

УДК 621.541

ИССЛЕДОВАНИЕ ПО РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИИ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ПОРШНЕВОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ПНЕВМОДВИГАТЕЛЯ

А.И. Воронков, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Аннотация. Изложены результаты исследования по разработке конструкции коленчатого вала четырехцилиндрового V-образного поршневого пневмодвигателя, созданного путем конвертации серийного двигателя внутреннего сгорания 4Ч 7,6×6,6.

Ключевые слова: поршневой пневмодвигатель, коленчатый вал, требования к форме вала, равномерность хода двигателя, уравнивание.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО РОЗРОБКИ КОНСТРУКЦІЇ КОЛІНЧАТОГО ВАЛА ПОРШНЕВОГО АВТОМОБІЛЬНОГО ПНЕВМОДВИГУНА

О.І. Воронков, доцент, к.т.н., ХНАДУ

Анотація. Викладено результати дослідження щодо розробки конструкції колінчастого вала чотирициліндрового V-подібного поршневого пневмодвигуна, створеного шляхом конвертації серийного двигуна внутрішнього згорання 4Ч 7,6×6,6.

Ключові слова: поршневий пневмодвигун, колінчастий вал, вимоги до форми вала, рівномірність ходу двигуна, зрівноважування.

STUDY OF ELABORATION OF CONSTRUCTION CRANKSHAFT PISTON OF AUTOMOBILE PNEUMATIC ENGINE

A. Voronkov, Assistant Professor, Candidate of Technical Science, KhNAHU

Abstract. Expound are the results of study of elaration of construction of crankshaft 4-cylinder V-evocative piston pneumatic engine, which is made by conversion of serial internal-combustion engine 4Ч 7,6×6,6.

Key words: piston pneumatic engine crankshaft, technological standards of the shaft form, uniform motion of engine, balance.

Введение

Серийно выпускаемые в нашей стране и за рубежом пневматические двигатели по типу весьма разнообразны: поршневые, шестеренчатые, ротационные, турбинные. Тип пневматического двигателя выбирают на основе требований и условий работы на тех механизмах и машинах, где он будет использоваться. Для автомобиля нами выбран поршневой пневмодвигатель по следующим соображениям.

Из всех типов пневматических двигателей поршневой является единственным двигателем, который можно изготовить с перемен-

ной степенью наполнения. Это означает, что этот двигатель может иметь регулируемую изменением фаз воздухораспределения степень наполнения, а следовательно, и степень расширения, что открывает возможности оптимизации рабочего процесса в зависимости от условий его осуществления. Важнейшими достоинствами поршневого пневмодвигателя является то, что он, в сравнении с другими типами, обладает наибольшим пусковым моментом, имеет наиболее благоприятную тяговую характеристику, допускает перегруз, его рабочая камера имеет высокую степень уплотнения за счет поршневых колец, из-за чего утечки сжатого воздуха из рабочей камеры в нем сравнительно невелики.

Одним из важных достоинств поршневого пневмодвигателя является также то, что он может быть сравнительно легко создан путем конвертации поршневого ДВС, так как эти двигатели имеют значительное конструктивное сходство. Так, например, картер, детали цилиндрико-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма могут быть идентичными. А если ДВС воздушного охлаждения, то и блок цилиндров может быть вполне идентичным.

Поэтому когда на кафедре ДВС ХНАДУ возникла задача – в кратчайшее время и с минимальными затратами создать экспериментальный образец поршневого пневмодвигателя, – то было признано целесообразным решить эту задачу путем конвертации бензинового двигателя 4Ч 7,6×6,6, серийно выпускаемого Мелитопольским моторным заводом. При этом наиболее сложными оказались две проблемы: разработка и изготовление нового коленчатого вала и системы золотникового воздухораспределения. Данная статья посвящена рассмотрению ключевых вопросов разработки конструкции коленчатого вала для условий работы на пневмодвигателе.

Анализ публикаций

Вопросы требований к конструкции коленчатых валов автомобильных ДВС, основы их расчета и проектирования, обобщение многолетнего опыта их производства наиболее полно изложены в учебниках по ДВС [1, 2] и мн. др., а также в справочной литературе по транспортным поршневым двигателям, например [3]. К тому же кафедра ДВС ХНАДУ как выпускающая по специальности «Двигатели внутреннего сгорания» и располагающая необходимой учебной методической и материальной базой по автотракторным двигателям, естественно, имеет свой собственный опыт в области расчета и проектирования наиболее ответственных узлов и деталей ДВС. Поэтому кафедра успешно и в сжатые сроки справилась с поставленной задачей – необходимая техническая документация на изготовление коленчатого вала поршневого пневмодвигателя была разработана.

В процессе выполнения этой исследовательской работы были решены следующие основные задачи:

1) произведен выбор такой формы коленчатого вала, которая обеспечивает равномер-

ность крутящего момента пневмодвигателя за счет равномерности чередования рабочих циклов;

2) сделан выбор уравнивающих устройств, позволяющих уравновесить основные неуравновешенные факторы;

3) определена масса, расположение и разработана конструкция противовесов коленчатого вала.

Анализ формы коленчатого вала базовой модели

Базовая модель – это четырехтактный четырехцилиндровый V-образный автомобильный двигатель 4Ч 7,6×6,6 воздушного охлаждения. На рис. 1 приведена общая схема этого двигателя. Диаметр цилиндра $D = 76$ мм; ход поршня $S = 66$ мм; угол развала между блоками цилиндров $\gamma = 90^\circ$.

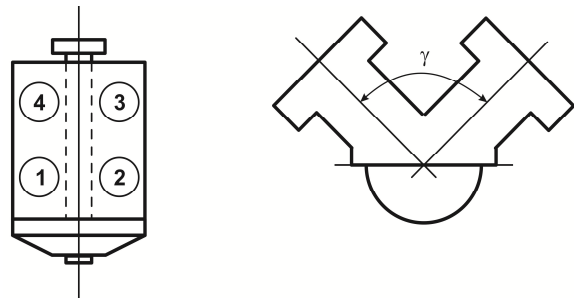


Рис. 1. Общая схема базового двигателя 4Ч 7,6×6,6

На рис. 2 приведена схема коленчатого вала двигателя 4Ч 7,6×6,6. Как видно из этой схемы, коленчатый вал базовой модели имеет крестообразную форму. Такая форма коленчатого вала при угле развала блока цилиндров $\gamma = 90^\circ$ обеспечивает для четырехтактного ДВС равномерность крутящего момента; так как цилиндры работают через 180° поворота коленчатого вала, порядок работы цилиндров 1–3–4–2. Кроме того, здесь уравниваются силы инерции вращающихся масс

$$\Sigma P_{ив} = 0 \tag{1}$$

и силы инерции первого порядка масс, двигающихся возвратно-поступательно

$$\Sigma P_1 = 0 \tag{2}$$

Силы инерции второго порядка неуравновешены и равны

$$\Sigma P_{II} = 2\sqrt{2} \cdot m_A \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \lambda \cdot \cos 2\varphi, \quad (3)$$

где m_A – масса возвратно-поступательно (прямолинейно) движущихся деталей; R – радиус кривошипа, $R = 0,5S = 33$ мм; ω – угловая скорость вращения коленчатого вала; λ – кинематический параметр; φ – угол поворота кривошипа.

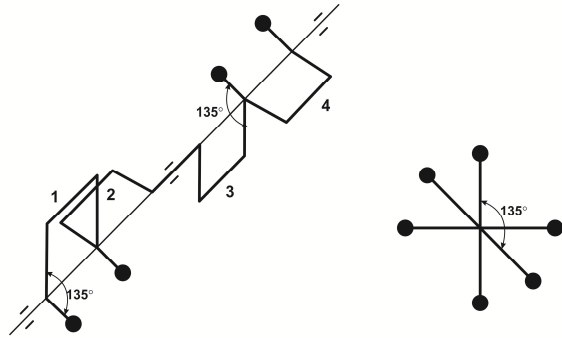


Рис. 2. Схема коленчатого вала базового двигателя 4Ч 7,6×6,6

В двигателе 4Ч 7,6×6,6 момент от сил инерции вращающихся масс

$$\Sigma M_B = \sqrt{2} \cdot m_B \cdot R \cdot \omega^2 \cdot l, \quad (4)$$

где m_B – масса вращающихся деталей, соединенных с коленчатым валом; l – расстояние от оси вала до центра массы вращающейся детали.

Момент ΣM_B уравновешен противовесами на коленчатом валу (рис. 2), а неуравновешенный момент первого порядка

$$\Sigma M_I = \sqrt{2} \cdot m_A \cdot R \cdot \omega^2 \cdot l \cdot \cos \varphi, \quad (5)$$

который действует в горизонтальной плоскости, уравновешивается системой Ланчестера. Противовесы на коленчатом валу создают половину $\Sigma M_{I_{max}}$, и такой же момент создают противовесы уравновешивающего вала механизма Ланчестера.

Момент от сил инерции второго порядка уравновешен

$$\Sigma M_{II} = 0. \quad (6)$$

Обеспечение равномерности крутящего момента и уравновешивание пневмодвигателя

Для обеспечения равномерности крутящего момента пневмодвигателя, работающего по двухтактному циклу, рассмотренная выше (рис. 2) форма коленчатого вала не подходит. Поэтому был спроектирован и изготовлен новый коленчатый вал (рис. 3). У этого вала, как видно из схемы на рис. 3, кривошипы расположены под углом 180°. Это позволяет обеспечить равномерный крутящий момент, поскольку цилиндры работают через 90°:

$$\begin{matrix} 90^\circ & 90^\circ & 90^\circ & 90^\circ \\ 1-2 & -3 & -4 & -1. \end{matrix}$$

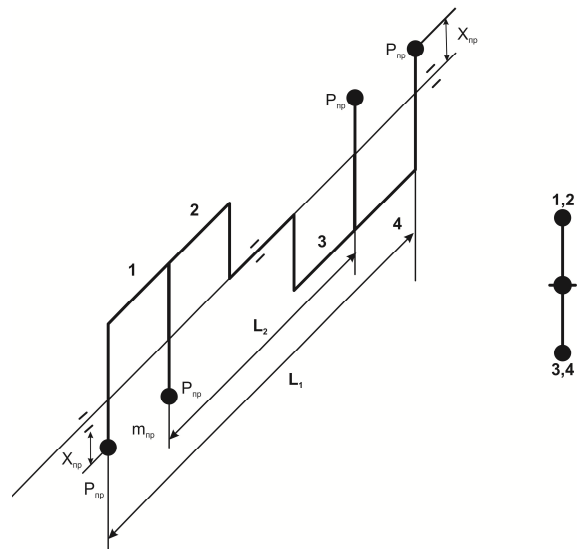


Рис. 3. Схема коленчатого вала поршневого пневмодвигателя

Коленчатый вал (рис. 3) дает полное уравновешивание сил инерции первого порядка $\Sigma P_I = 0$ и сил инерции вращающихся масс $\Sigma P_{ив} = 0$. Силы инерции второго порядка не уравновешены

$$\Sigma P_{II} = 2\sqrt{2} \cdot m_A \cdot R \cdot \omega^2 \cdot \lambda \cdot \cos 2\varphi \quad (7)$$

и, как в двигателе 4Ч 7,6×6,6, не уравновешиваются, так как они незначительны и имеют частоту, в 2 раза большую, чем частота вращения коленчатого вала. В пневмодвигателе с формой вала, приведенной на рис. 3, неуравновешены моменты от сил инерции вращающихся масс и сил инерции первого порядка. При угле развала блока цилиндров $\gamma = 90^\circ$ суммарная сила инерции первого порядка постоянная и ее легко можно уравно-

весить противовесами на коленчатом валу, поэтому суммарный неуравновешенный момент

$$\Sigma M_F = (m_A + m_B) \cdot R \cdot \omega^2 \cdot l, \quad (8)$$

где m_B – масса вращающихся деталей; l – осевое расстояние между цилиндрами.

Момент от сил инерции второго порядка уравновешен $\Sigma M_{II} = 0$. Уравновешивание моментов постановкой противовесов по схеме, приведенной на рис. 3, дает равенство

$$\Sigma M_F = P_{пр} \cdot L_1 + P_{пр} \cdot L_2. \quad (9)$$

На основании анализа конструкции кривошипно-шатунного механизма и коленчатого вала базового двигателя и предварительной конструктивной проработки нового коленчатого вала для условий его работы в пневмодвигателе были приняты исходные данные для выбора и расчета массы и параметров установки противовесов коленчатого вала пневмодвигателя. Эти данные помещены в табл. 1.

Таблица 1 Исходные данные для выбора противовеса коленчатого вала пневмодвигателя

Наименование величин	Обозначение	Размерность	Числовая величина
Радиус кривошипа	R	мм	33
Масса комплекта поршня	$m_{п}$	кг	0,43
Расположение центра массы шатуна	L_B/L	–	0,28
Масса поступательно движущихся деталей	m_A	кг	0,62
Масса вращающихся деталей	m_B	кг	1,844
Осевое расстояние между цилиндрами	l	мм	128
Расстояние между внешними противовесами	L_1	мм	217
Расстояние между внутренними противовесами	L_2	мм	217
Геометрические параметры противовеса (рис. 4)	r_1	мм	71
	r_2	мм	332
	b	мм	19
	β	градус угла	180

Используя данные табл. 1, можно определить расстояние от оси коленчатого вала до центра массы противовеса

$$X_{пр} = \frac{76,4 \cdot (r_1^3 - r_2^3) \sin(\beta / 2)}{(r_1^2 - r_2^2) \cdot \beta} = \frac{76,4 \cdot (71^3 - 32^3) \sin 90^\circ}{(r_1^2 - r_2^2) \cdot 180} = 34 \text{ мм.} \quad (10)$$

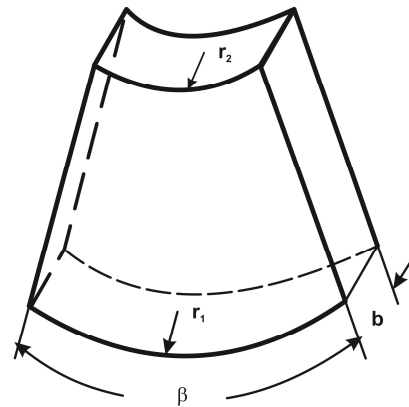


Рис. 4. Эскиз противовеса

Далее, произведя известные эквивалентные замены величин в уравнении (9), вычислим массу противовеса $m_{пр}$. На основании (9) запишем сначала равенство

$$(m_A + m_B) \cdot R \cdot \omega^2 \cdot l = m_{пр} \cdot X_{пр} \cdot \omega^2 (L_1 + L_2). \quad (11)$$

После сокращения левой и правой частей на величину ω^2 разрешим это уравнение относительно искомой величины массы противовеса

$$m_{пр} = \frac{(m_A + m_B) \cdot R \cdot l}{X_{пр} \cdot (L_1 + L_2)} = \frac{(0,62 + 1,844) \cdot 33 \cdot 128}{34(217 + 128)} = 0,887 \text{ кг.}$$

Геометрические параметры противовесов r_1, r_2, b, β (рис. 4) выбраны так, чтобы получилась необходимая величина массы $m_{пр}$

$$m_{пр} = \pi \cdot \rho \cdot (r_1^2 - r_2^2) \cdot b \cdot \frac{\beta}{360} = 3,1416 \cdot 7400(0,071^2 - 0,032^2) \times 0,019 \cdot \frac{180}{360} = 0,887 \text{ кг,}$$

где $\rho = 7400 \text{ кг/м}^3$ – плотность материала противовеса.

При разработке рабочего чертежа коленчатого вала пневмодвигателя размеры коренных и шатунных шеек и все другие конструктивные параметры были приняты аналогичными коленчатому валу базового двигателя 4Ч 7,6х6,6. Размеры и размещение противовесов взяты из данного расчета. Вкладыши коренных и шатунных подшипников для пневмодвигателя взяты серийные.

В результате многолетних стендовых испытаний пневмодвигателя в лаборатории кафедры ДВС никаких замечаний по работе коленчатого вала и связанного с ним кривошипно-шатунного механизма не было.

На рис. 5 представлен снимок коленчатых валов пневмодвигателя и серийного двигателя 4Ч 7,6х6,6.

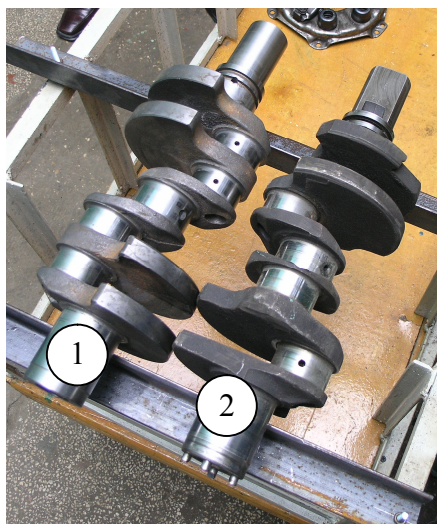


Рис. 5. Снимок коленчатых валов пневмодвигателя (1) и серийного (2) двигателя 4Ч 7,6х6,6

Выводы

В процессе разработки конструкции нового коленчатого вала для поршневого пневмодвигателя, созданного на кафедре ДВС

ХНАДУ, были успешно решены следующие задачи:

– произведен обоснованный выбор формы коленчатого вала, которая обеспечивает равномерность крутящего момента пневмодвигателя за счет равномерного чередования рабочих процессов;

– на основе анализа кинематики и динамики поршневого пневмодвигателя, имеющего двухтактный рабочий цикл, сделан обоснованный выбор уравнивающих устройств, позволяющих уравновесить основные неуравновешенные факторы;

– опираясь на теорию динамики кривошипно-шатунного механизма, определены масса, расположение и конструкция противовесов вновь созданного коленчатого вала.

Литература

1. Автомобильные двигатели / В.М. Архангельский, М.М. Вихерт, А.Н. Воинов и др. ; под ред. М.С. Ховаха. – 2-е изд. – М.: Машиностроение, 1977. – 592 с.
2. Колчин А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей / А.И. Колчин, В.П. Демидов. – 2-е изд. – М.: Высшая школа, 1980. – 400 с.
3. Тракторные дизели: справочник / Б.А. Взоров, А.В. Адамович, А.Г. Арабян и др. ; под общ. ред. Б.А. Взорова. – М.: Машиностроение, 1981. – 536 с.
4. Борисенко К.С. Пневматические двигатели горных машин / К.С. Борисенко. – М.: Углетехиздат, 1958. – 202 с.

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

Статья поступила в редакцию 14 мая 2013 г.