

## Учредители

- Институт машиноведения им. А.А. Благонравова  
Российской академии наук
- Московский государственный индустриальный университет

## Издатель

Московский государственный индустриальный университет

Журнал зарегистрирован 30 декабря 2004 г. Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-19294

## РЕДКОЛЛЕГИЯ ЖУРНАЛА

### ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Ганиев Р.Ф.**, академик РАН, директор Института машиноведения им. А.А. Благонравова Российской академии наук (ИМАШ) РАН

### ОТВЕТСТВЕННЫЙ РЕДАКТОР

**Скопинский В.Н.**, д.т.н., профессор (МГИУ)

### ЗАМЕСТИТЕЛИ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

**Баранов Ю.В.**, д.т.н., проф. (ИМАШ РАН)

**Овчинников В.В.**, д.т.н., проф. (ФГУП «РСК МИГ»)

### ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ

**Алешин Н.П.**, академик РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Асташев В.К.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Беляков Г.П.**, д.э.н., проф. (Красноярск)

**Бобровницкий Ю.И.**, д.ф.-м.н., проф. (Москва)

**Вайсберг Л.А.**, д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)

**Горкунов Э.С.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Екатеринбург)

**Григорян В.А.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Дроздов Ю.Н.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Индейцев Д.А.**, член-корр. РАН, д.ф.-м.н., проф. (Санкт-Петербург)

**Колесников А.Г.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Кошелев О.С.**, д.т.н., проф. (Н. Новгород)

**Лунев А.Н.**, д.т.н., проф. (Казань)

**Махутов Н.А.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Пановко Г.Я.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Перминов М.Д.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Петров А.П.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Полилов А.Н.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Поникаров С.И.**, д.т.н., проф. (Казань)

**Приходько В.М.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Резчиков А.Ф.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Саратов)

**Рототаев Д.А.**, д.т.н., проф., акад. РАРАН (Москва)

**Теряев Е.Д.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Федоров М.П.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Санкт-Петербург)

**Чаплыгин Ю.А.**, член-корр. РАН, д.т.н., проф. (Москва)

**Шляпин А.Д.**, д.т.н., проф. (Москва)

**Штриков Б.Л.**, д.т.н., проф. (Самара)

# МАШИНОСТРОЕНИЕ И ИНЖЕНЕРНОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

## № 4'2009

Выходит 4 раза в год

ISSN 1815-1051

## В номере

### МАШИНЫ И СИСТЕМЫ МАШИН

**А. А. Шейпак**

Влияние технологических отклонений размеров проточной части динамического пневмопривода на изменение его КПД..... 2

### АНАЛИЗ И СИНТЕЗ МАШИН

**В. А. Глазунов, Нгуен Нгок Хуэ, Нгуен Минь Тхань**

К анализу особых положений механизмов параллельной структуры ..... 11

### КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

**Ю. Ф. Иванов, С. В. Коновалов,**

**О. А. Столбоушкина, В. Е. Громов**

Формирование тонкой структуры и поверхности разрушения технически чистого *Al* под действием слабых электрических потенциалов ..... 17

**В. В. Столяров**

Трибологическое поведение наноструктурных и крупнозернистых металлических материалов..... 25

**А. Н. Кравченко, А. Д. Шляпин**

Контактное легирование легкоплавкими элементами ..... 31

**А. Х. Хайри, А. Ю. Омаров**

Структура и свойства бемита, получаемого в качестве побочного продукта при производстве водорода ..... 35

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАШИН И СИСТЕМ

**И. А. Разумовский, А. С. Чернятин**

Методология и программа для исследования напряженно-деформированного состояния с использованием интерференционно-оптических и численных методов ..... 42

**Н. В. Вожова, Б. С. Вольфсон**

Оценка статической прочности штуцерного узла сепаратора с использованием трехмерного конечно-элементного моделирования ..... 52

**К. А. Палагута, С. Ю. Чиркин, А. В. Кузнецов**

Синтез системы управления двигателем внутреннего сгорания с использованием гибридных и нейронных сетей ..... 59

### ПРОБЛЕМЫ ИНЖЕНЕРНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

**Н. А. Онанко, М. А. Хончев**

Стандартизация информационных ресурсов для дистанционного образования как решение проблемы создания распределенных сетей ..... 67

**А. Б. Юрасов, Р. М. Третьяков**

Методики и технологии создания унифицированных ресурсов для распределенных систем дистанционного образования ..... 72

**А. В. Добровольский**

Мировое движение иностранных выпускников учебных заведений России ..... 78

### Уважаемые читатели!

*Журнал «Машиностроение и инженерное образование» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора или кандидата наук.*

# ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОТКЛОНЕНИЙ РАЗМЕРОВ ПРОТОЧНОЙ ЧАСТИ ДИНАМИЧЕСКОГО ПНЕВМОПРИВОДА НА ИЗМЕНЕНИЕ ЕГО КПД

А. А. Шейпак

**Реферат.** В работе установлены основные размеры проточной части, влияющие на разброс КПД сверхзвуковых динамических приводов. Показано, что контроль качества изготовления целесообразно проводить посредством измерения основных размеров и оценки разброса КПД с помощью предварительно полученных регрессионных зависимостей.

**Ключевые слова:** сверхзвуковой динамический привод, разброс КПД, технологические допуски, планирование эксперимента

## Введение

Рабочий процесс и характеристики динамического привода различных энергетических систем изучаются специалистами многих проектных и научных организаций. При проектировании динамического привода может быть использован инженерный опыт, накопленный при разработке регулирующих ступеней паровых турбин в судостроении и энергетике и некоторых типов турбин, применяемых в авиации для привода вспомогательных агрегатов.

Наиболее распространенным типом соплового аппарата для малоразмерных парциальных турбин является одиночные сопла с конической расширяющейся частью и цилиндрическим

косым срезом (сопло Лавалья), так как такая геометрия позволяет получить достаточную точность выполнения критического сечения и приемлемую эффективность проточной части. Это конструктивное исполнение соплового аппарата исключает заметный разброс по пропускной способности, поэтому в техническую документацию вносят, как правило, только одну величину: эффективный или мощностной коэффициент полезного действия (КПД). Основным элементом динамического пневмопривода является рабочее колесо в виде диска с лопатками. Развертка рабочего колеса и соплового аппарата представлены на рис. 1. Анализ геометрии проточной части позволяет наряду со строгим

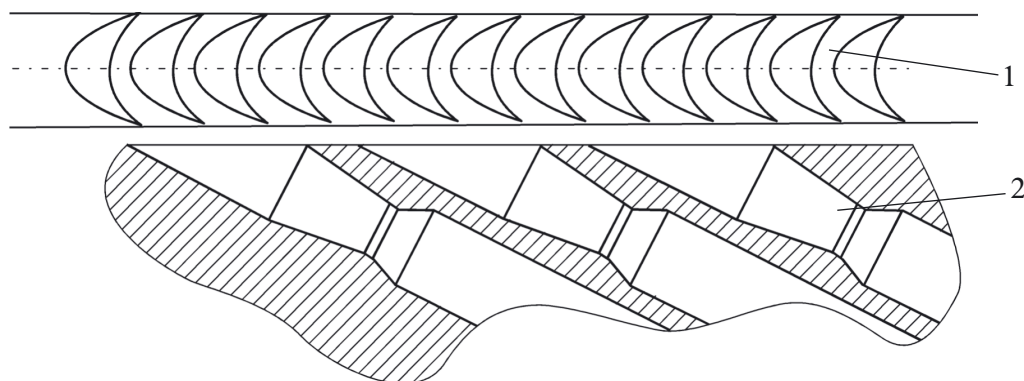


Рис. 1. Типовая решетка профилей:  
1 – рабочее колесо; 2 – сопловой аппарат

определением «динамический пневмопривод» использовать термин «турбина», опуская название рабочего тела – «воздух».

### Особенности рабочего процесса исследуемого динамического привода

Существенной особенностью рабочего процесса динамического привода является наличие системы нестационарных скачков уплотнения перед фронтом рабочей решетки и на выходе из нее. Внешние головные скачки уплотнения не только влияют на течение газа в межлопаточном канале рабочей решетки, но при некоторой толщине входной кромки воздействуют на распределение давлений и состояние пограничного слоя вдоль стенки сопла. В связи с этим было бы некорректно говорить о традиционном разделении потерь, рассматриваемом при расчетах турбин.

Если принять значение скоростного коэффициента соплового аппарата  $\phi=0,90$  и скоростного коэффициента рабочей решетки  $\psi=0,85$  для базового варианта турбины, получим распределение потерь при относительной скорости  $U/C_0=0,20$  ( $U$  – окружная скорость на среднем диаметре турбины, м/с;  $C_0$  – адиабатная скорость истечения газа, м/с). В распределении потерь

учитывались следующие показатели (табл. 1): экспериментальное значение КПД  $\eta_{\text{экс}}$ ; расчетное значение КПД  $\eta_{\text{расч}}$ ; относительные потери в сопловом аппарате  $\xi_c$ ; относительные потери в рабочем колесе  $\xi_k$ ; относительные потери с выходной скоростью  $\xi_{\text{вых}}$ ; относительные потери на утечку  $\xi_{\text{ут}}$ ; относительные потери на парциальный вход  $\xi_e$ .

Очевидно, что характеристики сверхзвуковых динамических приводов должны в заметной степени реагировать на величину толщины входной кромки рабочих лопаток ротора, определяющей интенсивность головных скачков уплотнения.

Формы входной кромки могут быть очень разными (рис. 2). Они определяются различной технологией изготовления ротора (литье или электроэрозия). Максимальные искажения носика обусловлены чрезмерной пескоструйной обработкой.

Эксперименты, проведенные с различными входными кромками рабочих лопаток, позволяют распространить на исследованный случай теорему о слабой зависимости гидравлических потерь от формы носика профиля, доказанную для гиперзвукового обтекания. Вследствие этого, в рабочих колесах малых размеров целесообразнее всего применять простые про-

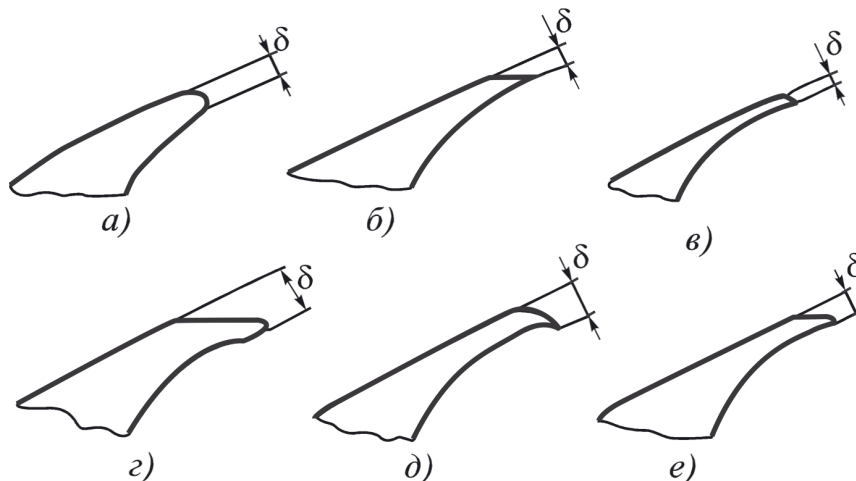


Рис. 2. Входные кромки рабочих лопаток ротора турбины различной формы и толщины  $\delta$

Таблица 1

КПД и распределение потерь для базового варианта турбины  
при относительной скорости  $U/C_0=0,20$

Параметры	КПД		Относительные потери				
	$\eta_{\text{экс}}$	$\eta_{\text{расч.}}$	$\xi_c$	$\xi_k$	$\xi_{\text{вых}}$	$\xi_{\text{ут}}$	$\xi_e$
Значения	0,42	0,41	0,19	0,14	0,18	0,04	0,04