

УДК 621.43.01

Н. И. Мищенко, д-р техн наук, В. Г. Заренбин, д-р техн наук, А. В. Химченко, канд. техн наук, С. Н. Крамарь, канд. техн наук, Т. Н. Колесникова, инж.

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ БЕСШАТУННОГО ДВИГАТЕЛЯ, ОСНОВАННАЯ НА ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕОРИИ МАЛЫХ ОТКЛОНЕНИЙ

Введение

Бесшатунный двигатель с кривошипно-кулисным механизмом (ККМ) достаточно подробно описан в работе [1]. Конструктивная схема и краткое описание этого двигателя представлены в работе [2]. По сравнению с обычным поршневым ДВС бесшатунный двигатель имеет более сложную конструкцию силового механизма – ККМ. Поэтому при наличии ошибок изготовления и сборки элементов двигателя конструктивные параметры ККМ нужно разработать так, чтобы свести к минимуму неблагоприятные эффекты, обусловленные угловыми колебаниями кулисы и связанными с ними боковыми перемещениями поршня. Кроме того, специфические особенности конструкции ККМ накладываются на величины размеров элементов двигателя и на их предельные отклонения (допуски и посадки).

В работе [2] рассмотрены погрешности изготовления и сборки элементов двигателя с ККМ и приводятся формулы для определения их влияния на ошибки положения кулисы и поршня. Цель данной статьи связана с рассмотрением методики расчета кинематической точности, которая позволяет определить на стадии проектирования и изготовления оптимальные конструктивные параметры бесшатунного двигателя. При оптимальных размерах параметров обеспечивается требуемая работоспособность двигателя при различных условиях работы.

Схема двигателя, использованная в качестве исходной, представляет собой двухвальный двигатель с жестким креплением штока к кулисе.

Постановка проблемы

Оптимизацию параметров проектируемого бесшатунного двигателя можно определить прямым расчетом по известным методам. Однако в данном случае, когда рассматривается довольно большое количество параметров, имеющих сравнительно небольшие изменения, расчет наиболее выгодно проводить по математической модели, основанной на использовании теории малых отклонений. Эта модель успешно применяется в теоретических и расчетных исследованиях рабочих процессов ДВС [3, 4], в теории регулирования, в теории колебаний и ряде других областей.

В данной работе применительно к бесшатунному поршневому двигателю с ККМ предлагается методика расчета кинематической точности двигателя на основе теории малых отклонений, позволяющая по известным независимым переменным, характеризующим погрешности изготовления и сборки деталей и узлов оценить: а) ожидаемые угловые колебания кулисы; б) ожидаемое радиальное перемещение поршня в пределах тепловых зазоров. Решение задачи в указанной линейной постановке позволяет получить более удобные для практических расчетов соотношения и более наглядную картину связи ошибок положения кулисы и поршня с погрешностями элементов двигателя. Это дает возможность при относительно небольших затратах определить рациональные величины допусков и посадок и выбрать наиболее оптимальную конструктивную схему двигателя.

Решение проблемы.

Уравнения в малых отклонениях и структурные схемы взаимосвязей параметров

В приведенных ниже уравнениях в качестве независимых переменных были приняты относительные приращения (погрешности), рассмотренные в работе [2]. Из-за ограничения объема статьи уравнения в малых отклонениях и схемы взаимосвязей ошибок, создающих угловые колебания кулисы и радиальное перемещение поршня, представлены только для приведенных погрешностей.

В приведенных ниже уравнениях погрешности элементов двигателя, а также их символы и индексы сохранены такими же, как и в [2]. Параметры с индексом "0" относятся к базовому кривошипу и являются постоянными.

Вычислив частные производные функции, заданной формулой (5) в работе [2], можно получить уравнение в малых отклонениях для углового перемещения кулисы

$$\delta\psi = K_{E\psi} \delta E + K_{R\psi} \delta R - K_{\phi\psi} \delta\phi, \quad (1)$$

где буквой δ обозначены относительные изменения параметров ψ , E , R и ϕ – соответственно углового перемещения кулисы, положения ползунов в вертикальной плоскости, радиуса кривошипа и угла поворота кривошипа, к которому относятся погрешности. Входящие в это выражение коэффициенты непосредственного влияния параметров E , R и ϕ на угловое перемещение кулисы ψ вычислены при начальных значениях этих параметров $A = A_0$, $E = E_0$ и $\phi = \phi_0$ и имеют вид

$$\left. \begin{aligned} K_{E\psi} &= \frac{E_0}{A_0 - 2R_0 \sin \phi_0}; \\ K_{R\psi} &= \frac{R_0 \cos \phi_0}{A_0 - 2R_0 \sin \phi_0}; \\ K_{\phi\psi} &= \frac{R_0 \sin \phi_0}{A_0 - 2R_0 \sin \phi_0}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В уравнение (1) не вошло слагаемое, содержащее параметр A . Это указывает на то, что погрешность

ΔA межцентрового расстояния валов сама по себе не вызывает углового смещения кулисы.

На рис. 1 приведена схема взаимосвязей параметров, построенная по уравнению (1).

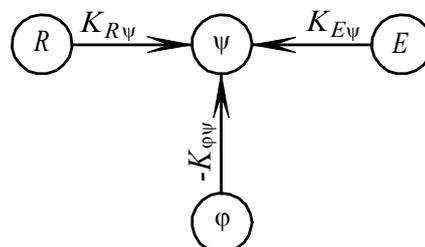


Рис. 1. Структурная схема связей между параметрами бесшатунного двигателя

Из уравнений (1) и (2) следует, что угловое перемещение кулисы зависит не только от величины переменных параметров E , R и ϕ и их приращений, но так же есть функция угла поворота кривошипа.

На рис. 2 показаны относительные угловые перемещения кулисы при разнообразном сочетании погрешностей ΔE , ΔR и $\Delta\phi$ в бесшатунном двигателе.



Рис. 2. Зависимости относительного углового перемещения кулисы $\delta\psi$ от угла поворота базового кривошипа ϕ_0 при различных сочетаниях относительных погрешностей:

$$1 - \delta_E = \delta_R = \delta_\phi = 1; \quad 2 - \delta_\phi = 0, \delta_E = \delta_R = 1; \quad 3 - \delta_E = 0, \delta_R = \delta_\phi = 1; \quad 4 - \delta_R = 0, \delta_E = \delta_\phi = 1$$

Дифференцируя уравнение (1) в работе [2], приведем данное уравнение к уравнению в малых отклонениях для приращения радиуса кривошипа:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta R) &= K_{\Delta R_c} \delta(\Delta R_c) + K_{\Delta I_\sigma} \delta(\Delta I_\sigma) + \\ &+ K_{\Delta \hat{A}_i} \delta(\Delta \hat{A}_i) + \hat{E}_{\Delta \theta_i} \delta(\Delta \theta_i) + \\ &+ K_{\Delta K_i} \delta(\Delta K_i) + K_{\Delta I_\epsilon} \delta(\Delta I_\epsilon). \end{aligned} \quad (3)$$

Коэффициенты влияния в этом уравнении:

$$\left. \begin{aligned} K_{\Delta R_c} &= \frac{\Delta R_c^2}{R_0 \Delta R}; & K_{\Delta \dot{I}_\theta} &= \frac{\Delta \dot{I}_\theta^2}{R_0 \Delta R}; \\ K_{\Delta \dot{A}_i} &= \frac{\Delta \dot{A}_i^2}{R_0 \Delta R}; & K_{\Delta \theta_i} &= \frac{\Delta \theta_i^2}{R_0 \Delta R}; \\ K_{\Delta \dot{E}_i} &= \frac{\Delta \dot{E}_i^2}{R_0 \Delta R}; & K_{\Delta \dot{I}_e} &= \frac{\Delta \dot{I}_e^2}{R_0 \Delta R}. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Структурная схема, составленная на основании уравнения (3), показана на рис. 3.

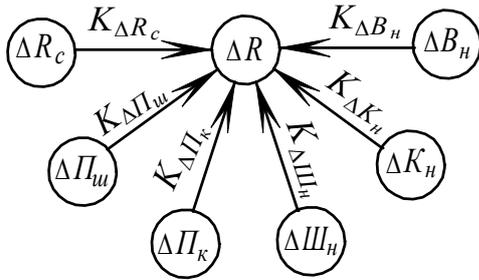


Рис. 3. Элементарная схема взаимосвязей между погрешностями, создающими ошибку радиуса кривошипа

Если продифференцировать уравнение (2) в работе [2] и перейти к относительным приращениям, то можно получить уравнение в малых отклонениях для углового рассогласования коленчатых валов Δφ:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta\varphi) &= \hat{E}_{\Delta\varphi_\theta} \delta(\Delta\varphi_\theta) + \hat{E}_{\Delta\varphi_{i\bar{i}}} \delta(\Delta\varphi_{i\bar{i}}) + \\ &+ \hat{E}_{\Delta\varphi_{i\dot{a}}} \delta(\Delta\varphi_{i\dot{a}}) + \hat{E}_{\Delta\varphi_a} \delta(\Delta\varphi_a) + \\ &+ \hat{E}_{\Delta\varphi_{i\bar{n}}} \delta(\Delta\varphi_{i\bar{n}}) + \hat{E}_{\Delta\varphi_{i\bar{A}}} \delta(\Delta\varphi_{i\bar{A}}) + \\ &+ \hat{E}_{\Delta\varphi_\theta} \delta(\Delta\varphi_\theta) + \hat{E}_{\Delta\varphi_k} \delta(\Delta\varphi_k). \end{aligned} \quad (5)$$

Здесь коэффициенты влияния угловых погрешностей на Δφ имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} K_{\Delta\varphi_y} &= \frac{\Delta\varphi_y^2}{\Delta\varphi}; & K_{\Delta\varphi_{i\bar{i}}} &= \frac{\Delta\varphi_{i\bar{i}}^2}{\Delta\varphi}; \\ K_{\Delta\varphi_{i\dot{a}}} &= \frac{\Delta\varphi_{i\dot{a}}^2}{\Delta\varphi}; & K_{\Delta\varphi_e} &= \frac{\Delta\varphi_e^2}{\Delta\varphi}; \\ K_{\Delta\varphi_{oc}} &= \frac{\Delta\varphi_{oc}^2}{\Delta\varphi}; & K_{\Delta\varphi_B} &= \frac{\Delta\varphi_B^2}{\Delta\varphi}; \\ K_{\Delta\varphi_\theta} &= \frac{\Delta\varphi_\theta^2}{\Delta\varphi}; & K_{\Delta\varphi_k} &= \frac{\Delta\varphi_k^2}{\Delta\varphi}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

На рис. 4 изображена структурная схема для уравнения (5).

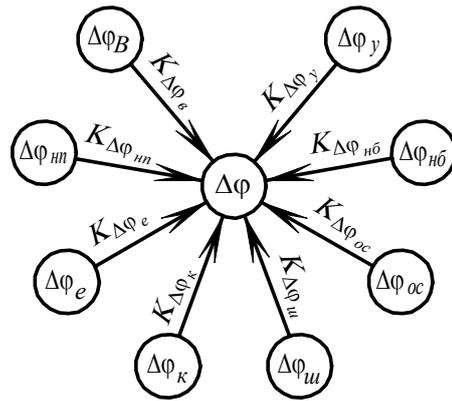


Рис. 4. Элементарная схема взаимосвязей неточностей, создающих ошибку углового положения коленчатых валов

Приведем уравнение (3) в [2] к виду в малых отклонениях для ошибки положения ползунков в вертикальной плоскости:

$$\begin{aligned} \delta(\Delta\dot{A}) &= \hat{E}_{\Delta\dot{I}_A} \delta(\Delta\dot{I}_A) + \hat{E}_{\Delta\dot{A}_\theta} \delta(\Delta\dot{A}_\theta) + \\ &+ \hat{E}_{\Delta\dot{I}_\theta} \delta(\Delta\dot{I}_\theta), \end{aligned} \quad (7)$$

где коэффициенты влияния

$$\left. \begin{aligned} K_{\Delta\dot{I}_A} &= \frac{\Delta\dot{I}_A^2}{\dot{A}_0 \Delta\dot{A}}; \\ K_{\Delta\dot{A}_\theta} &= \frac{\Delta\dot{A}_\theta^2}{\dot{A}_0 \Delta\dot{A}}; \\ K_{\Delta\dot{I}_\theta} &= \frac{\Delta\dot{I}_\theta^2}{\dot{A}_0 \Delta\dot{A}}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Структурная схема уравнения (7) представлена на рис. 5.

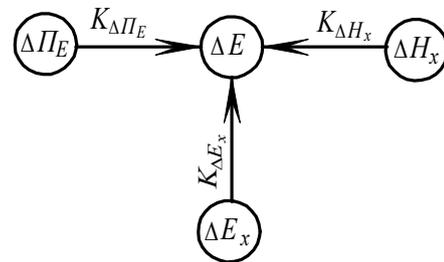


Рис. 5. Элементарная структурная схема связи параметров ΔE, ΔΠE, ΔEx и ΔHx

Используя элементарные структурные схемы для отдельных уравнений в малых отклонениях, можно построить сетевую структурную схему взаи-

мосвязей переменных факторов с углом поворота коленчатых валов.

Для бесшатунного двигателя были получены уравнения в малых отклонениях для 29-ти независимых переменных, отражающих погрешности изготовления и сборки, а также тепловой режим двигателя. После этого получено общее уравнение в малых отклонениях для угла ψ и построена развернутая структурная схема связи углового перемещения кулисы с погрешностями. Полные коэффициенты влияния, определены с помощью развернутой структурной схемы.

Изложенная методика позволяет получить линейные уравнения и выбрать на стадии проектирования оптимальную конструкцию двигателя, а также рациональные допуски и посадки.

В качестве примера отметим, что оптимальная точность (допуски и посадки), при которой получается сравнительно невысокая стоимость изготовления двигателя, может соответствовать 7-й степени точности. При этом в конструкции двигателя, изготовленного по такой степени точности, должно быть шарнирное соединение штока с кулисой на расстоянии от оси ползунов, равном 0...16 мм.

Заключение

Описана методика определения оптимальных параметров бесшатунного двигателя на основе метода малых отклонений. Методика обеспечивает одновременно выбор рациональных допусков на изготовление и сборку деталей и определение оптимальной конструкции двигателя.

Список литературы:

1. Мищенко Н.И. *Нетрадиционные малоразмерные двигатели внутреннего сгорания. В 2 томах. Т. 1. Теория, разработка и испытание нетрадиционных двигателей внутреннего сгорания.* – Донецк: «Лебедь», 1998. – 228 с. 2. *Погрешности элементов бесшатунного двигателя с кривошипно-кулисным механизмом / Н. И. Мищенко, В. Г. Заренбин, Т. Н. Колесникова, В. Л. Супрун* Погрешности элементов бесшатунного двигателя с кривошипно-кулисным механизмом // *Двигатели внутреннего сгорания.* – 2005. – № 1. – С. 86-89. 3. Черкез А.Я. *Инженерные расчеты газотурбинных двигателей методом малых отклонений.* – М.: Машиностроение, 1975. – 378 с. 4. Кнауб Л.В., Барсуков С.И. *Теорія уприскування палива у малих відхиленнях // Eksploatacja silnikow spalinyowych.* – Szczecin: Wydawnictwo katedry eksploatacji pojazdow samochodowych politechniki szczecińskiej. – 2002. – Zeszyt № 5. – P. 35–49.

УДК 621.436

Н.Д. Чайнов, д-р техн. наук, Л.Л. Мяжков, канд. техн. наук, А.В. Кареньков, асп.

ВЛИЯНИЕ МАСЛЯНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ НА ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ПОРШНЕЙ ДВС

Введение

Постоянное увеличение форсирования двигателей внутреннего сгорания требует снижения температурных нагрузок на поршень. Одним из эффективных способов снижения является струйное охлажде-

ние, которое осуществляется подачей охлаждающего масла из форсунки, установленной в корпусе двигателя, на внутреннюю поверхность поршня. Его распространение обусловлено простотой организации, а