

УДК 621.43

ИЗМЕНЕНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ПОРШНЕВОГО ПНЕВМОДВИГАТЕЛЯ ПО СКОРОСТНЫМ ХАРАКТЕРИСТИКАМ

А.И. Воронков, доцент, к.т.н., И.Н. Никитченко, научн. сотр.,
Э.В. Тесленко, инженер, ХНАДУ, А.М. Минин, инженер

Аннотация. Рассмотрены закономерности изменения эффективных параметров работы поршневого пневмодвигателя с золотниковым воздухораспределением по двум скоростным характеристикам.

Ключевые слова: поршневой пневмодвигатель, скоростные характеристики, крутящий момент, эффективная мощность, расход воздуха.

ЗМІНЕННЯ ЕФЕКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ПОРШНЕВОГО ПНЕВМОДВИГУНА ЗА ШВИДКІСНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

О.І. Воронков, доцент, к.т.н., І.М. Нікітченко, наук. співроб.,
Е.В. Тесленко, інженер, ХНАДУ, А.М. Мінін, інженер

Анотація. Розглянуто закономірності змінення ефективних параметрів роботи поршневого пневмодвигуна із золотниковим повітророзподілом за двома швидкісними характеристиками.

Ключові слова: поршневий пневмодвигун, швидкісні характеристики, крутний момент, ефективна потужність, витрата повітря.

VARIATION OF MAIN PARAMETERS OF THE OPERATION OF THE RECIPROCATING ENGINE ACCORDING TO SPEED PERFORMANCES

A. Voronkov, Associate Professor, I. Nikitchenko, researcher,
Ye. Teslenko, engineer, KhNAHU, A. Minin, engineer

Abstract. Conformity of changing of main parameters at operation of the reciprocating engine with air spool diffuser on two speed performances was investigated.

Key words: piston pneumatic engine, speed parameters, torque, effective power, air consumption.

Введение

Скоростные характеристики пневмодвигателя – это экспериментально полученные зависимости основных энергетических и экономических показателей его работы от частоты вращения вала при сохранении неизменными давления $p_{вх}$ и температуры $t_{вх}$ поступающего сжатого воздуха на входе. Общий характер (форма) этих зависимостей для специалистов общеизвестны. Технические паспорта серийно выпускаемых и находящихся в продажах пневмодвигателей обязательно содер-

жат скоростные характеристики при номинальном давлении $p_{вх}$. По паспортной скоростной характеристике потребителя интересуют главным образом величины требуемого давления сжатого воздуха $p_{вх}$, частота вращения вала при максимальной мощности $n_{ном}$ и значение этой мощности $N_{е ном}$, скоростной диапазон рабочих режимов (примерно от 0,6 до 1,0 $N_{е ном}$), часовой и удельный, кг/(кВт·ч), расходы воздуха, пусковой крутящий момент (при $n=0$).

На этапах создания и доводки пневмодвигателя с целью обоснованного выбора пара-

метров его работы выполняются экспериментальные исследования, при которых снимаются скоростные характеристики при различных уровнях давления $p_{вх}$ и температур $t_{вх}$.

В данной статье рассмотрены результаты стендовых испытаний созданного на кафедре ДВС ХНАДУ поршневого пневмодвигателя по снятию скоростных характеристик при двух уровнях давлений сжатого воздуха $p_{вх1}=0,7$ МПа=idem и $p_{вх2}=0,9$ МПа=idem в условиях работы без подогрева и с подогревом этого воздуха перед его поступлением в золотниковую воздухораспределительную систему $t_{вх}=90-130$ °С.

Анализ публикаций

Обзор литературы показал [1–10], что многие зарубежные фирмы, использующие преимущества пневмодвигателя, ведут работы, повышающие его эффективные показатели. Наиболее существенно можно уменьшить расход воздуха за счет применения клапанной системы воздухораспределения с изменяемыми фазами и подогревом сжатого воздуха на впуске.

Объект исследования

Объектом исследования является поршневой пневмодвигатель, разработанный на кафедре ДВС ХНАДУ на базе двигателя 4Ч 7,6х6,6 воздушного охлаждения. Это V-образный четырехцилиндровый пневмодвигатель с золотниковой системой воздухораспределения. Наличие четырех цилиндров позволяет получить равномерный крутящий момент. Возможность пуска из любого положения обеспечивается конструкцией коленчатого вала. Для этого серийный коленчатый вал с крестообразной формой расположения кривошипов заменили специально изготовленным коленчатым валом с двумя кривошипами под углом 180°. К каждому кривошипу присоединен шатун от левого и правого цилиндров.

Испытательный стенд и методика испытаний

Пневмодвигатель установлен в лаборатории кафедры ДВС ХНАДУ на специально созданном стенде [4], позволяющем производить измерения быстроменяющихся процессов, оборудованном автономными систе-

мами регулирования температур масла и воздуха.

Стенд входит в измерительный комплекс, оснащенный контрольно-измерительной аппаратурой согласно ГОСТ 14846-81, позволяющей производить измерение с допустимой погрешностью следующих параметров:

- низких и высоких давлений воздуха на впуске в пневмодвигатель и в цилиндре пневмодвигателя – с помощью тензодатчиков давлений;
- угла поворота коленчатого вала;
- положения поршня в верхней мертвой точке;
- температур воздуха до и после нагревателя, на впуске в пневмодвигатель и на выпуске – с помощью хромель-копелевых термомпар;
- расхода сжатого воздуха через пневмодвигатель – с помощью ротационного расходомера G160 GMS DY-80.

Эффективный крутящий момент пневмодвигателя определяется по формуле

$$M_e = 9,81 \cdot P_n \cdot l, \text{ Н} \cdot \text{м},$$

где P_n – сила нагрузки, кГ; $l = 0,5$ м – плечо балансирной машины.

Эффективная мощность пневмодвигателя определяется силой нагрузки P_n и частотой вращения коленчатого вала n

$$N_e = A \cdot P_n \cdot n, \text{ кВт},$$

$$\text{где } A = \frac{\pi \cdot l \cdot 9,81}{3 \cdot 10^4} = \frac{\pi \cdot 0,5 \cdot 9,81}{3 \cdot 10^4} = 0,0005137.$$

Для определения силы нагрузки P_n на стенде использовался весовой терминал КОДА 2, который предназначен для измерения сигнала тензодатчиков чувствительного элемента.

Для измерения расхода воздуха G (кг/ч) использовался ротационный расходомер G160 GMS DY80.

Удельный расход воздуха определялся по зависимости

$$g_{\text{вс}} = \frac{G}{N_e}, \frac{\text{кг}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$$

Температура сжатого воздуха на впуске при работе без подогрева поддерживалась в пределах 18–22 °С. При работе с подогревом электрический нагреватель на всех режимах испытаний включался на полную мощность и поэтому, в связи с различным уровнем расхода воздуха, его температура на входе изменялась в пределах $t_{\text{вх}} = 90\text{--}130$ °С.

Результаты испытаний

Как видно из рис. 1, при давлении сжатого воздуха на входе $p_{\text{вх}} = 0,7$ МПа его расход с увеличением числа оборотов линейно возрастает от $G = 200$ кг/ч при $n = 200$ мин⁻¹ до $G = 330$ кг/ч при $n = 1000$ мин⁻¹.

Крутящий момент имеет максимальное значение $M_e = 70$ Н·м при минимальных оборотах $n = 200$ мин⁻¹, линейно снижаясь до $M_e = 12$ Н·м при $n = 1000$ мин⁻¹. Мощность пневмодвигателя возрастает со значения $N_e = 1,5$ кВт при $n = 200$ мин⁻¹ до $N_e = 2,8$ кВт при $n = 600$ мин⁻¹, а затем снижается до $N_e = 1,8$ кВт при $n = 1000$ мин⁻¹ из-за больших гидравлических потерь. Удельный расход воздуха изменяется от $g_{\text{вс}} = 135$ кг/кВт·ч при $n = 200$ мин⁻¹ до $g_{\text{вс}} = 190$ кг/кВт·ч при $n = 1000$ мин⁻¹ и имеет минимальное значение $g_{\text{вс}} = 90$ кг/кВт·ч при $n = 550$ мин⁻¹.

Применение подогрева сжатого воздуха на впуске позволяет несколько улучшить показатели. Так, часовой расход воздуха снижается на 50 кг/ч (на 25 %) во всем диапазоне оборотов; крутящий момент возрастает на 8 Н·м (на 20 %) во всем диапазоне оборотов; мощность увеличивается от 0,2 кВт (или на 7 %) при $n = 200$ мин⁻¹ и при $n = 1000$ мин⁻¹ до 0,5 кВт (на 17 %) при $n = 600$ мин⁻¹; удельный расход сжатого воздуха снижается от 25 кг/кВт·ч (на 30 %) при $n = 200\text{--}600$ мин⁻¹ до 55 кг/кВт·ч (на 30 %) при $n = 1000$ мин⁻¹ по сравнению с расходом без подогрева. На рис. 1 видно, что все кривые с подогревом сжатого воздуха и без подогрева проходят практически эквидистантно. Для данного давления сжатого воздуха наиболее оптимальный режим работы находится в диапазоне оборотов $n = 500\text{--}650$ мин⁻¹.

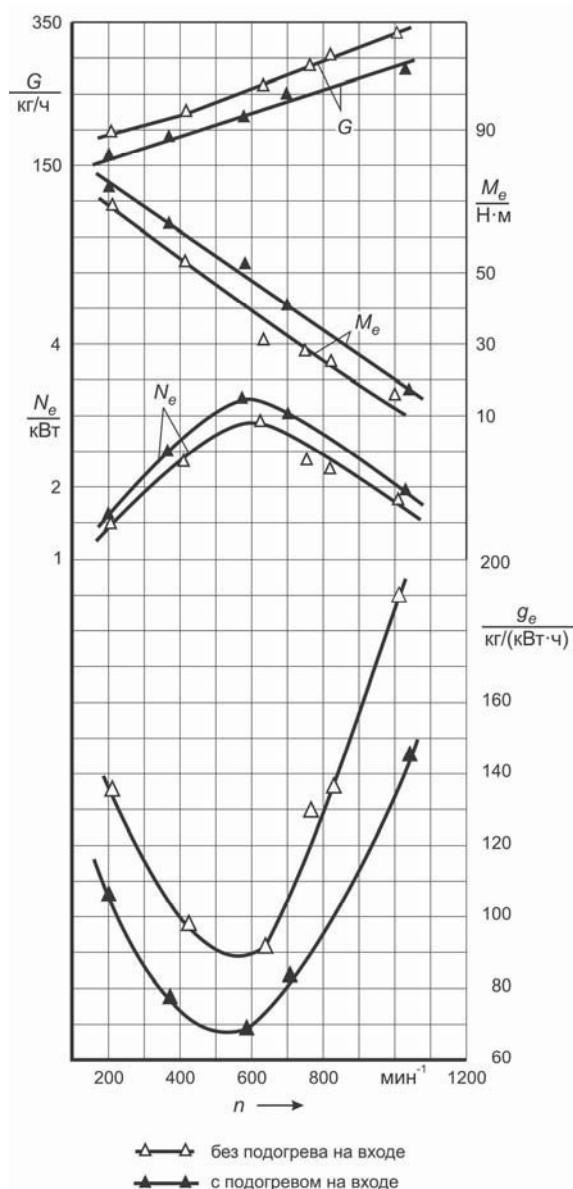


Рис. 1. Скоростная характеристика пневмодвигателя при $p_{\text{вх}} = 0,7$ МПа

При увеличении давления сжатого воздуха на впуске в пневмодвигатель до $p_{\text{вх}} = 0,9$ МПа (рис. 2) возрастает крутящий момент до 110 Н·м при $n = 200$ мин⁻¹, который затем практически линейно снижается до 30 Н·м при $n = 1000$ мин⁻¹. Мощность возрастает от 2,2 кВт при $n = 200$ мин⁻¹ до 3,9 кВт при $n = 750$ мин⁻¹, а затем снижается до 3,7 кВт при $n = 1000$ мин⁻¹. Из графика видно, что максимум мощности сместился в сторону более высоких оборотов.

Удельный расход сжатого воздуха $g_{\text{вс}} = 120$ кг/кВт·ч при $n = 200$ мин⁻¹ и $g_{\text{вс}} = 125$ кг/кВт·ч при $n = 1000$ мин⁻¹, а его минимум $g_{\text{вс}} = 87$ кг/кВт·ч — при $n = 500$ мин⁻¹.

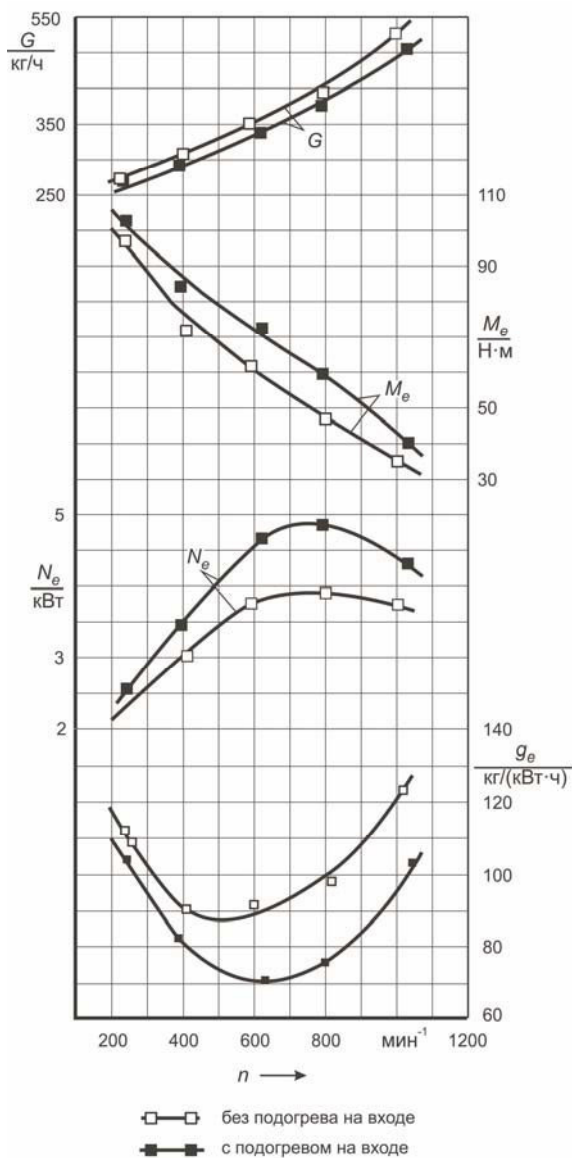


Рис. 2. Скоростная характеристика пневмодвигателя при $p_{вх} = 0,9$ МПа

Применение подогрева сжатого воздуха оказывает такое же влияние на показатели, как и при давлении $p_{вх} = 0,7$ МПа: снижается расход энергоносителя – часовой на 25 кг/ч или на 9 % при $n = 200–1000$ мин⁻¹; удельный – на 10 кг/кВт·ч (на 10 %) при $n = 200$ мин⁻¹, на 20 кг/кВт·ч (на 22 %) при $n = 600$ мин⁻¹, на 20 кг/кВт·ч (на 22 %) при $n = 1000$ мин⁻¹. При этом минимум $g_{вс}$ смещается в сторону более высоких оборотов ($n = 600–650$ мин⁻¹). Повышается мощность от 0,5 кВт (на 23 %) при $n = 200$ мин⁻¹ до 1 кВт (на 25 %) – при $n = 700–750$ мин⁻¹ и 0,7 кВт (на 22 %) – при $n = 1000$ мин⁻¹; возрастает крутящий момент от 5 Н·м (на 17 %) при $n = 200$ мин⁻¹ до 10 Н·м (на 17 %) при $n = 600–800$ мин⁻¹ и 7 Н·м (23 %) – при $n = 1000$ мин⁻¹.

Для давления сжатого воздуха $p_{вх} = 0,9$ МПа наиболее приемлемый режим с максимальной мощностью и минимальным расходом сжатого воздуха находится в более широком диапазоне оборотов – 500–800 мин⁻¹.

Выводы

Проанализировав полученные данные, можно сделать следующие заключения.

1. По результатам проведенных экспериментов более выгодным является режим с давлением $p_{вх} = 0,9$ МПа и подогревом сжатого воздуха на впуске. На этом режиме мощность и крутящий момент также имеют более высокие значения (на 1,5 кВт и на 15 Н·м соответственно), а минимум удельного расхода энергоносителя $g_{вс} = 70$ кг/кВт·ч в более широком диапазоне оборотов и практически равен расходу $g_{вс} = 67$ кг/кВт·ч при $p_{вх} = 0,7$ МПа. Но при этом увеличивается часовой расход сжатого воздуха G примерно на 70 %.

2. В работе получены скоростные характеристики поршневого пневмодвигателя с золотниковым воздухораспределением, которые позволили оценить экономические и эффективные показатели работы пневмодвигателя на режимах $p_{вх} = 0,7$ МПа и $p_{вх} = 0,9$ МПа в диапазоне частот вращения $n = 200–1000$ мин⁻¹.

3. Подогрев сжатого воздуха на впуске (на 75–100 °С) увеличивает эффективную мощность и эффективный крутящий момент на 14–17 %; удельный расход воздуха снижается на 20–25 %. С увеличением давления экстремум g_e смещается в сторону больших оборотов.

4. Наиболее приемлемым является режим при $p_{вх} = 0,9$ МПа с подогревом сжатого воздуха на впуске. При этом приходится жертвовать временем автономной работы энергоустановки, что, впрочем, при применении ее на городском транспорте не имеет решающего значения.

Литература

1. Potenziale hybridisierter Nutzfahrzeuge / Christian Beidl, Magnus Schmitt, Matthias Kluin, Bernd Lenzen // MTZ. – 2011. – №6. – P. 432–437.

2. High-performance pneumatic hybrid engine with cost-effective valvetrain / Michael Butikofer. – MTZ. – 2011. – №2. – P. 54–58.
3. Коммерческие концептуальные автомобили из Японии // Автостроение за рубежом. – 2004. – №3. – С. 2–3.
4. Абрамчук Ф.И. Стенд для випробування і дослідження пневмодвигунів / Ф.И. Абрамчук, О.И. Воронков, А.И. Харченко та ін. // Двигуни внутрішнього згоряння. – 2011. – №2. – С. 110–117.
5. Борисенко К.С. Пневматические двигатели горных машин / К.С. Борисенко. – М.: Углетехиздат, 1958. – 202 с.
6. Зиневич В.Д. Пневматические двигатели горных машин / В.Д. Зиневич, Г.З. Ярмоленко, Е.Г. Калита. – М.: Недра, 1975. – 372 с.
7. Зеленецкий С.Б. Ротационные пневматические двигатели / С.Б. Зеленецкий, Е.Д. Рябов, А.Г. Микеров. – Л.: Машиностроение, 1976. – 127 с.
8. Кухаренко В.П. Инженерный метод пересчета характеристик поршневого пневмодвигателя для различных давлений сжатого воздуха в сети / В.П. Кухаренко, В.В. Юшин, В.Ф. Гайдук. Вопросы рудничного транспорта. Вып. 9, 1965. – С. 259–262.
9. Guzzella L. The pneumatic hybridization concept for downsizing and supercharging gasoline engines / L. Guzzella, C. Onder, C. Donitz, C. Voser, I. Vasile // MTZ #71. 01/2010. – P. 38–44.
10. Butikofer M. High performance pneumatic hybrid engine with cost-effective valvetrain / M. Butikofer // MTZ #72. 02/2011. – P. 54–58.

Рецензент: Ф.И. Абрамчук, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 3 сентября 2012 г.
