

4449870
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище им. Н.Э. Баумана

На правах рукописи

ВАНЕЕВ Сергей Михайлович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ВИХРЕВОГО ПНЕВМОПРИВОДА С
ВНЕШНИМ ПЕРИФЕРИЙНЫМ КАНАЛОМ И СОПЛОВЫМ АППАРАТОМ

05.04.06. - Вакуумная и компрессорная техника

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Москва - 1987

Работа выполнена в Московском высшем техническом училище
им. Н.Э. Баумана.

Научный руководитель – кандидат технических наук,
доцент Хмара В.Н.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Бекнев В.С.;
кандидат технических наук, доцент
Кореньев А.М.

Ведущая организация – СКБ ТМ, г. Москва.

Защита состоится "10" апреля 1988 г. в 16 час.
00 мин. на заседании специализированного Совета К.053.15.07
в Московском высшем техническом училище им. Н.Э. Баумана по
адресу: 107005, Москва, Б-5, Лефортовская набережная, д. I,
корпус факультета "Энергомашиностроение".

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им.
Н.Э. Баумана.

Авторефер

Ваш отзы
ба выслать по
специализиро

сь-
. 5,

Учен
специализир
кандидат те
доц

М449870

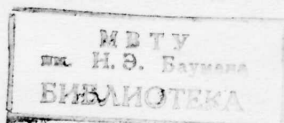
Актуальность темы. Поставленная на XXII съезде КПСС перед машиностроителями задача: "... резко повысить технико-экономический уровень машин, оборудования, приборов" - полностью относится и к созданию пневматических приводов, которые находят все более широкое применение в народном хозяйстве. В последнее время возрастают потребности в малорасходных, малогабаритных пневмоприводах, способных при сравнительно низких частотах вращения развивать относительно большие крутящие моменты. Основным недостатком пневмоприводов в сравнении с электрическими является их низкий КПД (20-30%). Но в условиях, когда требуются надежность и долговечность, простота и удобство эксплуатации, потребитель предпочитает пневматический привод, а в условиях взрыво- и пожаробезопасности он может оказаться единственно приемлемым. Выпускаемые в Советском Союзе серийно шестеренные, поршневые, ротационные и турбинные пневмоприводы имеют ряд недостатков, ограничивающих область их применения. Так, шестеренные пневмоприводы имеют большую массу и габариты, высокий уровень шума при работе; поршневые - быстро изнашиваются из-за наличия большого числа кинематических пар, имеют сложную конструкцию и технологию; ротационные - ненадежны, загрязняют рабочее тело масляными аэрозолями, быстро изнашиваются; турбинные - высокооборотны и сложны в изготовлении. Поэтому задача создания надежного, малогабаритного, низкооборотного, технологически и конструктивно простого пневмопривода, имеющего относительно высокий уровень КПД, является в достаточной степени актуальной. В этом смысле перспективным представляется использование вихревой машины в режиме пневмопривода.

Цель работы. Разработка и исследование вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом с получением основных расчетных зависимостей и выдачей конкретных рекомендаций по проектированию.

Методы исследования. В работе использованы методы теоретического анализа и экспериментального исследования.

Научная новизна. Обоснована возможность повышения эффективности вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом.

I



НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1449870

Ванеев С.М. Разработка и

лом путем организации газового потока на входном участке, а значит и по длине проточной части, посредством сопла, определенным образом ориентированного относительно лопаток рабочего колеса. Использована теория подобия для анализа работы вихревого пневмопривода с определением критериальных комплексов и разработана методика расчета на основе физического моделирования ступеней и результатов экспериментального исследования. Разработана методика расчета вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом на основе анализа структуры и оценки потерь в проточной части с помощью интегральных коэффициентов. Выявлен характер влияния основных геометрических и газодинамических параметров ступени на входе на ее эффективность и основные режимные параметры. Получены практические рекомендации по их выбору, обеспечивающие относительно высокий уровень КПД, в зависимости от располагаемого перепада давлений на ступень. Проведена визуализация течения в проточной части ступени, подтверждающая наличие продольно-вихревого движения. Определены пути дальнейшего повышения эффективности вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом посредством ряда простых конструктивных мероприятий.

Практическая ценность результатов работы состоит в создании и определении области рационального применения вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом как технологичного, простого по конструкции и в эксплуатации, удобного для выполнения многоканальной и многопоточной схем, сравнительно низкооборотного при относительно больших пусковых и номинальных моментах привода, получении рекомендаций по проектированию его в зоне максимального КПД для широкого диапазона перепадов давлений на ступень.

Апробация и реализация результатов работы. Основные результаты работы докладывались на Всесоюзной научно-технической конференции "Повышение технического уровня, надежности и долговечности компрессоров и компрессорных установок" (Казань, 1986 г.), на технических семинарах и заседаниях кафедры "Компрессорные, вакуумные машины и пневмоагрегаты" МВТУ им. Н.Э.Баумана. По теме диссертации опубликовано 3 статьи, получено авторское свидетельство на изобретение. Результаты работы использованы при выполнении научно-исследовательской темы.

Объем и структура работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы: изложена на 183 страницах, включающих 129 страниц текста, 40 рисунков, 4 таблицы, список литературы из 82 наименований на 10 страницах.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность работы, сформулировано направление исследований, показаны научная и практическая ценность работы.

В первой главе представлен обзор литературных источников по исследованию вихревых машин в режиме привода и потерь на входном участке проточной части в вихревых насосах и компрессорах.

Установлено, что большинство советских и зарубежных исследователей при качественном описании рабочего процесса, происходящего в проточной части вихревой машины, исходят из предположения существования в ней сложного продольно-вихревого (спиралевидного) движения частиц рабочего тела, представляемого как результат сложения тангенциального и меридионального течений, и подтвержденного замерами полей скоростей и визуализацией течения в проточной части вихревых насосов и компрессоров. Эффективность работы машины определяется интенсивностью продольно-вихревого движения.

Входной участок проточной части является источником больших потерь энергии, так как здесь происходит изменение структуры и скорости потока, перемешивание рабочей среды, поступающей через входной патрубок, со средой, переносимой через отсекатель, поток обладает большой потенциальной и кинетической энергией, при работе вихревой машины в режиме привода. Попытки повышения эффективности вихревых насосов и компрессоров путем организации газового потока на входном участке проточной части посредством простых конструктивных мероприятий дали положительный результат.

Имеются единичные исследования работы вихревой машины с внешним периферийным каналом в режиме привода. Отмечается ее низкий КПД (10-13%), что объясняется отсутствием рационально

организованного течения в проточной части. Возможность повышения ее эффективности не исследовалась, хотя она является наиболее технологичной и конструктивно простой по сравнению с вихревыми машинами, имеющими другие типы проточных частей, особенно при исполнении многоканальной схемы.

Отсутствуют работы по исследованию влияния геометрических и газодинамических параметров входного участка проточной части на характеристики вихревого пневмопривода.

Не рассматривались вопросы применения теории подобия для анализа работы вихревого пневмопривода.

В соответствии с целью и результатами проведенного анализа, для повышения эффективности вихревой машины с внешним периферийным каналом, работающей в режиме пневмопривода, была предложена конструкция, имеющая сопло на входе, определенным образом ориентированное относительно лопаток рабочего колеса, на которую получено авторское свидетельство СССР № 1260534, кл. F04D1/08, F04D17/06; определены основные задачи работы.

1. Обоснована возможность повышения эффективности вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом путем организации газового потока на входном участке и по длине проточной части посредством сопла, определенным образом ориентированного относительно лопаток рабочего колеса.

2. Провести анализ рабочего процесса с рассмотрением структуры и интегральной оценкой потерь в проточной части.

3. Рассмотреть вопросы подобия применительно к вихревой ступени, работающей в режиме пневмопривода.

4. Получить основные расчетные зависимости для режима максимальной эффективности.

5. Экспериментально исследовать влияние геометрических и газодинамических параметров ступени на ее эффективность и основные режимные параметры.

6. Провести визуализацию течения в проточной части.

7. Исследовать механические и пусковые характеристики привода.

8. Разработать методику расчета вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом.

Во второй главе рассмотрены особенности рабочего процесса вихревой ступени с соплом на входе, работающей в режиме пневмопривода. Разработана структура потерь и КПД. Получены основные расчетные зависимости для режима работы в зоне максимального КПД ступени. Предложена методика расчета вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом на основе структуры и оценки потерь в проточной части с помощью интегральных коэффициентов. Рассмотрены вопросы применения теории подобия для анализа работы вихревой ступени в режиме привода и предложена методика расчета на основе физического моделирования ступеней.

На рис. I показана схема вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом.

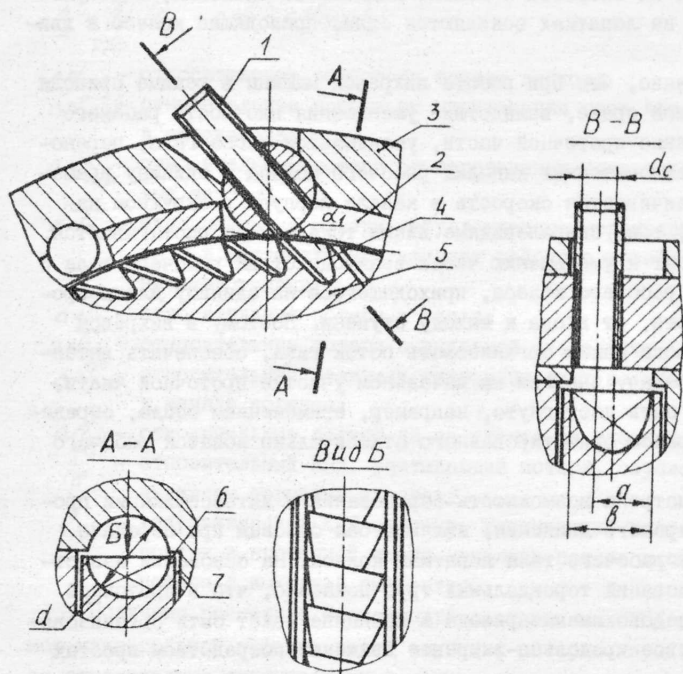


Рис.1

Газ через сопло 1 поступает в проточную часть, образованную каналом 2 корпуса 3 и межлопаточными каналами 4 рабочего колеса 5, вращающегося в корпусе с малыми радиальными 6 и торцевыми 7 зазорами. Вектор абсолютной скорости частицы газа, движущейся в проточной части, является векторной суммой трех составляющих: окружной (тангенциальной, расходной) C_u , меридиональной (циркуляционной) C_θ и радиальной C_r , которая ввиду малости обычно не принимается во внимание. Средняя окружная составляющая скорости (среднерасходная скорость) $C_{u(cp)}$ рабочего тела в канале больше окружной скорости рабочего колеса U . Чтобы эффективно использовать энергию рабочего тела, находящегося в канале, нужно организовать продольно-вихревое движение по длине проточной части. При перемещении частиц рабочего тела в межлопаточных каналах рабочего колеса изменяется направление и величина их скорости и момент количества движения, в результате чего на лопатках появляются силы, приводящие колесо в движение.

Показано, что при работе вихревой машины в режиме привода на сжимаемой среде, вследствие уменьшения плотности рабочего тела по длине проточной части, уменьшается масса газа, переносимая в межлопаточных каналах рабочего колеса в единицу времени, и увеличивается скорость в канале корпуса в окружном направлении, т.е. спиралевидные линии тока как бы растягиваются, что приводит к уменьшению числа взаимодействий рабочего тела с лопатками рабочего колеса, приходящегося на единицу длины проточной части, от входа к выходу ступени. Поэтому в вихревом пневмоприводе важно организовать поток газа, обеспечить интенсивную передачу энергии на начальном участке проточной части. Это может быть достигнуто, например, применением сопла, определенным образом ориентированного относительно лопаток рабочего колеса.

Рассмотрена возможность образования и интенсификации продольно-вихревого движения, являющегося базовым при передаче энергии от рабочего тела лопаткам колеса. На основании известных исследований тороидальных труб показано, что в проточной части вихревого пневмопривода в принципе может быть организовано устойчивое продольно-вихревое движение посредством простых

конструктивных мероприятий: например, смещением оси сопла относительно оси симметрии по ширине колеса.

Рассмотрен ряд других положительных особенностей, связанных с применением сопла: возможность эффективно срабатывать большие перепады давлений в одной ступени, понижение уровня давлений в рабочем канале, уменьшение ударных потерь при входе в проточную часть во время режима раскрутки и др.

При разработке структуры потерь и КПД использован широко применяемый при исследовании лопаточных машин со сложной проточной частью метод учета потерь с помощью интегральных коэффициентов, отражающих потери в отдельных элементах проточной части. В общем случае выражение для КПД ступени предлагается в виде:

$$\eta_s = 1 - \Delta \overline{N}_{г.д.} - \Delta \overline{N}_{пер} - \Delta \overline{N}_{б.пер} - \Delta \overline{N}_0 - \Delta \overline{N}_c - \Delta \overline{N}_{р.к.} - \Delta \overline{N}_{д.и.} - \Delta \overline{N}_{ут.}$$

или

$$\eta_s = \bar{\eta}_s (\eta_r - \Delta \overline{N}_0 - \Delta \overline{N}_{пер}),$$
 где

$\Delta \overline{N}_{г.д.}$ — относительные потери на трение дисков;

$\Delta \overline{N}_{пер}$ — относительные потери от перетекания газа через зазор в отсекателе;

$\Delta \overline{N}_{б.пер}$ — относительные потери от перетекания газа через торцевые зазоры;

$\Delta \overline{N}_0$ — относительные потери, обусловленные переносом массы газа в межлопаточных каналах рабочего колеса с выхода на вход ступени;

$\Delta \overline{N}_c$ — относительные потери в сопле;

$\Delta \overline{N}_{д.и.}$ — относительные потери с выходной скоростью;

$\Delta \overline{N}_{р.к.}$ — относительная величина гидравлических потерь в колесе и канале корпуса;

$\Delta \overline{N}_{ут.}$ — относительные потери из-за утечек во внешнюю среду;

$\bar{\eta}_s$ — относительный КПД, учитывающий потери, обусловленные наличием торцевых зазоров;

η_r — гидравлический КПД ступени, учитывающий гидравлические потери в проточной части, включая потери в сопле и потери с выходной скоростью.

Получены расчетные зависимости составляющих КПД для режимов максимальной эффективности ступени, которые характеризуются относительно организованным течением по спиралевидным линиям

ям тока. Эти зависимости включают в себя безразмерные газодинамические и геометрические параметры, характеризующие режим работы машины, и экспериментальные коэффициенты:

$$\begin{aligned} \zeta_r &= 2\kappa \bar{U}^2 \left\{ \frac{\bar{C}_{\theta(cr)} \left[\frac{8}{d} - 6 \left(1 + 2 \frac{1+\alpha_0}{2+\alpha_0} \right) \right]}{3(\bar{f}_{u(cr)} + 1)(1+\alpha_0)} + 1 \right\} \times \\ &\quad \times [\bar{C}_{\theta(cr)} \operatorname{ctg} \beta_{1n} (1+M) + (1+\alpha_0)(1+M)]; \\ \Delta \bar{N}_D &= \alpha_D \left[\zeta'_S - \bar{U}^2 (1 + 4 \bar{C}_L \sin \alpha_f \operatorname{ctg} \beta_{1n}) \right]; \\ \Delta \bar{N}_{опер} &= [1 - \beta_S (1 - \varepsilon^2)] \alpha_{опер}; \\ \bar{\zeta}_D &= f \left(\frac{\bar{\sigma}}{\bar{d}^2} \sqrt{1 - \frac{\pi_c}{\pi_{cr} \bar{p}_k}} \right). \end{aligned}$$

Специфичные для вихревых машин потери, обусловленные переносом массы газа через отсекаТЕЛЬ, в вихревом пневмоприводе меньше, чем в вихревом компрессоре, из-за меньшей плотности газа и разницы температур смешиваемых потоков, вследствие охлаждения газа при расширении в сопле и подогрева его из-за трения в рабочем канале (при равных начальных температурах и перепаде давлений на ступень). Основными потерями в вихревом пневмоприводе являются гидравлические потери и потери, обусловленные торцевыми зазорами. Потери от перетекания газа через радиальный зазор в отсекателе малы, так как перетечки идут против вращения колеса и выполнить этот зазор технологически гораздо проще, чем торцевой, поэтому эти потери можно не принимать во внимание.

Диапазоны изменения составляющих КПД, подсчитанные по приведенным выше зависимостям, для наилучших с точки зрения максимального КПД режимов:

$$\begin{aligned} \zeta_r &= 0,42 \pm 0,46; & \Delta \bar{N}_D &= 0,035 \pm 0,055; & \bar{\zeta}_D &= 0,76 \pm 0,80; \\ \zeta'_S &= 0,28 \pm 0,33. \end{aligned}$$

На основании анализа структуры и оценки потерь в проточной части с помощью интегральных коэффициентов и относительных величин потерь, выраженных в виде зависимостей от основных геометрических и газодинамических параметров ступени, а также результатов экспериментального исследования разработана методика расчета вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом

и сопловым аппаратом.

Рассмотрены вопросы применения теории подобия для анализа работы вихревой машины в режиме привода, в результате чего выявлены основные критериальные комплексы, определяющие режим работы машины. Рассмотрен ряд частных случаев физического моделирования ступеней и режимов работы, в том числе, и вариант двух- и многоступенчатого расширения. Выяснено, в частности, что в широком диапазоне изменения степени понижения давления в первой ступени, в зависимости от отношения d/D и КПД ступени η_s , можно использовать одну и ту же модельную ступень для расчета двухступенчатой машины, каждая ступень которой будет работать в зоне максимального КПД η_s^m . Предложена методика расчета вихревого пневмопривода на основе экспериментально-го материала и физического моделирования ступеней.

В третьей главе определены цель и задачи экспериментального исследования, дано описание экспериментального стенда и экспериментальной модели вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом, приведена методика экспериментального исследования, сделана оценка погрешностей измерений.

В задачи экспериментального исследования входило:

- а) исследование влияния основных геометрических и газодинамических параметров ступени на входе (угла входа потока газа на лопатки рабочего колеса (угла между осью сопла и касательной к наружному диаметру рабочего колеса α_1), относительной площади сопла $\bar{F}_c = F_c/F_{ak}$, относительной величины смещения оси сопла по ширине колеса $\bar{a} = a/b$, коэффициента скорости на выходе из сопла λ_c) на эффективность и основные режимные параметры ступени;
- б) проведение статической продувки испытанных сопел;
- в) получение механических характеристик привода, определение его места среди пневмоприводов других типов;
- г) исследование пусковых характеристик;
- д) проведение визуализации течения в проточной части.

Для решения поставленных задач спроектирована, изготовлена и испытана модель вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом, в конструкции которой предусмотрено устройство,

позволяющее изменять угол наклона и диаметр сопла, а также величину смещения оси сопла по ширине колеса. Всего проведена 41 серия испытаний с различными геометрическими соотношениями (d_r , $\bar{r}_c$, $\bar{\sigma}$). По направлению скорость потока на выходе из сопла изменялась от радиальной до тангенциальной, а по величине — до звуковой скорости.

Испытания модели вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом проводились на стенде, основными составными частями которого являлись: испытываемая модель, устройство измерения момента на валу привода (УИМ) и воздушный тормоз. УИМ представляет собой торсионный валик, установленный в подшипниках. При помощи имеющихся на нем магнитных меток через индукционные датчики частотомером ЧЗ-ЗЗ замерялся интервал времени между импульсными сигналами от индукционных датчиков. Этот интервал времени пропорционален углу скручивания торсионного валика и, соответственно, моменту на валу привода. Конструкция УИМ предусматривала возможность закрепления на приводном валу в месте фиксации торсионного валика специального рычаг-плеча, которое использовалось для определения пускового момента и тарировочной зависимости угла скручивания торсионного валика от приложенного момента. Воздушный тормоз представлял собой контур, состоящий из вихревого компрессора, змеевикового холодильника и поршневого передвижного компрессора, служащего для поддержания в контуре нужного давления. Частота вращения измерялась частотомером ЧЗ-ЗЗ, на вход которого поступал сигнал от датчика импульсов, установленного на определенном расстоянии от стальной пластинки, закрепленной на валу привода, и дублировалась строботактометром. Расход воздуха через пневмопривод измерялся с помощью стандартной диафрагмы и дифференциального манометра, установленных на подводящем трубопроводе. Замерялись также статические давления перед диафрагмой, на входе, выходе ступени и в шести меридиональных сечениях по длине проточной части с помощью образцовых манометров типа М0. Замер температур осуществлялся перед диафрагмой, на входе и выходе ступени с помощью хромель-копелевых термопар с записью на потенциометр КСП-4. Воздух на стенд подавался из сети под давлением не более 0,6 МПа. Рабо-

10

та пневмопривода в режиме раскрутки инерционных масс изучалась с помощью шлейфового осциллографа Н-ИП7 по сигналу одного из индукционных датчиков. При этом колесо вихревого компрессора заменялось инерционной массой.

Для получения основных безразмерных параметров, характеризующих эффективность и режим работы привода (ξ_s , T_{cr} , λ_u , β_s , λ_e , $\bar{U}$), по результатам измерений определялись: потребляемый расход воздуха m_e , крутящий момент на валу привода M , мощность N , частота вращения n , величины давления p и температур T перед и за соплом и на выходе ступени, изоэнтропная работа расширения газа в сопле h_{sc} и ступени h_s . Предельная относительная погрешность при определении всех перечисленных величин лежит в пределах 2+5%.

В четвертой главе приведены результаты экспериментального исследования и дан их анализ, представлены практические рекомендации по проектированию вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом.

В результате первоначальной обработки экспериментальных данных для всех исследованных значений геометрических параметров (4I вариант) построены характеристики ступени в виде зависимостей изоэнтропного КПД от расхода (коэффициента расхода по нормальным условиям) и мощности, давления на входе и выходе ступени, степени понижения давления в ступени и проточной части (за соплом) при различных частотах вращения. Для ряда режимов построены также зависимости изоэнтропного КПД для различных коэффициентов скорости в окружном направлении от величины удельной мощности, коэффициентов расхода и скорости на выходе из сопла, приведенной окружной скорости рабочего колеса. Графики первичной обработки экспериментального материала являлись исходными для получения зависимостей максимального изоэнтропного КПД ξ_s^m и соответствующих ему основных режимных параметров в безразмерной форме T_{cr} , $\bar{U}$, λ_e , p_e , β_s и величины $N_{уд}$ от исследуемых геометрических и газодинамических параметров ступени на входе при различных значениях коэффициента скорости в окружном направлении. Анализ этих зависимостей позволил выявить диапазоны изменения геометрических и газодинамических параметров, обеспечивающие относительно высо-

кий уровень КПД при соответствующих комбинациях:

геометрические параметры

$$\alpha_r = 25+50^0;$$

$$f_c = 0,26+1,06;$$

$$\bar{\sigma} = 0,5+0,80;$$

газодинамические параметры

$$K_{cr} = 1,3+4,0;$$

$$A_u = 0,12+0,18;$$

$$A_c = 0,2+1,0;$$

$$\bar{v} = 0,11+0,18;$$

$$\beta_s = 0,12+0,67.$$

Определены пути дальнейшего повышения эффективности вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом посредством ряда простых конструктивных мероприятий: выполнение канала корпуса сегментообразным в меридиональном сечении с площадью этого сечения, меньшей площади полукруга для "поджатия" продольного вихря к лопаткам рабочего колеса; увеличение площади рабочего канала вдоль его длины по закону, при котором среднерасходная скорость в канале остается постоянной; исполнение многопоточной схемы и др.

Экспериментально было показано существование и влияние на эффективность ступени интенсивности продольно-вихревого движения в проточной части. Наличие этого движения подтверждают результаты визуализации течения в проточной части путем нанесения на поверхность рабочего канала капелек растворенной в воде масляной краски и последующего размытия их по поверхности во время работы машины. Капельки оказались размытыми по винтовым линиям, причем в начале канала эти линии имеют более крутой подъем (более "сжаты"), чем в конце канала, а на лопатках рабочего колеса строго на одной стороне хорошо видны следы краски, выброшенной из канала корпуса. При изменении интенсивности продольно-вихревого движения за счет смещения оси сопла по ширине колеса наблюдается существенное изменение эффективности привода.

Исследовано влияние коэффициента скорости в окружном направлении A_u (окружной скорости рабочего колеса, частоты вращения) на основные безразмерные параметры, определяющие режим

работы машины (λ_{cr} , $\bar{U}$, λ_c , γ_c , β_s) в зоне максимального изэнтропного КПД, и показателя эффективности (ζ^m , N_{sp}).

Диапазон углов атаки при входе потока газа, истекающего из сопла, на лопатки рабочего колеса для зон ζ^m соответствовал $\zeta_1 = +5 \div 15^\circ$, причем с увеличением коэффициента скорости в окружном направлении λ_c угол атаки ζ_1 увеличивается. Ширина диапазона объясняется специфичным для вихревых машин свойством непостоянства угла атаки по длине проточной части вследствие изменения окружной составляющей скорости. При увеличении скорости потока газа на выходе из сопла ударные потери на входном участке становятся определяющими в общей сумме ударных потерь в проточной части и поэтому ζ_1 приближается к нулевой зоне.

Для определения необходимых при анализе работы ступени параметров потока газа на выходе из исследованных сопел была проведена их статическая продувка, результаты которой представлены в виде зависимостей величины, характеризующей приведенный расход газа через сопло, и коэффициента скорости на выходе из сопла от степени понижения давления в сопле

$$q_{gr}(\lambda_c) = f(\lambda_c); \quad \lambda_c = f(\lambda_c).$$

Анализ распределения статического давления по длине проточной части показал, что на значительном участке проточной части оно падает практически равномерно; применение сопла позволяет организовать устойчивое продольно-вихревое течение по всей длине проточной части, особенно на входном ее участке, важном в энергетическом отношении.

Получены механические и пусковые характеристики привода. Следует отметить, что отношение пускового момента к номинальному имеет сравнительно большое значение и для одного из лучших с точки зрения максимального КПД режимов равно:

$$\frac{M_p}{M_{ном}} = 1,67.$$

По этому показателю исследованный привод уступает только поршневому пневмоприводу и может быть успешно использован, например, для раскрутки инерционных масс. Анализ разгонных характеристик, полученных для ступени с соплом, определенным образом

ориентированным относительно лопаток рабочего колеса, и ступени, имеющей радиальный подвод в рабочий канал, показал, что применение сопла позволяет гораздо быстрее раскрутить инерционную массу до заданной частоты вращения.

В результате экспериментального исследования

- показана целесообразность применения сопла, определенным образом ориентированного относительно лопаток рабочего колеса, в вихревой машине, работающей в режиме пневмопривода; достигнутый КПД (30+33%), что в 2,5+3 раза больше, чем КПД известных из литературных источников вихревых машин с внешним периферийным каналом, работающих в режиме привода, позволяет говорить о возможности реального использования такой машины;
- доказано существование продольно-вихревого движения в проточной части машины путем визуализации течения и возможность интенсификации этого движения посредством ряда простых конструктивных мероприятий;
- выявлено, что вихревой пневмопривод с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом обладает относительно высоким отношением пускового момента к номинальному, уступая по этому показателю только поршневому пневмоприводу;
- получены разгонные характеристики привода;
- определены пути дальнейшего повышения эффективности вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом;
- даны практические рекомендации по проектированию вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом как сравнительно низкооборотного при относительно больших пусковых и номинальных моментах, технологичного и конструктивно простого, надежного и удобного в эксплуатации типа привода.

Количественные результаты экспериментальных исследований, необходимые для расчета методом, основанным на интегральной оценке потерь в проточной части, представлены в виде диапазонов изменения основных геометрических и газодинамических параметров ступени, обеспечивающих относительно высокий уровень КПД, в зависимости от располагаемого перепада давлений на ступень в диапазоне изменения $\Delta p_r = 1,3+4,0$.

На основании результатов эксперимента предложено также
22 режима работы для расчета машины методом моделирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ литературных источников показал, что имеются единичные исследования вихревой машины с внешним периферийным каналом, работающей в режиме привода; отмечаются ее технологичность и низкая эффективность. Выявлено также, что источником больших потерь является начальный участок проточной части.

2. Предложен эффективный, технологичный, конструктивно простой, надежный и удобный в эксплуатации вихревой пневмопривод с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом, защищенный авторским свидетельством СССР № 1260534, кл. F01D1/08, F04D17/06.

Несомненным достоинством этого привода является простота и удобство исполнения многоканальной и многопоточной схем.

3. Спроектирована, изготовлена и исследована экспериментальная модель вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом.

4. КПД привода, по сравнению с известными из литературных источников результатами испытаний вихревой машины с внешним периферийным каналом в режиме привода, благодаря организации потока газа на входе, а, значит, и по длине проточной части, посредством сопла, определенным образом ориентированного относительно лопаток рабочего колеса, увеличен в 2,5-3 раза. Определены пути дальнейшего повышения эффективности привода.

5. Получены практические рекомендации по выбору основных геометрических и газодинамических параметров ступени, обеспечивающие относительно высокий уровень КПД, в зависимости от величины располагаемого перепада давлений на ступень в диапазоне изменения $\pi_{cr} = 1,3-4,0$.

6. Механические и разгонные характеристики привода показывают целесообразность использования его на пусковых режимах.

7. Разработана методика расчета вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом на основе анализа структуры и оценки потерь в проточной части с помощью интегральных коэффициентов.

8. Рассмотрена возможность применения теории подобия для анализа работы вихревой ступени, работающей в режиме пневмопривода. Разработана методика расчета вихревого пневмопривода на основе физического моделирования ступеней и результатов экспериментального исследования.

9. Результаты исследований и методики расчета использованы при разработке пневмоприводов по плану работ, предусмотренных научно-исследовательской темой.

По теме диссертации имеются следующие работы:

1. Хмара В.Н., Сергеев В.Н., Ванеев С.М. Работа вихревой машины в режиме пневмопривода // Известия ВУЗов. Машиностроение. - 1985. - № 9. - С. 59-62.

2. Хмара В.Н., Сергеев В.Н., Ванеев С.М. Исследование вихревой машины с периферийным каналом в режиме пневмопривода // Повышение технического уровня, надежности и долговечности компрессоров и компрессорных установок: Тезисы докладов 7-й Всесоюз. науч.-техн. конф. - Казань, 1985. - С. 135-136.

3. Хмара В.Н., Ванеев С.М., Орлов О.Г., Песик Е.И. Исследование вихревой машины с внешним периферийным каналом и сопловым аппаратом // Повышение технического уровня компрессорных, холодильных и вакуумных машин: Тезисы докладов Межреспубл. студент. науч. конф. - Одесса, 1986. - С. 39-40.

4. Хмара В.Н., Ванеев С.М. Влияние организации потока газа на входном участке проточной части на эффективность вихревого пневмопривода с внешним периферийным каналом. - М., 1985, 12 с. - Рукопись представлена МВТУ им. Н.Э.Баумана. Деп. в ЦИТИХимнефтемаш 1 авг. 1985, № I422хм-85деп.

5. Хмара В.Н., Сергеев В.Н., Ванеев С.М. Работа вихревых машин с периферийным каналом в режиме пневмопривода // Тр. МВТУ - 1986. - № 464. - С. 49-59.

6. А.с. I260534 СССР, МКИ F01D1/08, F04D17/06. Вихревая машина / В.Н.Хмара, В.Н.Сергеев, С.М.Ванеев и др; МВТУ им. Н.Э.Баумана (СССР). - № 3845509/31-06: Заявл. 17.01.85: Опубл. 30.09.86. Бюл. № 36 // Открытия. Изобретения. - 1986. - № 36. - С. 120.

Подписано к печати 26.02.88 Объем 1,0 печ.л. Л-44005
Тираж 100 экз. Заказ № 284 Типография МВТУ им. Н.Э.Баумана
16

