

### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Спиридонов, Н.В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н.В. Спиридонов [и др.]. – Мн. Вышэйшая школа, 1988. – 155 с.
2. Лецинский, Л.К. Плазменное поверхностное упрочнение / Л.К. Лецинский, С.С. Самогутин, С.С. Пирч, В.И. Комаров. – Киев: Техника, 1990. – С. 109.
3. Лахтин, Ю.М. Металловедение и термическая обработка металлов. – М.: Металлургия, 1983. – 359 с.
4. Ри Сэйу. Поверхностное упрочнение металлов под действием высокотемпературной плазмы; пер. с японского. – ГИЗН. – 1977. – № 21. – С. 7-13.
5. Кидин И.Н. Фазовые превращения при ускоренном нагреве стали. – М.: Металлургиздат, 1957. – 94 с.
6. Рыкалин, Н.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: справочник / Н.Н. Рыкалин [и др.]. – М.: Машиностроение, 1985. – С. 485.

УДК 621.43

*Тристенъ А. В., Семёнов И. Н.*

*Научный руководитель: м.т.н., ст. преподаватель Страчук И.В.*

### КИНЕМАТИКА КРИВОШИПНО-ШАТУННОГО МЕХАНИЗМА

Поршневой двигатель внутреннего сгорания (ДВС) является самой распространенной тепловой машиной, в которой теплота, выделяющаяся при сгорании внутри цилиндра топлива, превращается в полезную механическую работу. Это связано, прежде всего, с высоким коэффициентом полезного действия (КПД) и, следовательно, топливной экономичностью. Решающим фактором оказывается возможность реализовать высокую степень сжатия, поскольку рабочие процессы совершаются последовательно (циклически) в замкнутом объеме, ограниченном цилиндром, поршнем и крышкой (головкой).

Другой особенностью рассматриваемого типа двигателя является наличие механизма для преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение вала. Известны различные конструкции такого механизма: механизм с вращающейся шайбой при расположении осей цилиндров параллельно оси вала, механизм С.С. Баландина, симметричный ромбический механизм и др. Однако самое большое распространение имеет кривошипно-шатунный механизм (КШМ). Использование такого механизма порождает, как известно, серьезные проблемы, связанные с кинематикой и динамикой: большие скорости, ускорения и силы инерции возвратно-поступательно движущихся масс, имеющие к тому же ряд частотных составляющих. Сюда следует добавить и силы давления газов, с их сложным периодическим характером, выражающимся спектром гармоник с разной амплитудой и частотой.

Совершенствование поршневых двигателей направлено не только на повышение их КПД, но и непрерывное форсирование их скоростных и нагрузочных режимов. При этом значительно возрастают силы и моменты (инерционные и давления газов), действующие на двигатель и его детали. Связанные с этим повышенные износы и разрушения усиливаются из-за колебаний двигателя, его частей и машины, на которой он установлен. Кроме того, они оказывают вредное воздействие на человека.

Следует иметь в виду также, что постоянно возрастают требования по повышению надежности и комфортабельности машины при уменьшении материалоемкости и габаритов. Несмотря на большое число исследовательских работ, в свете современного состояния и требований науки и техники эта проблема еще недостаточно изучена.

Задачей, имеющей практическое значение, является определение траекторий движения точек шатуна, их скоростей и ускорений. Это позволяет решать вопросы кинематики шатуна, возможности движения механизма и нахождения предельного внутреннего контура его картера. Кинематика точки шатуна, определяющей положение оси поршневого пальца, лежит в основе кинематики поршня [2].

Целью данной работы является автоматизация кинематического расчёта в среде программирования Visual Basic 6.0. Применение разработанного программного обеспечения позволит:

- снизить затраты времени на проведение расчётов;
- повысить точность расчётов;
- упростить построение графиков перемещения, скорости и ускорения для поршня и шатуна;
- смоделировать движение КШМ.

При анализе кинематики кривошипно-шатунного механизма в классической постановке принимают следующие допущения:

- 1) частота вращения кривошипа постоянна;
- 2) отсутствуют зазоры в сочленениях, т.е. между поршнем и цилиндром, поршнем и поршневым пальцем, поршневым пальцем и шатуном, между шатуном и шатунной шейкой, а также между коренными шейками и подшипниками;
- 3) размеры деталей КШМ не имеют отклонений от номинальных значений;
- 4) детали кривошипно-шатунного механизма являются недеформируемыми.

Для реализации кинематического расчёта КШМ были использованы следующие математические зависимости:

- 1) перемещение поршня ( $m$ ) в зависимости от угла поворота кривошипа для двигателя с центральным КШМ [1]:

$$s_x = R \cdot \left[ (1 - \cos \varphi) + \frac{\lambda}{4} \cdot (1 - \cos(2\varphi)) \right], \quad (1)$$

где  $R$  – радиус кривошипа;  $\varphi$  – угол поворота кривошипа;  $\lambda$  – отношение радиуса кривошипа к длине шатуна;

- 2) выражение для скорости поршня получим, взяв производную от выражения (3.1) хода поршня по времени [1]:

$$v_n = \frac{ds}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} \cdot \frac{ds}{d\varphi} = \omega \cdot R \cdot \left[ \sin \varphi + \frac{\lambda}{2} \cdot \sin(2\varphi) \right], \quad (2)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения коленчатого вала;

- 3) максимальная скорость поршня зависит (при прочих равных условиях) от величины  $\lambda$ , учитывающей конечную длину шатуна, и достигается при  $\varphi < 90^\circ (+v_n)$  и  $\varphi > 270^\circ (-v_n)$ . С увеличением  $\lambda$  максимальные значения скорости поршня растут и сдвигаются в стороны мёртвых точек [1]:

$$v_n^{\max} \approx \omega \cdot R \cdot \sqrt{1 + \lambda^2}; \quad (3)$$

- 4) для сравнения быстроходности двигателей в расчётах часто используют среднюю скорость поршня [1]:

$$v_n^{\text{cp}} = 2 \cdot \omega \cdot R / \pi; \quad (4)$$

5) ускорение поршня получим, взяв производную от выражения (2) скорости поршня по времени [1]:

$$j = \frac{dv_{\Pi}}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} \cdot \frac{dv_{\Pi}}{d\varphi} = \omega^2 \cdot R \cdot [\cos \varphi + \lambda \cdot \cos(2\varphi)]; \quad (5)$$

6) максимальное значение ускорения поршня, как видно из выражения (5), достигается при  $\varphi = 0^\circ$  [1]:

$$j^{\max} = \omega^2 \cdot R \cdot (1 + \lambda); \quad (6)$$

7) минимальное значение ускорения поршня достигается при [3]:

$$\left. \begin{aligned} \lambda < 0,25 \text{ в точке } \varphi = 180^\circ; j^{\min} = -\omega^2 \cdot R \cdot (1 - \lambda) \\ \lambda > 0,25 \text{ в точке } \varphi = \arccos(-1/4\lambda); j^{\min} = -\omega^2 \cdot R \cdot [\lambda + 1/(8\lambda)] \end{aligned} \right\}; \quad (7)$$

8) перемещение шатуна определяем линейными перемещениями  $x_c$ ,  $z_c$  центра масс шатуна и его угловым перемещением  $\beta$  [2]:

$$\left. \begin{aligned} x_c = R(\sin \varphi - z_{oc} \sin \beta) \\ z_c = R(\cos \varphi + z_{oc} \cos \beta) \end{aligned} \right\}; \quad (8)$$

где  $z_{oc}$  – координата центра масс по оси OZ;  $\beta$  – угол отклонения оси шатуна от оси цилиндра;

9) скорость движения центра масс шатуна вдоль оси OX и оси OZ получим, взяв производную от выражения (8) перемещения шатуна по времени [2]:

$$\left. \begin{aligned} v_{xc} = R\omega (\cos \varphi - z_{oc}\lambda \cos \beta) \\ v_{zc} = R\omega (-\sin \varphi - z_{oc}\lambda \operatorname{tg} \beta \cos \varphi) \end{aligned} \right\}; \quad (9)$$

10) ускорение движения центра масс шатуна вдоль оси OX и оси OZ получим, взяв производную от выражения (9) скорости движения центра масс шатуна по времени [2]:

$$\left. \begin{aligned} j_{xc} = R\omega^2 (-\sin \varphi + z_{oc} \lambda \sin \varphi) \\ j_{zc} = R\omega^2 \left( -\cos \varphi + z_{oc} \lambda \operatorname{tg} \beta \sin \varphi - \frac{z_{oc} \lambda^2 \cos^2 \varphi}{\cos^3 \beta} \right) \end{aligned} \right\}; \quad (10)$$

Для разработки программы была выбрана среда программирования Visual Basic 6.0. Язык программирования VB достаточно прост и обладает большими возможностями по разработке прикладных программ, но также тем, что он используется для написания макросов во всех популярных приложениях Windows: Word Basic – для текстовых редакторов; Basic for Application – для электронных таблиц; Visual Basic – для баз данных. VB работает в среде Windows (не ниже Windows 95) и позволяет создавать приложения – программы для работы в этой среде. При этом программы имеют похожий интерфейс и способы управления. В частности, VB позволяет добавлять к окнам поля ввода, меню, командные кнопки, переключатели, флажки, списки, линейки прокрутки, а также диалоговые окна для выбора файла или каталога.

В качестве исходных данных выступают: радиус кривошипа, длина шатуна, частота вращения коленчатого вала, угол поворота кривошипа.

На основе исходных данных производится расчёт значений перемещения, скорости и ускорения поршня; максимальной и минимальной скорости поршня; средней скорости поршня; максимального и минимального ускорений поршня; перемещения, скорости и ус-

кореня центра масс шатуна. В качестве дополнения реализована возможность построения графиков перемещения, скорости и ускорения поршня и центра масс шатуна с возможностью выбора выводимых графиков; построение положения КШМ при максимальной (минимальной) скорости поршня и максимальном (минимальном) ускорении поршня.

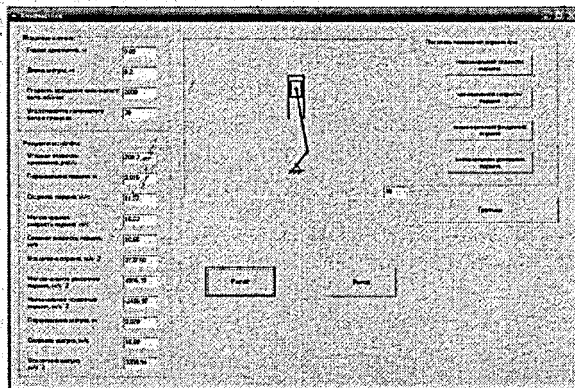


Рисунок 1 – Результаты расчёта

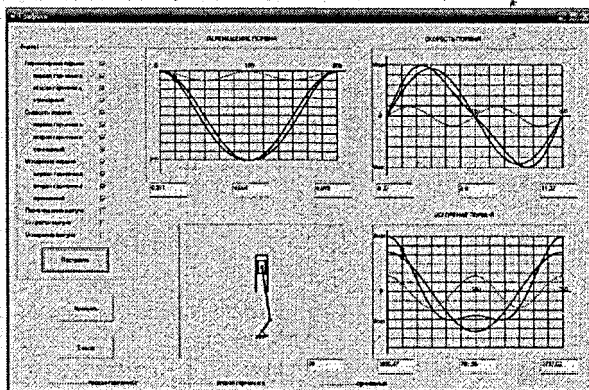


Рисунок 2 – Построение графиков

Разработанная программа позволяет автоматизировать расчёт кинематических показателей кривошипно-шатунного механизма и построение их графиков. Данная программа может быть использована в учебном процессе на лабораторных и практических занятиях по дисциплине «Автомобильные двигатели».

#### СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методические указания для лабораторных работ по дисциплине «Силовые установки транспортных средств» для студентов специальности 1 - 37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей». – Брест: УО «БрГТУ», 2009.

2. Григорьев, Е.А. Кинематика и динамика кривошипно-шатунного механизма двигателя: учебное пособие. – Волгоград, 2004.