

УДК 621.542

## КВАЗИЭКСЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО МИКРОТУРБИННОГО ПРИВОДА РУЧНЫХ ШЛИФОВАЛЬНЫХ МАШИН

Хрунков С.Н., Крайнов А.А., Жуков А.Е.

*ФГБ ОУ ВПО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», Нижний Новгород, Россия (603950, Нижний Новгород, ул. Минина, 24), e-mail: khrunkov@mail.ru*

**Обоснована актуальность исследований в области совершенствования рабочих процессов в микротурбинном приводе пневматического инструмента. Отражена проблема понижения температуры газа при его расширении касательно ручного пневматического инструмента. Изучена зависимость температуры отработавшего воздуха от степени перепада давления в турбинной ступени привода. Дана практическая оценка важности данного термодинамического явления при расширении воздуха на примере использования ручной пневматической шлифовальной машины. Построена характерная зависимость работы сжатого воздуха от степени перепада давления в турбинной ступени в процентном соотношении. Проведен квазиэксергетический анализ рабочего процесса. Изучены особенности этих двух зависимостей, сделаны выводы.**

Ключевые слова: микротурбинный привод, ручная шлифовальная машина, рабочие процессы

## QUASI-EXERGY ANALYSIS OF A PNEUMATIC MICROTURBINE DRIVE IN HAND GRINDING MACHINES

Khrunkov S.N., Kraynov A.A., Zhukov A.E.

*Nizhny Novgorod State Technical University n.a. R.E. Alekseev, Nizhny Novgorod, Russia (603950, Nizhny Novgorod, Minin street, 24), e-mail: khrunkov@mail.ru*

**The urgency of research in the field of process improvement in micro-turbine drive pneumatic tools. Reflects the problem of lowering the temperature of the gas during its expansion regarding handheld pneumatic tools. We studied the dependence of the temperature of the exhaust air from the degree of pressure drop in the turbine speed drive. Given the practical importance score of a given thermodynamic effects in the expansion of the air as you use manual pneumatic sander. Built characterized by the dependency of compressed air to the degree of pressure drop in the turbine speed as a percentage. Conducted quasi-experimental analysis workflow. The peculiarities of these two relationships, the findings.**

Keywords: micro-turbine drive, hand-grinding machines, works processes.

Современное крупное высокотехнологичное производство трудно представить без использования последних разработок в области высокопроизводительного ручного инструмента. В настоящее время широчайшие возможности предоставляют ручной пневматический инструмент и пневматические системы. Несмотря на некоторое увеличение затрат на проектирование, приобретение и монтаж компрессорной станции и пневмолиний, многие производства, от крупных судостроительных верфей до небольших автохозяйств и сервисов, предпочитают пневматический инструмент электрическому. Это объясняется тем, что пневматический инструмент более безопасен, надежен, неприхотлив в эксплуатации и имеет более выгодные массогабаритные показатели.

В качестве преобразователя кинетической энергии сжатого воздуха в механическую энергию чаще всего используется ротационный пневматический двигатель [1]. Также в настоящее время имеются все основания говорить о микротурбинном приводе как о более выгодном, чем ротационный, за счет лучшей производительности [2].

У пневматического инструмента, кроме более высокой цены, имеются и другие недостатки по сравнению с электрическим инструментом. Один из них – это падение температуры рабочего воздуха турбинной ступени при его расширении. Это явление объясняется тем, что по термодинамическим условиям рабочего процесса в турбинном приводе рабочее тело, расширяясь, совершает работу. В данном процессе имеет место значительное понижение температуры. Падение температуры рабочего тела зависит от разности давлений рабочего тела до и после турбинной ступени, т.е. от степени срабатывания давления воздуха.

### **Цель исследования**

Целью данного исследования является теоретическое изучение зависимости получаемой термодинамической работы воздуха, температуры отработавшего воздуха от степени срабатывания давления в приводе ручного пневматического инструмента.

Задачи, поставленные в исследовании:

- 1) вывести основополагающие термодинамические зависимости параметров рабочего процесса в микротурбинной ступени;
- 2) выбрать диапазоны данных и построить график зависимости перепада температуры от перепада давления;
- 3) проанализировать эффективность работы привода исходя из зависимости работы расширения воздуха в процентном соотношении от степени срабатывания давления.

### **Материал и методы исследования**

В реальных условиях эксплуатации ручного пневматического инструмента с турбинным приводом упомянутый выше перепад температур играет чрезвычайно важную роль. Согласно основным законам теплопередачи поток воздуха, проходящий через сопловой аппарат и рабочее колесо турбинной ступени, имеющий низкую температуру, охлаждает корпусные детали инструмента. Эта особенность процесса расширения рабочего тела может привести к некоторым неудобствам в эксплуатации такого инструмента. А в зависимости от условий работы (степень срабатывания давления и температура сжатого воздуха, температура окружающей среды) может нанести травмы оператору из-за низких отрицательных температур деталей корпуса и рукояток инструмента [3].

Согласно «Санитарным Правилам и Нормам» (п. 3.5 «Гигиенические требования к температуре рукояток и их поверхности») температура поверхностей и рукояток ручных инструментов должна находиться в пределах от 21,5 до 43,5°С. При этом оптимальным является диапазон 25–32° С.

Другими словами, при определенных условиях, например при больших перепадах давления в турбинной ступени или при низкой температуре окружающей среды,

эксплуатация пневматического инструмента данного типа невозможна без некоторых конструктивных решений, обеспечивающих приемлемые значения температуры рукояток и деталей корпуса.

Из основ технической термодинамики известно, что быстропротекающие процессы сжатия и расширения воздуха с достаточной степенью точности можно считать адиабатическими, а сам воздух – идеальным газом [4]. Поэтому в исследовании использовались термодинамические зависимости применительно к адиабатическому процессу. Уравнение адиабаты идеального газа при условии, что теплоемкости воздуха  $C_v$  и  $C_p$  являются постоянными и не зависят от температуры:

$$p \cdot v^k = const \quad (1)$$

Принятые допущения дают возможность получить соотношение между температурами и давлениями рабочего тела на входе в микротурбинный привод ручного пневматического инструмента (отмечены индексом 1) и на выходе из него (отмечены индексом 2):

$$T_2 = T_1 \left( \frac{p_2}{p_1} \right)^{\frac{k-1}{k}}. \quad (2)$$

По формуле (2), задав начальную температуру постоянной  $T_1=300$  К и переменное значение давления  $p_2=0,1 \dots 0,73$  Мпа, вычислим значения  $T_2$ . Результаты представлены в таблице 1.

Согласно термодинамическим зависимостям, применительно к адиабатному процессу располагаемая работа определяется как:

$$l' = \frac{kR}{k-1} (T_1 - T_2), \left[ \frac{Дж}{кг} \right]; \quad (3)$$

где  $k$  – показатель адиабаты;

$R$  – газовая постоянная;

$T_1, T_2$  – температура в начале и конце расширения.

Далее произведем расчет величины располагаемой работы для различных вариантов конечного давления  $p_2$  в квазиэксергетическом подходе. Для оценки зависимости падения эффективности от перепада давления в процентном соотношении принимаем величину располагаемой работы за эталонные 100%.

При данном исследовании был принят интервал значений  $p_2=0,1-0,73$  МПа. Верхний предел взят исходя из параметров работы самых распространенных пневматических систем. У большинства производимых в настоящее время ручных пневматических машин рабочее давление сжатого воздуха составляет ~ 0,7 МПа. Нижний предел принят из тех соображений, что инструмент используется при атмосферном давлении, среднее значение которого

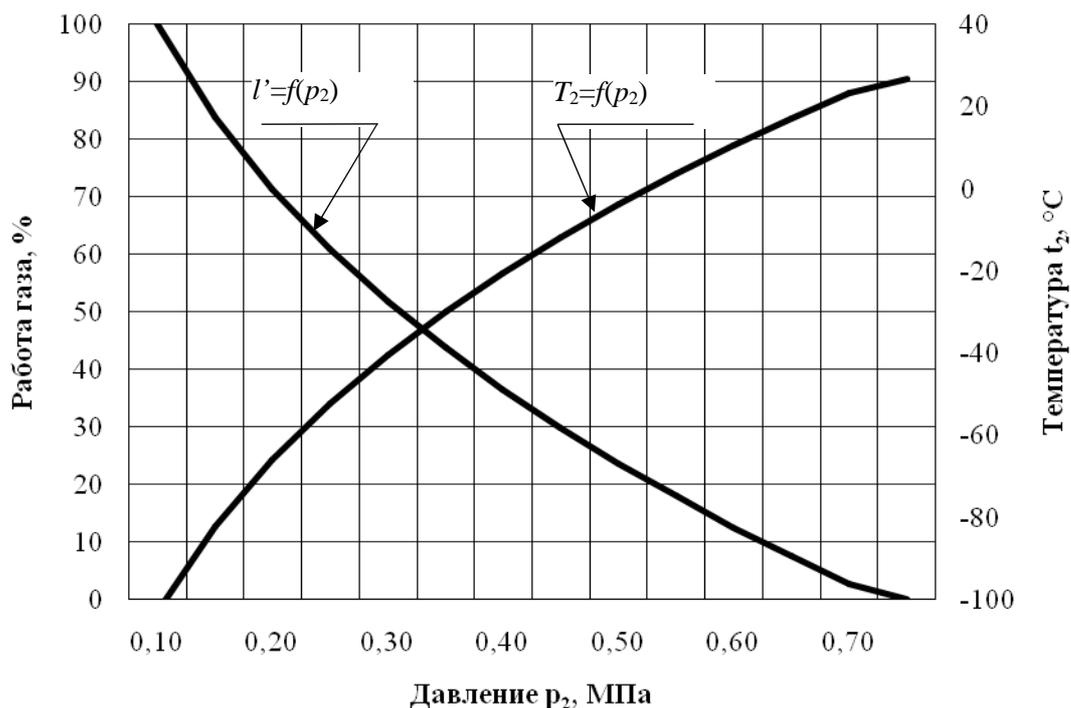
составляет 0,1 МПа. Начальная температура  $T_1$  составляет 300 К как средняя температура сжатого воздуха в пневматической системе. Исходя из заданных выше интервалов и зависимостей (5) и (6) были составлены таблицы значений  $T_2$  и  $l$  при заданных значениях  $p_2$ . Результаты представлены в таблице 1.

**Таблица 1**

Расчет параметров состояния воздуха при различных вариантах перепада давления

№	$p_2$ , МПа	$T_2$ , К	$t_2$ , °С	$l$ , %
1	0,10	170	-103	100
2	0,15	191	-82	84
3	0,20	207	-66	71
4	0,25	221	-52	61
5	0,30	233	-40	52
6	0,35	243	-30	44
7	0,40	253	-21	36
8	0,45	261	-12	30
9	0,50	269	-4	24
10	0,55	277	4	18
11	0,60	284	10	13
12	0,65	290	17	8
13	0,70	296	23	3
14	0,73	300	27	0

По данным таблицы 1 построены 2 кривые, характеризующие изменение температуры отработавшего воздуха и падение эффективности микротурбинного привода, выраженное в термодинамической работе расширения, в процентном соотношении.



*Рис. 1. Зависимость располагаемой работы и температуры отработавшего воздуха от выходного давления*

## **Выводы**

Анализируя полученные графики зависимостей, можно сделать следующие выводы.

При полном срабатывании давления конечная температура  $T_2$  падает до низких отрицательных значений ( $-103^{\circ}\text{C}$ ), полученная работа расширения при этом принята за 100%.

При перепаде давления в турбинной ступени микротурбинного пневматического привода, равном нулю, работа расширения не совершается ( $l'=0$ ), значение температуры не изменяется и равно  $t_2=27^{\circ}\text{C}$ .

Температуру рукояток пневматического инструмента с небольшими допущениями (в силу неидеальности рабочего процесса) можно считать приемлемой ( $t_2 \geq 10^{\circ}$ ) при конечном давлении  $p_2=0,60-0,73$  МПа. При этом термодинамическая работа расширения составляет менее 15% от теоретически возможной в данных условиях.

При повышении значения  $p_2$  эффективность привода резко понижается, т.е. для устранения проблемы сильного охлаждения корпуса и рукояток пневматического инструмента уменьшение степени срабатывания давления практически не имеет смысла.

В борьбе с переохлаждением деталей корпуса пневмоинструмента следует отдать предпочтение конструкторским решениям, таким как применение воздушных полостей в деталях корпуса, применение высокотехнологичных и пористых материалов для рукоятей. Все подобные меры должны быть направлены на понижение среднего коэффициента теплопроводности деталей корпуса и материалов рукоятей пневматического инструмента.

## **Заключение**

В данном исследовании построены и изучены зависимости температуры отработавшего воздуха и эффективность работы сжатого воздуха от степени перепада давления в микротурбинном приводе. Приведены рекомендации по снижению отрицательного эффекта переохлаждения деталей корпуса и рукоятей пневматической ручной шлифовальной машины.

## **Список литературы**

1. Крутов В.И. Техническая термодинамика. – М.: Изд. Высшая школа, 1971. 472с.
2. Кузнецов Ю.П. Согласование параметров пневматического двигателя с гидравлическими характеристиками воздухоподводящего рукава при проектировании ручных пневматических машин // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. 2010. № 2. С. 193–201.

3. Кузнецов Ю.П., Чуваков А.Б. Экспериментальная установка для исследования малоразмерных турбинных ступеней. // Известия высших учебных заведений. Изд. Машиностроение. 2013. № 4. С. 54.
4. Косолапов Е.А., Рамс Э.Э., Соленников М.Д., Хрунков С.Н. Квазиодномерный расчет течения газа в турбинных соплах с косым срезом // Современные проблемы науки и образования – 2014. – № 2; URL: [www.science-education.ru/116-12571](http://www.science-education.ru/116-12571)
5. Кузнецов Ю.П., Чуваков А.Б. Радиальная турбина. Патент на полезную модель № 121524, номер заявки 2012118166/06.

**Рецензенты:**

Зуев В.А., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Кораблестроение и авиационная техника» НГТУ им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород;

Ваганов А.Б., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Аэрогидродинамика, прочность машин и сопротивление материалов» НГТУ им. Р.Е. Алексева, г. Нижний Новгород.