

ГРАФОАНАЛИТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА МЕХАНИЗМОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭВМ

Графоаналитические методы исследования механизмов в теории механизмов и машин известны и широко используются с давних времен. Они позволяют определить положения звеньев, траектории движения отдельных точек, скорости и ускорения точек и звеньев механизма, реакции в кинематических парах и оценить точность механизмов. Эти методы основаны на геометрических построениях, заменяющих аналитические выкладки и численные операции. Графоаналитические методы отличаются наглядностью, удобством контроля и быстротой решения ряда практических задач.

Основными недостатками графоаналитических методов считаются: меньшая точность, чем у аналитических методов и нередко большая громоздкость построений, особенно при стремлении повысить точность расчетов. В последнее время наибольшее развитие получили аналитические методы исследования механизмов. Связано это также и с бурным развитием вычислительной техники.

Однако, на наш взгляд, не следует пренебрегать графоаналитическими методами, которые с появлением новых компьютерных графических программ, сохранив свои достоинства, начисто лишились своих недостатков. Точность графических построений стала сравнима с аналитической, а необходимость в громоздких однотипных построениях отпадает при использовании параметрических графических моделей.

Продemonстрируем возможности, которые может предоставить ЭВМ при использовании графоаналитических методов расчета механизмов. Для примера рассмотрим кривошипно-ползунный механизм. В качестве инструмента будем использовать чертежно-графический редактор «Компас-График», разработанный компанией «Аскон».

1. Несколько предварительных замечаний

1. В среде «Компас-График» имеется возможность параметризации элементов графического построения, т.е. задания определенных связей между ними. Мы будем создавать параметрические модели с заданными связями параметров как внутри модели, так и между разными графическими моделями. Связь параметров может быть простой геометрической, а может быть вычисляемой по какой-либо задаваемой математической зависимости. Параметры могут быть как постоянными, так и переменными величинами.
2. Графические построения моделей всегда выполняются в масштабе 1:1, а на чертеже изображаются в удобном для просмотра масштабе, путем создания дополнительных видов.
3. Поскольку при создании параметрических моделей часть информации о параметрах изображается на чертеже и в дальнейшем из-за большого её количества может просто мешать, то большинство действий по параметризации удобно выполнять в отдельно созданном слое чертежа, который в последствии делается невидимым (гасится).
4. Пред началом построений графический редактор необходимо настроить на работу с параметрическими зависимостями.

2. План положений механизма

Построения начнем с создания параметрической модели механизма. На рис. 1 представлен чертеж, который предварительно был разбит на семь полей. На поле чертежа (1) создаем новый вид, воспользовавшись командой «Создать вид», и в выбран-

ном масштабе изображаем кинематическую схему механизма в произвольном положении.

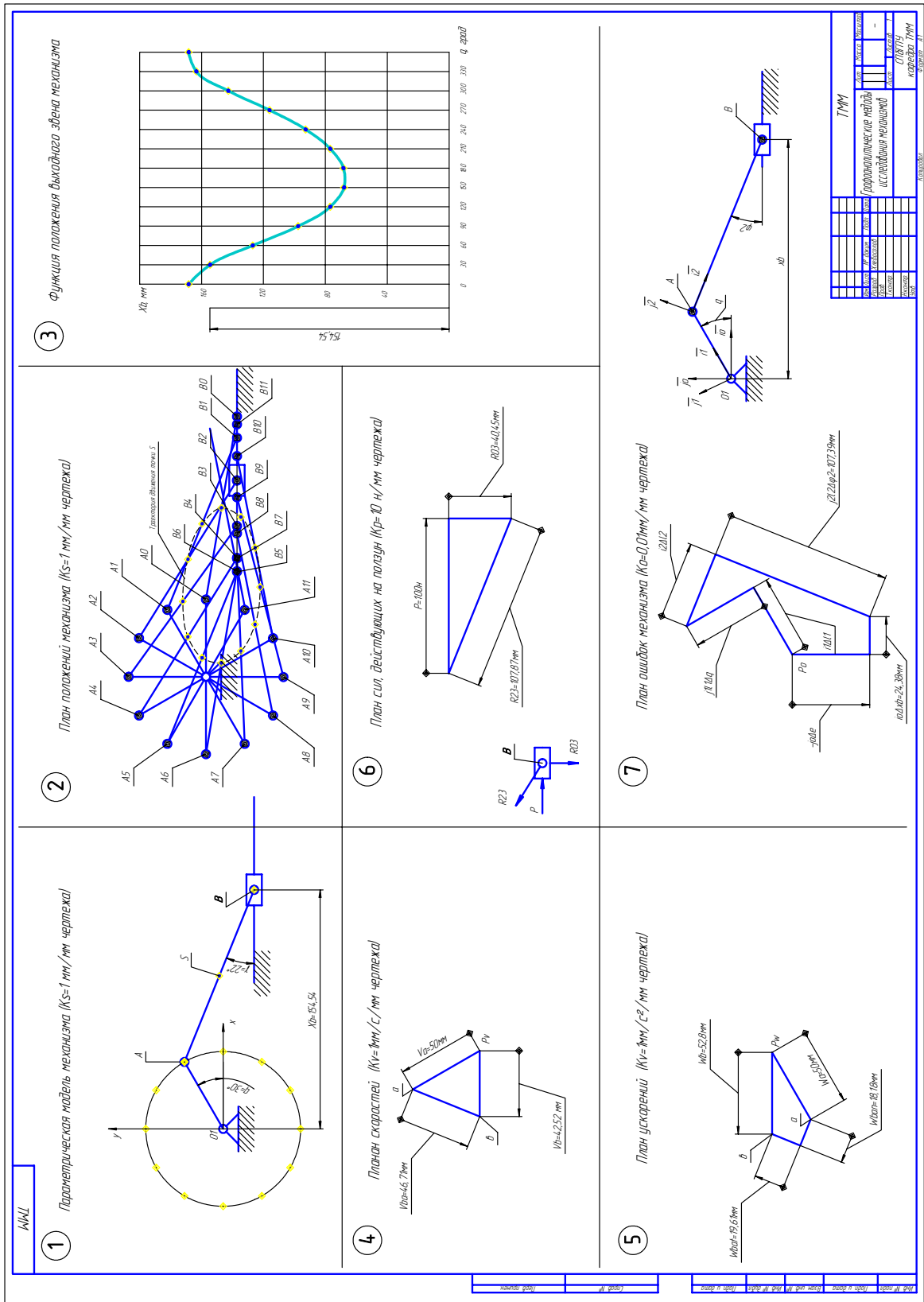


Рис. 1

Создадим слой чертежа для параметризации объектов. Для этого можно воспользоваться кнопкой «Слой», находящейся в строке текущего состояния. В созданном слое про-

ставляем размеры (длину кривошипа, шатуна и эксцентриситет). Затем активизируем «Панель параметризации» кнопкой «П» на «Инструментальной панели». Кнопкой «Фиксировать размер» зафиксируем значения проставленных размеров механизма; если имеется необходимость, откорректируем их (кнопка «Установить значение размера») и кнопкой «Зафиксировать точку» сделаем неподвижной ось вращения кривошипа. Перейдя в основной слой чертежа, проставляем размер X_b , угол поворота кривошипа q и шатуна γ .

Вводим переменные: координату точки B по оси $OX - X_b$ и угол поворота кривошипа – q . Для этого необходимо щелкнуть два раза левой кнопкой мыши на значении соответствующего размера и в появившемся диалоговом окне ввести обозначение переменной.

Сделаем дополнительные построения. Изобразим траекторию движения точки A кривошипа и разделим ее на двенадцать равных частей. На шатуне зафиксируем точку S (центр масс шатуна) на расстоянии от точки A , равном, например, половине длины шатуна.

Таким образом, параметрическая модель кривошипно-ползунного механизма создана. При попытке посредством курсора повернуть кривошип вокруг неподвижной оси весь механизм начнет перемещаться, не нарушая наложенных на его звенья связей. При остановке кривошипа в произвольном положении на схеме механизма отобразятся текущие значения параметров q , γ , X_b с заданной в настройках графического редактора точностью и единицами измерения.

Посредством данной модели можно решать как прямую, так и обратную задачи геометрического анализа, поскольку перестройка механизма происходит при задании любого из вышеперечисленных параметров, два других же автоматически рассчитываются и их значения отображаются на схеме.

План положений механизма строим на поле чертежа (2) в выбранном масштабе простым копированием звеньев механизма параметрической модели, последовательно устанавливаемой в различные положения по разметке траектории движения точки A кривошипа. Копирование может быть осуществлено следующим образом. Переключим «Инструментальную панель» в режим редактирования объектов кнопкой «Панель редактирования». Щелкнем левой кнопкой мыши на кривошипе для его выделения и на шатуне, вместе с Shift для добавления к выделенному объекту. Нажав кнопку «Копирование» на инструментальной панели, осуществим вышеуказанную операцию. Если воспользоваться кнопкой «Кривая Безье» на «Инструментальной панели геометрии» и последовательно соединить множество точек S на плане положений, можно получить траекторию движения центра масс шатуна.

На поле чертежа (3) построим график функции положения выходного звена. Для этого в выбранном масштабе построим систему координатных осей (q, X_b) . Проведем вспомогательный отрезок произвольной длины параллельный вертикальной оси, нижнюю точку которого зафиксируем на уровне начала координат. Проставим размер этого отрезка, обозначим его новой переменной X_{bl} и свяжем ее с переменной X_b . Для этого на инструментальной панели «Параметризация» необходимо нажать кнопку «Уравнения» и в появившемся диалоговом окне ввести следующую строчку: $X_b = X_{bl}$. В результате при движении параметрической модели механизма синхронно будет изменяться и высота вспомогательного отрезка. Отмечая последовательно точками вершину данного отрезка в выше указанной системе координат (это можно сделать используя кнопки «Ввод точки» и «Ввод вспомогательной горизонтальной прямой» на «Инструментальной панели геометрии»), а затем соединив их кривой Безье, получим график функции положения выходного звена механизма.

3. Планы скоростей и ускорений

План скоростей строим на поле чертежа (4) в выбранном масштабе. Построения начинаем с вектора скорости точки A кривошипа, который, как известно, по модулю равен произведению длины кривошипа (L_1) и угловой скорости его вращения (ω) и направлен в сторону вращения кривошипа перпендикулярно прямой O_1A .

Проведем отрезок произвольной длины в произвольном направлении. В слое чертежа для параметризации задаем длину этого отрезка, равную произведению $L_1 \cdot \omega$, любую из крайних точек отрезка делаем неподвижной (полюс плана скоростей P_v), и задаем направление – перпендикулярное кривошипу параметрической модели механизма, воспользовавшись кнопкой «Перпендикулярно» инструментальной панели «Параметризация». Угловую скорость вращения кривошипа можно задать равной единице, в этом случае план скоростей будет идентичен плану аналогов скоростей.

Далее графически решаем известное векторное уравнение:

$$\mathbf{V}_b = \mathbf{V}_a + \mathbf{V}_{ba}.$$

В основном слое чертежа на плане скоростей из крайних точек вектора \mathbf{V}_a проводим два произвольных пересекающихся отрезка. Затем устанавливаем связи этих отрезков с параметрической моделью механизма. Отрезок, выходящий из полюса P_v (вектор скорости точки B - \mathbf{V}_b), должен быть параллельным линии движения ползуна, т.е. горизонтальным, а второй отрезок (вектор относительной скорости \mathbf{V}_{ba}) – перпендикулярен шатуну AB (кнопки «Горизонталь» и «Перпендикулярно» инструментальной панели «Параметризация»). Затем проставляем размеры получившихся отрезков $P_v a$ и $P_v b$ и вводим переменную V_{ba} .

Теперь при движении параметрической модели автоматически будет изменяться и план скоростей механизма. При остановке кривошипа в произвольном положении на плане скоростей отобразятся текущие значения скоростей \mathbf{V}_{ba} и \mathbf{V}_b . Более того, здесь возможно решение и обратной задачи кинематического анализа. Если на плане скоростей задать значение скорости \mathbf{V}_b , то произойдет перестройка всех связанных параметрических моделей, т.е. сам механизм займет положение, при котором скорость его выходного звена соответствует заданной.

План ускорений для заданного механизма представляет из себя графическое решение следующего векторного уравнения:

$$\mathbf{W}_b = \mathbf{W}_a + \mathbf{W}_{ba}^n + \mathbf{W}_{ba}^t.$$

План ускорений строим на поле чертежа (5) в выбранном масштабе. Ускорение \mathbf{W}_a откладываем из фиксированной точки – полюса (P_w) в виде отрезка длиной $L_1 \cdot \omega^2$, расположенного параллельно кривошипу и направленному от точки A к точке O_1 механизма. Затем необходимо построить ускорение \mathbf{W}_{ba}^n в виде отрезка длиной равной V_{ba}^2/L_2 (L_2 – длина шатуна), расположенного параллельно шатуну и направленного от точки B к точке A механизма. Для этого из конца вектора \mathbf{W}_a откладываем отрезок произвольной длины, проставляем размер, обозначаем его новой переменной W , вводим уравнение $W = V_{ba}^2/L_2$ и кнопкой «Установить параллельность» определяем его положение. Из конца полученного вектора проводим отрезок, перпендикулярный шатуну, до пересечения с отрезком, проведенным из полюса параллельно линии движения ползуна. В результате данного построения получаем параметрическую модель плана ускорений, при помощи которой можно также решить и обратную задачу.

4. Статический анализ механизма

В задачу статического расчета механизмов входит определение реакций в кинематических парах и обобщенных движущих сил. Статический анализ механизмов обычно ведется на основе статической модели, учитывающей только обобщенные движущие силы Q , силы рабочих нагрузок \mathbf{P} и реакции связей \mathbf{R} [1].

Приложим к ползуну рабочую нагрузку $P = 100 \text{ Н}$, а к кривошпицу - обобщенный движущий момент Q , уравнивающий эту нагрузку. Механизм находится в равновесии, следовательно, и каждое звено находится в равновесии. Рассмотрим равновесие ползуна. На него действуют три силы, сходящиеся в шарнире В: рабочая нагрузка и две реакции связей. Для нахождения величины реакций используем уравнение равновесия ползуна:

$$P + R_{03} + R_{23} = 0.$$

План сил, действующих на ползун, строим на поле чертежа (6). Масштабное значение рабочей нагрузки P откладываем из фиксированной точки – полюса (P_p). Из концов этого отрезка проводим две пересекающиеся прямые. Одна – перпендикулярна линии движения ползуна, вторая – параллельна шатуну. Получим треугольник сил. Проставим размеры на полученные отрезки, длины которых будут равны масштабным значениям реакций R_{03} и R_{23} .

5. План ошибок механизма

Реальные (действительные) механизмы отличаются от идеальных наличием погрешностей (ошибок), обусловленных неточностью изготовления деталей и сборки узлов, температурными деформациями, погрешностью работы системы управления и т.п. В некоторых случаях при конструировании механических систем необходимо произвести расчет общих ошибок механизма по известным первичным ошибкам (геометрическим и кинематическим).

Графоаналитический метод расчета ошибок механизма базируется на использовании замкнутого векторного контура и на построении плана ошибок [2]. Расчетная модель изображена на поле чертежа (7), где с каждым звеном механизма связана правая тройка единичных векторов i, j, k . Контур O_1ABO_1 механизма может быть представлен в следующем виде:

$$L_1 \cdot i_1 + L_2 \cdot i_2 = -E \cdot j_0 + X_b \cdot i_0.$$

Приращения векторов данного контура:

$$\Delta L_1 \cdot i_1 + L_1 \cdot \Delta q_1 \cdot j_1 + \Delta L_2 \cdot i_2 + L_2 \cdot \Delta \varphi_2 \cdot j_2 = -\Delta E \cdot j_0 + \Delta X_b \cdot i_0.$$

В этом уравнении, записанном в векторной форме, неизвестными являются величины $\Delta \varphi_2$ и ΔX_b (ошибка угла поворота шатуна и ошибка положения выходного звена механизма по координате X_b). На поле чертежа (7) в выбранном масштабе построим план ошибок. Из полюса плана фиксированной точки (P_o) - строим последовательно, согласно приведенному уравнению, известные векторы, а затем проводим линии, параллельные двум неизвестным по модулю векторам. В результате построений получим параметрическую модель, по которой можно определить ошибки $\Delta \varphi_2$ и ΔX_b при любом угле поворота входного звена механизма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов Ю.А., Семенова Н.С. Теория механизмов и машин. Статика механизмов: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГПУ, 1999.- 44с.
2. Семенов Ю.А., Семенова Н.С. Теория механизмов и машин. Кинематический и точностной анализ механизмов: Учеб. пособие. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1996.- 92 с.

Поступила в редакцию 26.02.2004
После доработки 28.06.2004