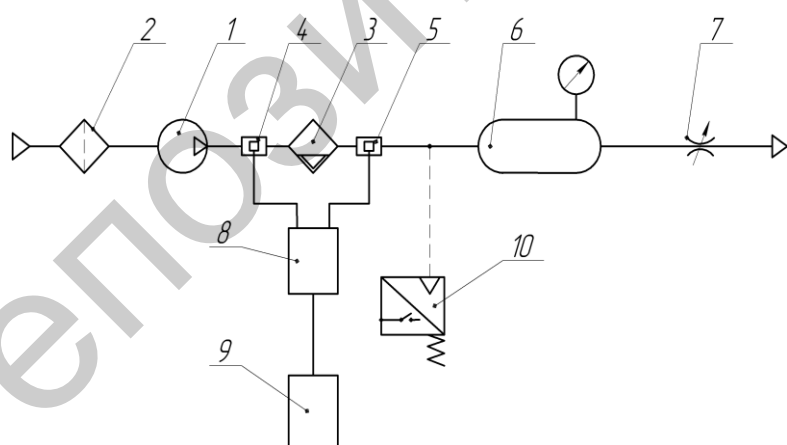
Теоретические исследования, выполненные с использованием полученных зависимостей, позволили установить, что вертикальный размер винтового канала

ла должен быть в 1,4...2 раза меньше, чем горизонтальный, поскольку скорость движения частицы воды по оси X, выше, чем по оси Z.

Горизонтальный размер винтового канала влагоотделителя, работающего с компрессором ЭК 4В-М, должен быть в пределах 20...25 мм, так как при этом обеспечивается движение воздуха в области, близкой к области гидравлически гладких труб. Угол наклона винтового канала к линии, перпендикулярной оси влагоотделителя должен составлять $6..10^0$. При этом вертикальный габаритный размер влагоотделителя существенно не увеличивается, а сила Лоренца F_L остается достаточно большой, поскольку угол между вектором F_L и вектором окружной скорости V_0 частицы воды меньше прямого угла всего на 0,1...1,5 %.

Математические зависимости, полученные в результате решения системы дифференциальных уравнений (3), позволили определить основные размеры влагоотделителя, работающего с компрессором ЭК 4В-М. Форма сечения винтового канала принята в виде прямоугольника со сторонами $a_6=24$ мм, $b_6=17$ мм, радиус, равный расстоянию по нормали от оси влагоотделителя до внутренней вертикальной стенки винтового канала, $r_0=52$ мм. Угол наклона винтового канала – 7^0 . Количество витков канала до облучения потока сжатого воздуха $n_1=2$, а количество витков после облучения – $n_1=7$. Определен внутренний диаметр корпуса влагоотделителя: $d_{вк}=152,1$ мм

Четвертая глава посвящена разработке стенда и методики для проведения экспериментальных исследований устройств осушки сжатого воздуха. Также в этой главе приведены результаты экспериментальных исследований разработанного влагоотделителя и влагоотделителя-аналога.



1 – компрессор; 2 – фильтр; 3 – влагоотделитель; 4,5 – датчики влажности НН 4602С с встроенными датчиками температуры; 6 – ресивер; 7 – регулируемый дроссель; 8 – устройство сбора данных NI 6009 (USB); 9 – компьютер

Рисунок 3 – Схема стенда для экспериментальных исследований влагоотделителей

Созданный автоматизированный стенд, позволяет определять точку росы, запас по точке росы и степень осушки сжатого воздуха (рисунок 3). Эти показатели отображаются на экране компьютера в специальном окне.

Были проведены экспериментальные исследования зависимости степени осушки сжатого воздуха от

пробега троллейбуса при использовании воздухоосушителя АКСМ 201-2302 и центробежно-магнитного влагоотделителя. Через 10 тыс км пробега степень осушки снизилась в АКСМ 201-2302 почти в 2 раза. Причиной этого является низкая эффективность системы регенерации адсорбента.

После 17,5 тыс км. пробега воздухоосушитель был опять испытан на стенде. Результаты следующие: $A_o=18,4\%$, потери давления во влагоотделителе $\Delta p=0,024$ МПа. Затем воздухоосушитель был вскрыт и проведена визуальная оценка состояния адсорбента. Адсорбент был влажным, его наружная поверхность была покрыта масляной пленкой, что объясняется низкой эффективностью системы регенерации адсорбента.

Затем были проведены испытания центробежно-магнитного влагоотделителя на том же троллейбусе. С увеличением пробега от 0 до 65 тыс км степень осушки сжатого воздуха уменьшилась примерно на 6,4 %, что связано с появлением масляной пленки на вертикальной внутренней стенке корпуса влагоотделителя (рисунок 4). Эта пленка ухудшает сцепление микрочастиц воды с молекулами тонкого слоя воды на упомянутой стенке. Поэтому, примерно через 20...30 тыс. км пробега (примерно один раз в

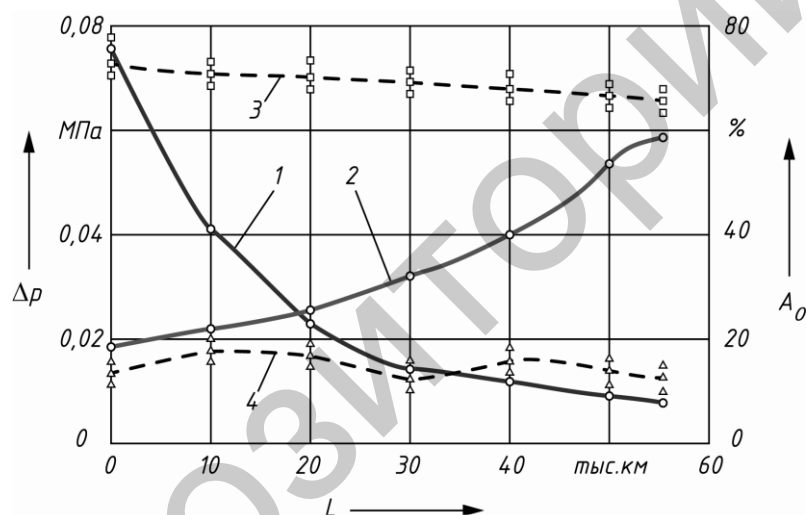


Рисунок 4 – Зависимость степени осушки сжатого воздуха A_o (кривые 1,3) и потерь давления Δp (кривые 2,4) от пробега троллейбуса L : — в воздухоосушителе АКСМ 201- 2302; - - - в центробежно-магнитном влагоотделителе

полгода) необходимо удалять масляную пленку с внутренней поверхности корпуса.

Вероятность безотказной работы пневмопривода при установке центробежно-магнитного влагоотделителя выше на 3,4...15,1 %, чем при использовании влагоотделителя АКСМ 201-2302 с новым адсорбентом. С увеличением пробега троллейбуса степень осушки сжатого воздуха

влагоотделителем АКСМ 201- 2302 уменьшается и вероятность безотказной работы пневмопривода снижается. После пробега 10 тыс. км вероятность безотказной работы пневмопривода с центробежно-магнитным влагоотделителем будет выше на 25,5...27,8 %, чем при использовании влагоотделителя АКСМ 201- 2302.

Разработанный влагоотделитель потребляет в 2,1 раза меньше энергии, чем влагоотделитель АКСМ 201- 2302. Кроме того, разработанный центробежно-магнитный влагоотделитель не требует расходных материалов. В базовом устройстве АКСМ 201-2302 необходима постоянная регенерация, а затем замена адсорбента. Экономический эффект от внедрения составляет 451321 бел. руб. в год на один троллейбус марки АКСМ в ценах 2007 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. На основе полученных математических зависимостей, описывающих совместное воздействие центробежной силы и силы Лоренца на электрически заряженную частицу воды установлено, что суммарная радиальная сила, действующая на частицу воды более чем в 70 раз превышает центробежную силу, что позволяет удалять не только конденсат, но и парообразную влагу из сжатого воздуха без использования адсорбентов [5, 19].

2. На основе известного уравнения расхода рабочей среды, проходящей через щель, получена математическая зависимость для определения одного из основных внутренних параметров влагоотделителя – кольцевого зазора между сердечником и корпусом влагоотделителя, позволившая установить, что при работе влагоотделителя в различных климатических условиях величина кольцевого зазора между корпусом и сердечником центробежно-магнитного влагоотделителя должна быть различной, что может быть достигнуто установкой сердечников различного наружного диаметра. Максимальный зазор должен быть для зоны с тропическим влажным климатом. Для умеренных климатических условий Беларуси при расходе воздуха $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ величина площади кольцевого зазора между корпусом и сердечником влагоотделителя должна быть $S_{щ} = 2.5^{+0.3} \text{ мм}^2$ [5, 9].

3. На базе разработанной математической модели, описывающей пространственное движение частиц воды в силовом поле центробежно-магнитного влагоотделителя и учитывающей массу, величину электрического заряда частиц воды, величину индукции магнитного поля и угловую скорость потока сжатого воздуха в винтовом канале влагоотделителя, установлено, что высота прямоугольного сечения винтового канала влагоотделителя должна быть в 1,4...2 раза меньше, чем его ширина. Ширина винтового канала влагоотделителя при расходе сжатого воздуха $5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$ должна быть в пределах 20...25 мм, так как при этом обеспечивается движение воздуха в области, близкой к области гидравлически гладких труб, т. е. без образования местных вихрей. Угол наклона винтового канала к линии, перпендикулярной оси влагоотделителя должен составлять $6 \dots 10^\circ$. Количество витков

канала до облучения потока сжатого воздуха для удаления макрочастиц влаги должно быть $n_1=2$, а количество витков после облучения для удаления микрочастиц влаги $n_2=7$ [4].

4. На основе уравнения состояния газа, описывающего состояние реального газа и результатов аппроксимации табличных зависимостей абсолютной влажности воздуха в состоянии насыщения от его температуры, получены математические зависимости для аналитического определения состояния рабочей среды пневмопривода, которые позволяют аналитически определить объем конденсата и величину насыщения сжатого воздуха, являющиеся входными показателями системы кондиционирования сжатого воздуха пневмопривода, в зависимости от температуры, относительной влажности, степени сжатия атмосферного воздуха и отношения температур сжатого и атмосферного воздуха. Установлено, что при сжатии атмосферного воздуха, температура которого $> -10^{\circ}\text{C}$, до избыточного давления $> 0,4$ МПа всегда в сжатом воздухе образуется конденсат [2].

5. В результате стендовых и дорожных экспериментальных исследований систем кондиционирования сжатого воздуха с штатным абсорбционным осушителем и разработанным центробежно-магнитным влагоотделителем установлено, что значения основных показателей эффективности системы кондиционирования сжатого воздуха пневмопривода троллейбуса (точка росы, степень осушки), использующей центробежно-магнитный влагоотделитель на 1,8...4,9 % выше аналогичных показателей системы со штатным осушителем в начальный период эксплуатации и на 26...57 % – после 10 тыс. км пробега. Вероятность безотказной работы пневмопривода троллейбуса при установке центробежно-магнитного влагоотделителя выше, чем у пневмопривода со штатным осушителем на 3,4...15,1 % в начальный период эксплуатации и на 25,5...27,8 % после 10 тыс. км пробега [1, 3, 18].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Способ и устройство для осушки сжатого воздуха внедрены на РУП «Белкоммунмаш» и МГКУП «Горэлектротранспорт» г. Могилев. Разработанный способ осушки сжатого воздуха и устройство для его реализации могут использоваться в других устройствах и пневмосистемах промышленных предприятий, например, в системах кондиционирования сжатого воздуха пневмоприводов станков и технологического оборудования. Экономический эффект от внедрения центробежно-магнитного влагоотделителя составляет 451321 бел. руб. в год на один троллейбус марки АКСМ в ценах 2007 г.

Система кондиционирования сжатого воздуха пневмопривода троллейбуса с разработанным влагоотделителем потребляет в 2,1 раза

меньше энергии, чем с влагоотделителем АКСМ 201- 2302. Также, система кондиционирования со штатным влагоотделителем требует постоянной энергозатратной регенерации адсорбента. Кроме того, применение разработанного центробежно-магнитного влагоотделителя в системах кондиционирования сжатого воздуха пневмопривода троллейбуса позволяет отказаться от расходных материалов (адсорбента), а также позволяет упростить штатную систему кондиционирования, исключив из ее состава регенерационный ресивер, дроссель и трубопровод, соединяющие этот ресивер с влагоотделителем [13].

Рекомендуется использовать следующие теоретические и экспериментально-практические результаты исследований:

- центробежно-магнитный способ осушки сжатого воздуха пневмопривода, основанный на воздействии магнитного поля на электрически заряженные частицы воды в потоке сжатого воздуха во влагоотделителе центробежного типа, позволяющий обеспечить высокую степень осушки сжатого воздуха пневмопривода (до 3...4-го класса чистоты по ISO 8573-1:2001), при этом, отличающийся от существующих способов меньшими затратами энергии, отсутствием расходных материалов, а также стабильностью высоких значений степени осушки в течение всего срока эксплуатации влагоотделителя. Разработанный способ позволяет удалять парообразную влагу из сжатого воздуха пневмопривода без использования адсорбентов, что сокращает эксплуатационные расходы [5, 12, 14, 15, 19]. Рекомендуется для использования в системах кондиционирования сжатого воздуха пневмоприводов мобильных и стационарных машин, выпускаемых предприятиями Беларуси и стран СНГ;

- устройство для осушки сжатого воздуха (центробежно-магнитный влагоотделитель), содержащее цилиндрический корпус, сердечник с винтовым каналом, соленоид, облучатель сжатого воздуха для ионизации частиц воды и электромагнитный клапан для удаления воды из влагоотделителя, также рекомендуется для использования в системах кондиционирования сжатого воздуха пневмоприводов мобильных и стационарных машин, используемых на предприятиях Беларуси и стран СНГ [6, 7, 10, 11, 16, 17, 20, 21];

- автоматизированный стенд для проведения экспериментальных исследований влагоотделителей, содержащий датчики влажности со встроенными датчиками температуры, USB устройство сбора данных, персональный компьютер с системой отображения значений исследуемых параметров может быть использован при оценке эффективности устройств и систем кондиционирования пневмоприводов [3, 8].

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных журналах

1. Галюжин, А.С. Анализ устройств очистки сжатого воздуха пневмосистем мобильных машин / А.С. Галюжин // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2010. – № 2. – С. 17–27.

2. Галюжин, А.С. Обоснование необходимости осушки сжатого воздуха / А.С. Галюжин // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. – 2010. – № 1. – С. 113–119.

3. Галюжин, А.С. Автоматизированный стенд для определения степени осушки и точки росы сжатого воздуха / А.С. Галюжин // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2010. – №1. – С. 155–159.

4. Галюжин, А.С. Математическая модель движения частицы воды в силовом поле центробежно-магнитного влагоотделителя / А.С. Галюжин // Вестник Белорусско-Российского университета. – 2011. – № 2. – С. 13–21.

5. Галюжин, А.С. Осушка сжатого воздуха с помощью магнитного поля / А.С. Галюжин // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2010. – № 1. – С. 126–134.

Статьи в сборниках научных трудов

6. Разработка устройства очистки сжатого воздуха пневмосистем транспортных средств / Галюжин С.Д., Галюжин А.С., Пускова В.М., Руцкий М.И. // Перспективные технологии, материалы и системы: сб. науч. тр. / редкол. В.Л. Басинюк [и др.]. – Могилев: МГТУ, 2001– С. 95–100.

Материалы научных конференций

7. Разработка устройства кондиционирования сжатого воздуха для пневмосистем троллейбусов / С.Д. Галюжин, А.С. Галюжин, В.М. Пускова, М.И. Руцкий // Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий, машин и комплексов: материалы междунар. научн.-техн. конф., Могилев, 25-26 окт. 2001 г. / МГТУ; под ред. А.С. Сазонова [и др.]. – Могилев. – С. 207–208.

8. Разработка стенда для испытаний устройств очистки сжатого воздуха / С.Д. Галюжин, М.И. Руцкий, А.С. Галюжин, В.М. Пускова // Создание и применение высокоэффективных наукоемких ресурсосберегающих технологий,

машин и комплексов: материалы междунар. научн.-техн. конф., Могилев, 25-26 окт. 2001 г. / МГТУ; под ред. А.С. Сазонова [и др.]– Могилев. – С. 210–211.

9. Петренко В.В. Очистка воздуха пневмосистем мобильных машин / В.В. Петренко, А.П. Попелушко; науч. рук. А.С. Галюжин: материалы 38-й студ. научн.-техн. конф., Могилев, 22-25 мая 2002 г. / МГТУ; под ред. А.С. Сазонова [и др.]– Могилев. – С. 146–147.

10. Галюжин, С.Д. Экологически безопасная установка очистки сжатого воздуха/С.Д. Галюжин, А.С. Галюжин // Современные технологии, материалы, машины и оборудование: материалы междунар. научн.-техн. конф., Могилев, 16-17 мая 2002 г. / МГТУ; под ред. А.С. Сазонова [и др.]– Могилев: МГТУ, 2002. – С. 308–309.

11. Галюжин, А.С. Разработка устройства очистки сжатого воздуха с помощью электромагнитных полей / А.С. Галюжин, С.Д. Галюжин // Актуальные проблемы механизации сельскохозяйственного производства: материалы междунар. научн.-практич. конф., Горки, 5-7 декабря 2002 г./ БГСХА; под ред. А.В. Шаршунова [и др.]. – Горки: БГСХА, 2005. – С. 45–49.

12. Галюжин, А.С. Способ очистки сжатого воздуха пневмосистем/ А.С. Галюжин; науч. рук. А.И. Сафонов // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы междунар. конф. молодых ученых, Могилев 19-20 ноября 2009 г./ Бел.-Рос. ун-т; под ред. А.С. Сазонова [и др.] – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2009. – С. 65.

13. Галюжин, А.С. Проблемы осушки сжатого воздуха пневмосистем машин для зимнего содержания дорог /А.С. Галюжин // Современные технологии, машины и материалы для зимнего содержания автомобильных дорог: материалы междунар. научн.-техн. конф., Могилев, 18-19 февраля 2010 г. / Бел.-Рос. ун-т; под ред. А.С. Сазонова [и др.]. – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2010. – С. 15–19.

14. Галюжин, А.С. Нанотехнология осушки сжатого воздуха / А.С. Галюжин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. научн.-техн. конф.: в 3-х ч., Могилев 22-23 апреля 2010 г. / Бел.-Рос. ун-т; под ред. А.С. Сазонова [и др.] – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2010. – Ч.2. – С. 15–16.

15. Сафонов, А.И. Нанотехнология очистки сжатого воздуха / А.И. Сафонов, А.С. Галюжин//Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин: материалы междунар. научн.-техн. конф., Мн., 17-19 ноября 2010 г. / БНТУ; под ред. Ф.А. Романюка [и др.] – Мн.: БНТУ, 2010. – С. 124–129.

16. Галюжин, А.С. Повышение степени очистки сжатого воздуха / А.С. Галюжин [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. научн.-техн. конф.: в 2-х ч., Могилев 21-22

апреля 2011 г. / Бел.-Рос. ун-т; под ред. А.С. Сазонова [и др.] – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2011. – Ч 2. – С. 30–31.

17. Галюжин, А.С. Проектирование устройства для осушки сжатого воздуха пневмосистем мобильных машин // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф.: в 2-х ч., Могилев 19-20 апреля 2012 г. / Бел.-Рос. ун-т; под ред. А.С. Сазонова [и др.] – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2012. – Ч 2. – С. 7–9.

18. Галюжин, А.С. Повышение эффективности устройств осушки сжатого воздуха // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы междунар. науч.-техн. конф.: в 2-х ч., Могилев 18-19 апреля 2013 г./ Бел.-Рос. ун-т; под ред. А.С. Сазонова [и др.] – Могилев: Бел.-Рос. ун-т, 2013. – Ч 1. – С. 74–75.

Патенты

19. Пат. 6933 РБ МКИ⁷ В 01D 53/26, 45/00. Способ осушки сжатого воздуха и установка для его осуществления/ С.Д. Галюжин, И.И. Сафонов, А.С. Галюжин (РБ); заявитель и патентообладатель Белорусско-Российский ун-т. – № 20020457; заявл. 28.05.2002; опубл. 30.03.2005, Бюл. № 1.– С. 27.

20. Пат. 7065 РБ МКИ⁷ В 01D 53/26. Система для осушки сжатого воздуха/ С.Д. Галюжин, И.И. Сафонов, А.С. Галюжин, Д.С. Галюжин (РБ); заявитель и патентообладатель Белорусско-Российский ун-т. – № 20020394; заявл. 08.05.2002; опубл. 30.06.2005, Бюл. № 2. – С. 105.

21. Пат. 7806 РБ МКИ⁷ В 01D 53/26. Установка для осушки сжатого воздуха пневмосистемы транспортного средства/ И.И. Сафонов, С.Д. Галюжин, А.С. Галюжин (РБ); заявитель и патентообладатель МГПУП «Белкоммунмаш». – № 20020483; заявл. 04.06.2002; опубл. 28.02.2006, Бюл. № 1. – С. 74.

РЭЗІЮМЭ

Галюжын Аляксандр Сяргеевіч

Разлік і праектаванне прылады цэнтрабежна - магнітнай асушкі сціснутага паветра пнеўмапрывадам

Ключавыя словы: пнеўмапрывад, сціснутае паветра, асушка, магнітнае поле, цэнтрабежная сіла, клас чысціні, кропка расы, ступень асушкі, аддзяліцель вільгаці, матэматычная мадэль, стэнд, безадмоўнасць.

Мэта працы - разлік і праектаванне прылады цэнтрабежна - магнітнай асушкі сціснутага паветра пнеўмапрывадам.

Аб'ект даследаванняў - сістэма кандыцыянавання сціснутага паветра пнеўмапрывадам мабільных машын.

Прадмет даследаванняў - спосабы і прылады асушкі сціснутага паветра сістэмы кандыцыянавання пнеўмапрывадам.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Распрацавана матэматычная мадэль руху часціц вады ў сілавым полі цэнтрабежна - магнітнага аддзяліцеля вільгаці, якая ўлічвае масу часціц, электрычны зарад, індукцыю магнітнага поля і вуглавую хуткасць патоку сціснутага паветра. Устаноўлены матэматычныя залежнасці для вызначэння асноўных параметраў аддзяліцеля вільгаці ў залежнасці ад расходу сціснутага паветра і колькасці змяшчаемага ў ім кандэнсату.

Праведзеныя выпрабаванні прылад паказалі, што значэнні асноўных паказчыкаў эфектыўнасці сістэмы кандыцыянавання сціснутага паветра пнеўмапрывадам тралейбуса (кропка расы, ступень асушкі), якая выкарыстоўвае распрацаваны цэнтрабежна - магнітны аддзяліцель вільгаці, на 1,8 ... 4,9 % вышэйшыя, чым аналагічныя паказчыкі сістэмы са штатным адсарбцыйным асушальнікам у пачатковы перыяд эксплуатацыі і на 26 ... 57% - пасля 10 тыс. км прабегу. Верагоднасць безадмоўнай працы пнеўмапрывада тралейбуса пры ўсталёўцы распрацаванага цэнтрабежна - магнітнага аддзяліцеля вільгаці вышэйшая, чым у пнеўмапрывада са штатным асушальнікам на 3,4 ... 15,1 % у пачатковы перыяд эксплуатацыі і на 25,5 ... 27,8 % пасля 10 тыс. км прабегу.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Навуковыя вынікі даследаванняў дазволілі распрацаваць цэнтрабежна - магнітны спосаб асушкі сціснутага паветра пнеўмапрывада, заснаваны на ўздзеянні магнітнага поля на электрычна зараджаныя часціцы вады. Распрацаваны спосаб дазваляе ўдаляць парадобную вільгаць са сціснутага паветра без выкарыстання адсарбентаў, што скарачае эксплуатацыйныя выдаткі мабільных машын. Прылада (цэнтрабежна - магнітны аддзяліцель вільгаці), распрацаваная на аснове дадзенага спосабу, забяспечвае практычна незалежную ад часу эксплуатацыі ступень асушкі сціснутага паветра да 3 ... 4-га класа чысціні па ISO 8573-1:2001.

РЕЗЮМЕ

Галюжин Александр Сергеевич

Расчет и проектирование устройства центробежно-магнитной осушки сжатого воздуха пневмопривода

Ключевые слова: пневмопривод, сжатый воздух, осушка, магнитное поле, центробежная сила, класс чистоты, точка росы, степень осушки, влагоотделитель, математическая модель, стенд, безотказность.

Цель работы – расчет и проектирование устройства центробежно-магнитной осушки сжатого воздуха пневмопривода.

Объект исследований – система кондиционирования сжатого воздуха пневмоприводов мобильных машин.

Предмет исследований – способы и устройства осушки сжатого воздуха системы кондиционирования пневмопривода.

Полученные результаты и их новизна. Разработана математическая модель движения частиц воды в силовом поле центробежно-магнитного влагоотделителя, учитывающая массу частиц, электрический заряд, индукцию магнитного поля и угловую скорости потока сжатого воздуха. Установлены математические зависимости для определения основных параметров влагоотделителя в зависимости от расхода сжатого воздуха и количества содержащегося в нем конденсата.

Проведенные испытания устройств показали, что значения основных показателей эффективности системы кондиционирования сжатого воздуха пневмопривода троллейбуса (точка росы, степень осушки) использующей разработанный центробежно-магнитный влагоотделитель на 1,8...4,9 % выше аналогичных показателей системы со штатным адсорбционным осушителем в начальный период эксплуатации и на 26...57 % – после 10 тыс. км пробега. Вероятность безотказной работы пневмопривода троллейбуса при установке разработанного центробежно-магнитного влагоотделителя выше, чем у пневмопривода со штатным осушителем на 3,4...15,1 % в начальный период эксплуатации и на 25,5...27,8 % после 10 тыс. км пробега.

Рекомендации по использованию. Научные результаты исследований позволили разработать центробежно-магнитный способ осушки сжатого воздуха пневмопривода, основанный на воздействии магнитного поля на электрически заряженные частицы воды. Разработанный способ позволяет удалять парообразную влагу из сжатого воздуха без использования адсорбентов, что сокращает эксплуатационные расходы мобильных машин. Устройство (центробежно-магнитный влагоотделитель), разработанное на основе данного способа, обеспечивает практически независимую от времени эксплуатации степень осушки сжатого воздуха до 3...4-го класса чистоты по ISO 8573-1:2001.

SUMMARY

Galyuzhin Alexander Sergeevich

Calculation and design of the device for centrifugal magnetic drying of compressed air in the pneumatic actuator.

Key words: pneumatic actuator, compressed air, drying, magnetic field, centrifugal force, purity class, dew point, degree of dehumidification, drier, mathematical model, stand, reliability.

Purpose of the research – calculation and design of the device for centrifugal magnetic drying of the compressed air in the pneumatic actuator

Object of the research – the system of compressed air conditioning in pneumatic actuators of mobile machines

Subject of the research – methods and devices for the dehumidification of compressed air in the conditioning system of hydraulic actuators

The results obtained and their novelty. A mathematical model of water particles motion in the force field of a centrifugal magnetic drier has been developed, which takes into account particles mass, electric charge, magnetic field induction, and angular velocity of the compressed air flow. Mathematical dependencies have been found to determine the basic parameters of a drier based on the compressed air flow and the amount of condensate it contains.

Testing of the devices has shown, that the values of key efficiency indicators of the system of compressed air conditioning in the trolleybus pneumatic actuator (dew point, the degree of dehumidification), using the designed centrifugal magnetic drier are 1.8 ... 4.9% higher than similar indicators of the system with a standard adsorption drier at the initial stage of its operation and 26 ... 57% higher after a 10 thousand kilometer run. The probability of failure-free operation of a trolleybus pneumatic actuator with the installed centrifugal magnetic drier is 3.4 ... 15.1% higher than that of a pneumatic actuator with the standard drier at the initial stage of its operation and 25.5 ... 27.8% higher after a 10 thousand kilometer run.

Recommendations for the application. Research results allowed us to develop a centrifugal magnetic method to dry compressed air in the pneumatic actuator, which is based on the effect of the magnetic field on electrically charged water particles. The method developed allows removing vapor moisture from the compressed air without using adsorbents, which reduces operating costs of mobile machines. The device (the centrifugal magnetic drier), designed on the basis of this technique, provides the degree of compressed air drying, which is up to 3 ... 4 purity classes in compliance with ISO 8573-1:2001 and is virtually independent of the time of operation.

Научное издание

ГАЛЮЖИН Александр Сергеевич

**РАСЧЕТ И ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВА
ЦЕНТРОБЕЖНО-МАГНИТНОЙ ОСУШКИ
СЖАТОГО ВОЗДУХА ПНЕВМОПРИВОДА**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.02.02 – Машиноведение, системы приводов
и детали машин

Подписано в печать 28.02.2014. Формат 60×84¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.
Усл. печ. л. 1,22. Уч.-изд. л. 0,95. Тираж 70. Заказ 25.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.