

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

УДК 004.021 : 621.9.02

Ф.Н. Притыкин, Е.Е. Шмуренкова

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЧЕРТЕЖЕЙ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ТРЕХМЕРНЫХ ПРОТОТИПОВ

Сокращения: МИ – металлорежущий инструмент, ФИ – фрагменты изображений, МКОТ – множество координат опорных точек.

В последние годы интенсивно развиваются системы автоматизированного проектирования с возможностями трехмерного параметрического твердотельного (3D) моделирования и параметрического черчения. Тем не менее автоматизация проектирования чертежей все же остается неполной. Так, при разработке чертежей металлорежущего инструмента, созданных на основе параметрических 3D прототипов, при изменении численных значений каких-либо переменных указанных 3D моделей может произойти наложение фрагментов изображений чертежа друг на друга или их выход за пределы заданной области. При этом чертеж, как правило, редактируется вручную. Таким образом, существует необходимость разработки дополнительных модулей системы САПР металлорежущих инструментов, включающей параметрическое 3D и 2D моделирование и осуществляющей анализ и корректировку положений фрагментов изображений на чертеже. Разработанные модули могут быть использованы в системах САПР МИ при создании электронных архивов и графических баз данных [1,2].

При создании графических баз данных МИ наиболее рациональным способом проектирования чертежей является разработка и использование параметрических 3D моделей, а также создание на их основе ассоциативных видов и сечений. Этапы создания чертежей МИ на основе исполь-

зования трехмерных прототипов следующие. На первом этапе осуществляется расчет и создание параметрического изображения 3D модели металлорежущего инструмента созданного в программе T-FLEX или в другой системе имеющей возможность параметрического моделирования. Данная модель представлена на рис. 1. Размеры параметрической 3D модели изменяются на основе задания значений переменных (рис. 1a). На втором этапе осуществляется вставка и создание на чертеже параметрических изображений видов и сечений на основе созданной параметрической 3D модели. На рис. 1б представлена схема положения видов чертежа МИ. Для автоматизированного анализа положения ФИ чертеж разбивается на области. На рис. 1б приведен пример положения различных областей на чертеже резца. В первых трех областях ($Q_1 + Q_3$) располагаются изображения трех основных видов инструмента. В четвертой и пятой области (Q_4, Q_5) располагают изображения сечений, а в шестой (Q_6) – текст технических требований. Заметим, что число областей может изменяться в зависимости от количества используемых видов и сечений. На чертеже используются различные слои, определяющие ФИ. Автоматизированный анализ положений изображений осуществляется на основе извлечения МКОТ примитивов принадлежащих различным слоям с использованием функций доступа к примитивам [3].

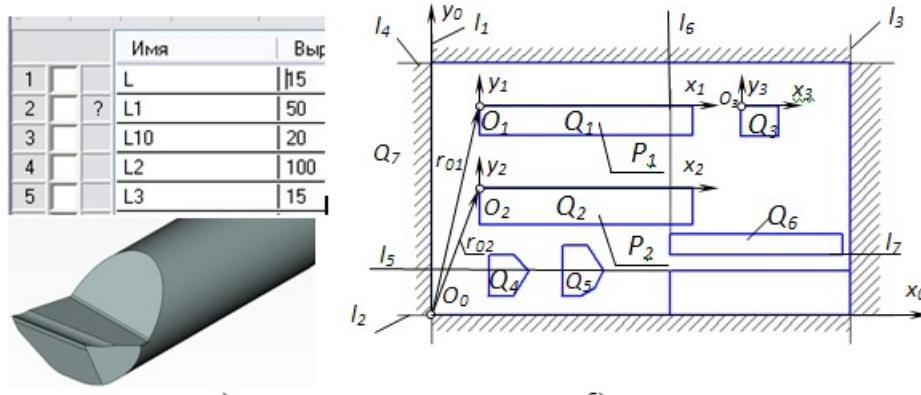


Рис. 1. Получение чертежей на основе 3D прототипа: а – параметрическое изображение 3D прототипа МИ выполненнное в T-FLEX; б – возможные положения областей ФИ

Пусть при изменении значений переменных 3D модели происходит наложение ассоциативных видов или сечений друг на друга, или их выход за пределы допустимой области чертежа. Для решения указанной проблемы предлагается использовать систему САПР AutoCAD и дополнительные модули анализа и корректировки положения ФИ, которые позволяют оценивать и редактировать полученный чертеж автоматизированным способом. Анализ различных графических систем показал, что для создания параметрических 3D моделей наиболее предпочтительно использовать программу T-FLEX. Поэтому для редактирования чертежа автоматизированным способом файл, разработанный в программе T-FLEX, вначале сохраняется с расширением .dwg или .dxf и загружается системой AutoCAD для дальнейшей автоматизированной корректировки.

Для корректировки необходимы следующие действия. Вначале оценить положение контуров видов и сечений и принадлежащие им размеры. Затем определить базовую точку для осуществления сдвига. Эта точка не совпадает с точками вставки $P_1 - P_5$ ФИ и определяется как крайняя левая верхняя точка области Q_i с координатами (X_i^{\min}, Y_i^{\max}) . Базовые точки обозначаем — O_1, O_2 , и т.д. (рис. 16). При этом ФИ задают положения ассоциативных видов и сечений МИ, определяемых векторами r_{O1}, r_{O2} и т.п., а также локальными системами координат Ox_{y1}, Ox_{y2} и т.д. Заметим, что процедура оценки взаимного положения ФИ осуществляется с использованием специальных алгоритмов [1].

Для автоматизированного анализа взаимного положения ФИ Q_1, Q_2, \dots, Q_6 создаются списки МКОТ, принадлежащих их контурам

$$Q_1^1(P_1^1(x_1^1, y_1^1), P_1^1(x_1^1, y_1^1), \dots)$$

$$Q_2^1(P_1^1(x_1^1, y_1^1), P_2^1(x_2^1, y_2^1), \dots)$$

МКОТ определяются на основе функций дос-

тупа к примитивам и анализа принадлежности их к тому или иному слову. При этом получается шесть различных дискретных множеств. На рисунке 16 изображены прямые l_1, \dots, l_7 , по отношению к которым необходимо оценивать положения ФИ Q_1, Q_2, \dots, Q_6 . Прямые l_1, l_2, l_3 и l_4 определяют допустимое минимальное расстояние до рамки чертежа, а l_5, l_6 — соответственно допустимое расстояние до основной надписи. Таким образом, анализ взаимного положения ФИ основан на определении взаимного положения точек замкнутых контуров объектов Q_1, \dots, Q_6 и по отношению их к областям, заданным точками прямых l_1, \dots

Установление взаимосвязей между конечными множествами рационально выполнить с помощью графов, матриц инциденций и смежностей [1]. При этом вершины графа будут задавать дискретные конечные МКОТ, которые обозначаются $Q'_1, Q'_2, \dots, Q'_n, Q'_n, \dots, Q'_n$. Множества Q'_1, \dots, Q'_n определяются соответственными координатами точек, которые задают прямые l_1, \dots, l_7 . Ребра графа e_1, \dots, e_{16} определяют условия установления взаимосвязей между множествами $Q'_1, Q'_2, \dots, Q'_n, Q'_n, \dots$.

На рис. 2a представлен ориентированный граф, отражающий процесс анализа положений ФИ Q_1, \dots, Q_7 на чертеже. Для перемещения объекта Q_4 с целью перемещения его полюса заданного на рисунке 2б точкой O_2 по траектории O_2C_b используем обобщенные координаты q_1 и q_2 . На рисунке точка C_b определяется пересечением биссектрис углов C_2CC_1 и CC_2C_3 , где CC_2 и CC_1 отрезки годографов функций плотного размещения g_{47} и g_{45} . Так как траектория O_2C_b располагается за пределами годографов g_{47} и g_{45} , то необходимо на каждом этапе смещения по вектору ΔS определять пересечение объектов Q_4 и с запретными областями заданного чертежа Q_1 и Q_5 . Приращения обобщенных координат Δq_1 и Δq_2 определяют со-

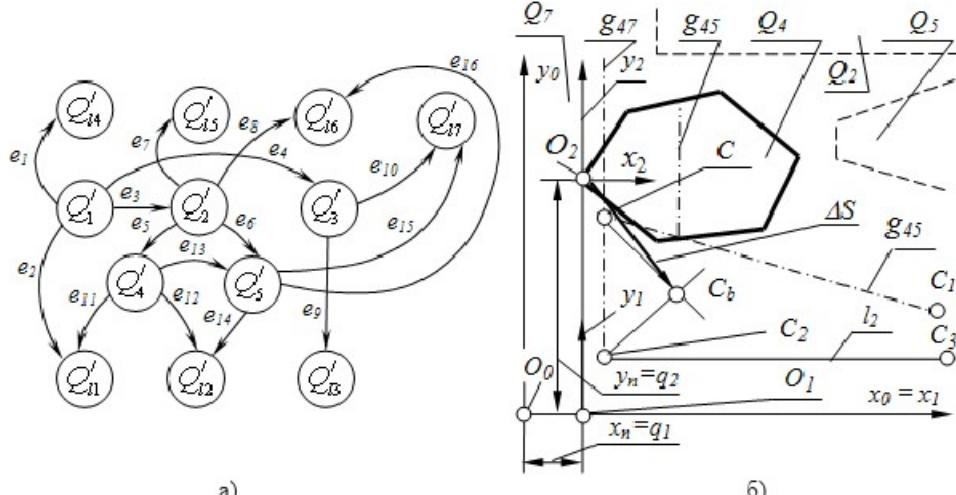


Рис. 2. Анализ и корректировка положения ФИ на чертеже МИ: а - граф, отражающий процесс анализа положений ФИ Q_1, \dots, Q_7 на чертеже, б - определение вектора смещений полюса ФИ при изменении его положения

отношения $\Delta q_1 = \Delta x$, $\Delta q_2 = \Delta y$. Где Δx , Δy – компоненты вектора приращений $\bar{\Delta S}$. В случае пересечения объектов Q_4 и l_2 в положении, заданном полюсом C_b итерационный поиск, связанный с синтезом малых перемещений по траектории заданной отрезком O_2C_b продолжается, пока не определится положение объекта Q_4 , при котором будет отсутствовать указанное пересечение.

Систему O_2 , связанную с объектом Q_4 , определяют параметры x_n , y_n . При заданной схеме расположения фрагментов изображений, в общем случае значению вектора L_n (q_1, \dots, q_n) соответствует единственное значение вектора X_n (x_n , y_n). Параметры x_n , y_n , однозначно задают положение полюса O_2 и системы $O_2x_2y_2$ в неподвижном пространстве, связанной с перемещаемым ФИ. Данные функции в аналитическом виде для рассматриваемого случая определяются произведением:

$$M_{\theta,n} = M_{\theta,1} \times M_{i,1} \times \dots \times M_{n,1,n} \quad (1)$$

где $M_{i,1}$ – матрицы, определяющие переход от системы O_i к системе $O_{i,1}$. Компоненты матрицы $M_{\theta,n}$ определяют координаты x_n и y_n .

В предыдущем случае корректировка положения ФИ была рассмотрена, когда один из ФИ является подвижным, а другие неподвижны на чертеже. Однако при автоматизированном проектировании чертежей МИ, созданных на основе параметрических 3D прототипов, возникают ситуации, когда решение рассмотренным способом может быть не найдено. В этом случае необходимо использовать способ определения положения ФИ, при котором они все являются подвижными. В связи с этим предлагается использовать автоматизированный способ смещения ФИ с помощью изменения приращений обобщенных координат, задающих их взаимное положение [4].

На рис.3 представлены изображения двух видов и сечение резца. При этом ФИ представлены с некоторыми упрощениями. При создании плоского чертежа на основе параметрической 3D модели точки вставки видов и сечения P_1 , P_2 и P_3 указывают таким образом, чтобы расстояния до рамки чертежа между видами и сечениями были заданы с некоторым запасом. Эти расстояния между ФИ на рис. 3 определяют параметры q'_3 и q'_4 , а между ФИ и рамкой чертежа – параметры q'_2 , q'_{02} и q'_{03} . В заданных пределах могут изменяться положения точек O_2 , O_3 , O_3' и O_6 , которые определяются обобщенными координатами q_1 , q_2 , \dots , q_5 (даные точки задают начала подвижных систем координат, связанных с ФИ). Положение указанных точек определяют с помощью функций доступа к примитивам. При этом первоначально точка вставки P_1 ФИ главного вида, полученного на основе параметрической 3D модели задается по средним значениям переменных определенного кода инструмента. По аналогии с методами синтеза малых движений открытых плоских механизмов системы O_2 , O_3 и O_6 определяют положения видов и сечений, каждый из которых смещается

вместе со звеньями 1, 2, ..., 5 открытой кинематической цепи с помощью реализации приращений Δq_1 , Δq_2 , ..., Δq_5 (рис. 4а). На рис. 4б представлен случай, когда точка O_6 сечения A-A выступает за рамку чертежа. Для корректировки положения сечения необходимо рассчитать новые положения точек O_1 , O_3 , ..., O_6 с помощью приращений Δq_1 , Δq_2 , ..., Δq_5 , при которых точка O_6 сместится по направлению прямой, заданной точками O_6 , O'_6 (см. рис. 4б). При этом изменится также положение других ФИ. Положение точки O'_6 определяющей направление вектора смещений для рассмотренного случая вычисляется пересечением прямой $l_7 \in O_6$, (имеет угол наклона θ по отношению к горизонтали l_8) с вертикальной прямой $l'_3 \parallel l_5$. При этом $l_5 \in O_2$, $l_5 \in O_3$. Прямая l'_5 удалена от прямой l_5 на заданном минимальном расстоянии (d_{min}) между видами. Угол θ (в интервале 2-5°) необходим для обеспечения расчета двухкомпонентного вектора $\bar{\Delta S}_{O_6} = \bar{\Delta x}_{O_6} + \bar{\Delta y}_{O_6}$. Зависимость компонентов Δx_{O_6} , Δy_{O_6} вектора $\bar{\Delta S}_{O_6}$ и вектора $\bar{\Delta N}$ (Δq_1 , Δq_2 , ..., Δq_5) определяется с использованием следующего выражения [4]:

$$\begin{aligned} \Delta x_{O_6} &= J_{11} \cdot a_1 \cdot \Delta q_1 + J_{14} \cdot a_4 \cdot \Delta q_4 + J_{15} \cdot a_5 \cdot \Delta q_5, \\ \Delta y_{O_6} &= J_{22} \cdot a_2 \cdot \Delta q_2 + J_{23} \cdot a_3 \cdot \Delta q_3 + \\ &\quad + J_{24} \cdot a_4 \cdot \Delta q_4 + J_{25} \cdot a_5 \cdot \Delta q_5, \end{aligned} \quad (2)$$

где J_{11}, \dots, J_{25} – коэффициенты матрицы частных передаточных отношений; a_1, \dots, a_5 – весовые коэффициенты приращений $\Delta q_1, \dots, \Delta q_5$ [4]. Значения весовых коэффициентов a_i позволяют отдавать предпочтение тому или иному приращению обобщенной координаты. При этом, чем меньше значение весового коэффициента (a_i), тем больше происходит изменение обобщенной координаты. Коэффициенты a_i при определении положения ФИ или систем координат O_1, \dots, O_6 изменяют в зависимости от значений расстояний q'_2 , q'_3 , q'_{02} , q'_{03} , q'_4 . Например, если q'_2 принимает минимальное значение, тогда коэффициент a_1 увеличивается до значения, близкого к единице. Для первого варианта итерационного поиска значения a_i принимаются в соответствии с заранее заданными приоритетами. Так, если за пределы рамки чертежа выступает сечение, то наименьшее значение принимают коэффициенты a_4 и a_5 . Если, соответственно, выступает за верхнюю рамку чертежа вид спереди, то наименьшее значение принимает коэффициент a_2 . При этом в (2) в качестве переменных рассматриваются только приращения обобщенных координат Δq_1 и Δq_2 определяющих положение вида сверху. Вектор смещения в этом случае будет определяться видом сверху. Далее вычисляется новое положение видов и сечений. Пусть при итерационном поиске точка O_2 приближается к граничной прямой l_4 (рис. 3):

$$a_2 = \frac{q'_1}{q'_{14}}, \quad (3)$$

где q'_{14} – определяет текущее удаление точки O_2 от граничной прямой l_4 ; q'_2 – первоначально заданное допустимое значение удаления точки O_2 от прямой l_4 . Другие значения коэффициентов a_i рассчитываются аналогичным образом.

Уравнения (3) в пятимерном пространстве приращений Δq_i определяют две гиперплоскости [4]. Для вычисления приращений Δq_i , удовлетворяющих условию:

$$\sum (\Delta q_i)^2 = \sum_{\min}, \quad (4)$$

необходимо к линейной системе (5) добавить три линейных уравнения, каждое из которых определяет гиперплоскость Σ_i , перпендикулярную гиперплоскостям (2) и проходящую через начала координат пространства приращений Δq_i . Совместное решение указанных уравнений позволяет найти точку G в указанном многомерном пространстве. Пусть при некотором шаге расчета вектора приращений $\overline{\Delta N}$ наружные контуры некоторых видов или сечений пересекаются. Тогда необходимо вычислить вектор приращений $\overline{\Delta N}$:

$$\overline{\Delta N_N} = \overline{\Delta N_G} + \sum_{i=1}^p k_i \cdot m \cdot \overline{\Delta N_i}, \quad (5)$$

где $\overline{\Delta N_G}$ – вектор, определяющий положение точки G пространства приращений Δq_i , $\overline{\Delta N_i}$ – орты, определяемые нормальными векторами трех гиперплоскостей Σ_i , $p = n - r$, r – размерность вектора приращений $\overline{\Delta S_{06}}(\Delta x_{06}, \Delta y_{06})$, n – раз-

мерность вектора $\overline{\Delta N}(\Delta q_1, \Delta q_2, \dots, \Delta q_5)$ приращений обобщенных координат, k_1, \dots, k_i – параметры, определяющие координаты точки в указанном репере; m – длина единичного отрезка репера. Вычисление различных значений векторов $\overline{\Delta N}$ и, следовательно, положений ФИ и систем O_1, O_2, \dots, O_6 происходит до тех пор, пока граничные многоугольники видов или сечений относительно рамки чертежа будут располагаться на заданном минимальном расстоянии друг от друга.

Для расчета значений приращений Δq_i необходимо задать геометрическую модель открытой кинематической цепи и положения систем координат, представленных на рис. 3. Данную модель, как известно, определяют массивы [4,5]. Указанные массивы соответственно задают значения обобщенных координат q_i , длины звеньев механизма l_n , смещения вдоль осей систем координат l_{im} и коды преобразований систем координат n_{kod} . Значения массивов для кинематической цепи представлена на рис. 4а следующие: $q_1 (q_1, q_2, q_3, \psi_1, q_4, q_5), l_{si} (0, 0, 0, 0, 0, 0), l_{si} (0, 0, 0, 0, 0, 0), n_{kod} (4, 5, 5, 9, 5, 4)$ [5]. Заметим, что при использовании четвертого преобразования используется заданное фиксированное значение параметра ψ_1 .

Расчет первоначального значения вектора смещений $\overline{\Delta S_{06}}$ осуществляется в следующей последовательности. Данное смещение задается отрезком $O_6O'_6$, который определяет значение мо-

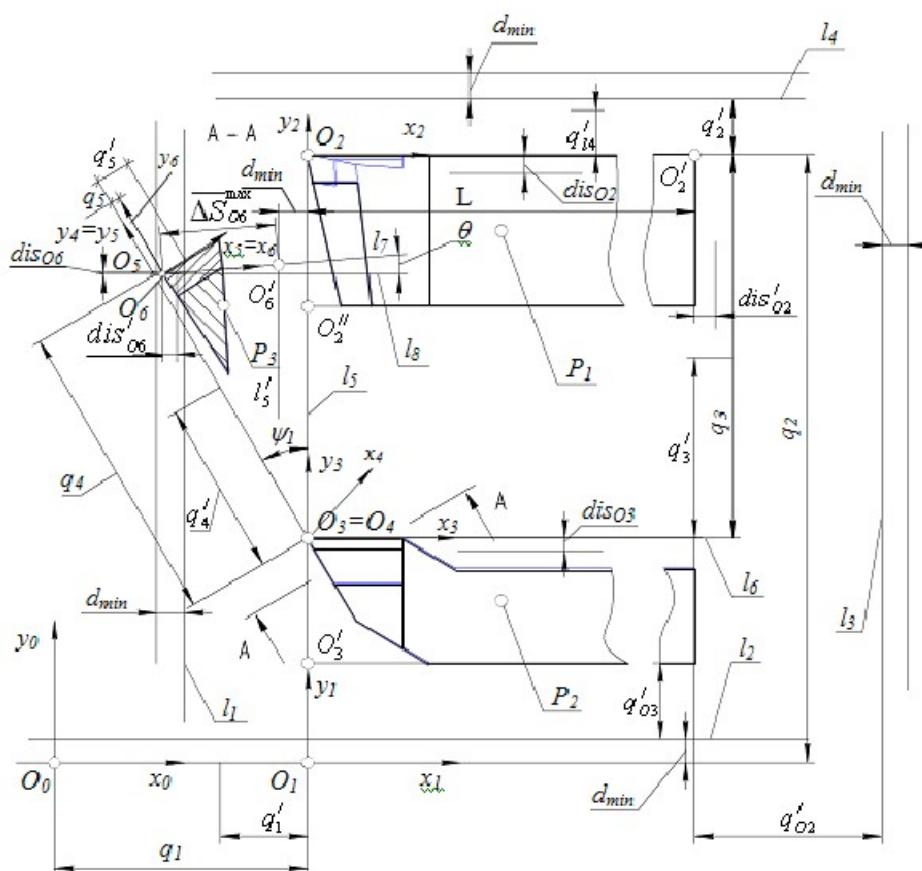


Рис. 3. Геометрические параметры, задающие положение ФИ на чертеже

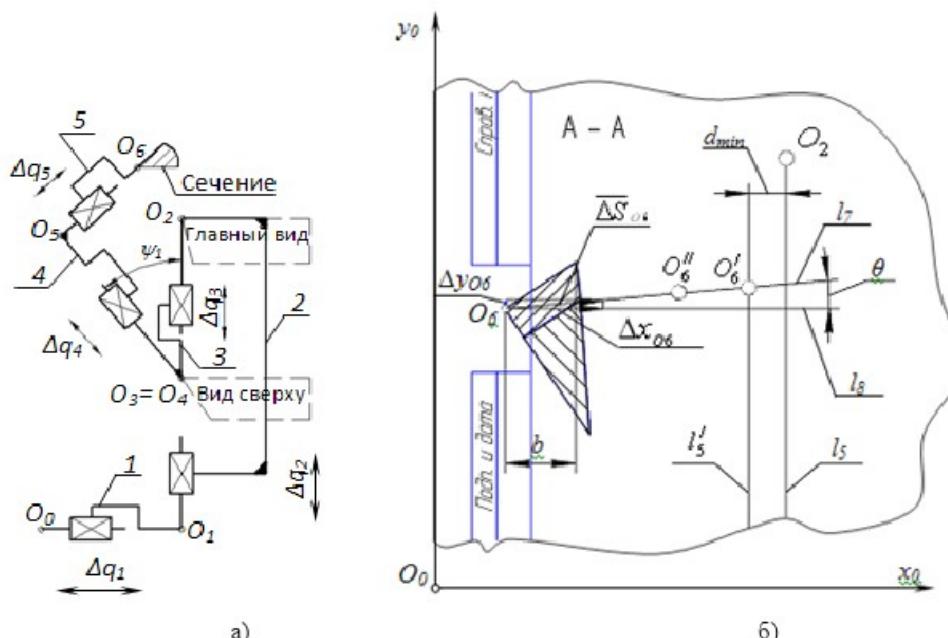


Рис. 4. Схема расположения ФИ: а – положение центров систем координат связанных с ФИ и звеньями плоского механизма, б – вычисление вектора смещений ФИ $\overline{\Delta S}_{o6}$

дуля вектора $\overline{\Delta S}_{o6}^{\max}$. При этом длина отрезка $O_6O''_6$ находится с учетом расстояния b , которое занимает изображение сечения по направлению прямой l_7 и вычисляется по следующей зависимости $O_6O''_6 = O_6O'_6 - b$, где b – длина сечения по направлению прямой l_7 (рис. 4б), $O'_6 = l'_5 \cap l_7$.

Расчет максимально допустимого значения модуля вектора $\overline{\Delta S}_{o6}^{\max}$ проводим в следующей по-

следовательности. С помощью Решением линейной системы (2) по значению $\overline{\Delta S}_{o6}^{\max}$ (заданного отрезком $O_6O''_6$) находятся значения Δq_1^{\max} , Δq_2^{\max} и т.д. Определяются смещение dis_{o2} , dis'_{o2} , ... точек O_2 , O'_2 , O''_2 , O_6 в соответствии с Δq_1^{\max} , Δq_2^{\max} , ... по отношению к соответственным прямым l_1 , l_2 , l_3 , l_4 и l_5 (рис. 3). Смещения вычисляют-

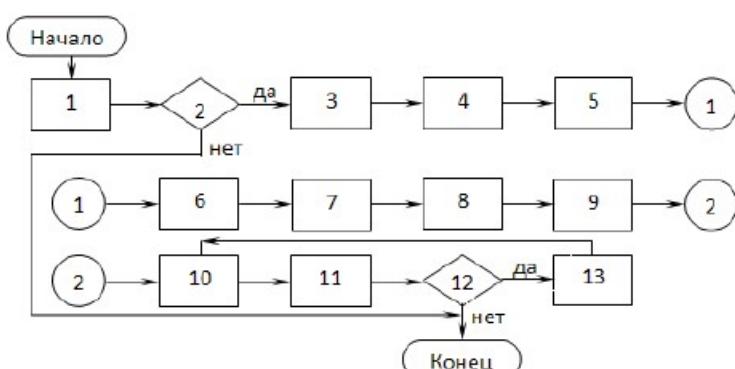


Рис.5.Алгоритм смещений фрагментов изображе-

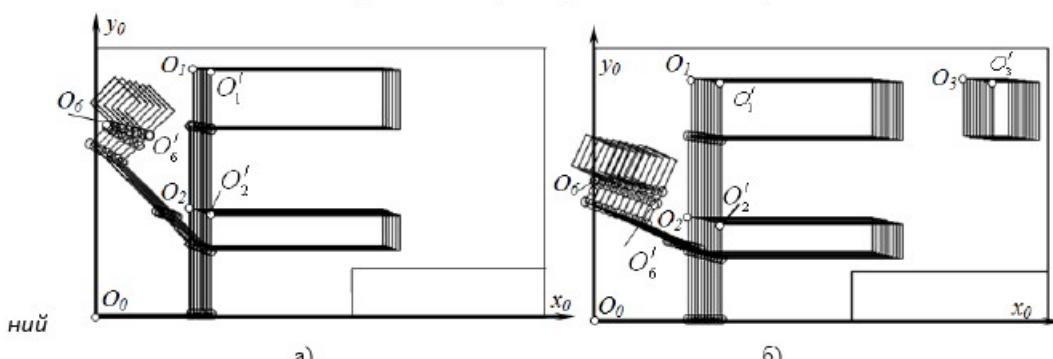


Рис.6. Итоги расчета приращений обобщенных координат, определяющих положения габаритных прямоугольников ФИ: а) синтез перемещений трех ФИ; б) синтез перемещений четырех ФИ

ся с помощью функций:

$$\begin{aligned} dis_{o2} &= f_1(\Delta q_2^{\max}), \quad dis'_{o2} = f_2(\Delta q_1^{\max}), \\ dis'_{o3} &= f_4(\Delta q_2^{\max}, \Delta q_3^{\min}), \quad (6) \\ dis_{o4} &= f_5(\Delta q_1^{\max}, \Delta q_2^{\min}, \Delta q_3^{\max}, \Delta q_4^{\max}, \Delta q_5^{\max}). \end{aligned}$$

Заметим, что значение смещения dis_{o6} вычисляется относительно системы координат O_6 . При этом смещения в направлении удаления от соответствующих прямых l_1, \dots, l_5 при расчете значений модуля $\overline{\Delta S}_{o6}^{\max}$ не учитываются. Максимальные значения количества итераций при использовании вектора $\overline{\Delta S}_{o6}^{\max}$, при которых точки O_2, O'_2, O'_3, O_6 достигают прямых l_1, \dots вычисляются как

$$\begin{aligned} n_{o2}' &= \frac{q_2'}{dis_{o2}}, \quad n_{o2}'' = \frac{q_{o2}'}{dis'_{o2}}, \quad n_{o3}' = \frac{q_{o3}'}{dis'_{o3}}, \\ n_{o6}''' &= \frac{q_{o5}'}{dis_{o6}}. \quad (7) \end{aligned}$$

Из полученных значений необходимо определить минимальные n_i^{\min} . При этом минимально допустимое значение вектора $\overline{\Delta S}_{o4}^{\max}$ с учетом погрешностей реализаций определяется в виде:

$$\Delta S_{o6}^{\min} = \frac{\Delta S_{o6}^{\max}}{n_i^{\min}}. \quad (8)$$

Блок-схема алгоритма смещения положения ФИ представлена на рис 5. Здесь: 1 – определение положения систем координат $O_1, O_2, O'_3, \dots, O_6$ (1); 2 – существует ли пересечение ФИ; 3 – определение максимального значения вектора приращений

$\overline{\Delta S}_{o4}^{\max}$ в соответствии с отрезком $O_6O'_6$; 4 – вычисление матрицы частных передаточных отношений; 5 – вычисление значений весовых коэффициентов по соотношениям (3); 6 – Δq_i^{\max} (2); 7 – $dis_{o2}, dis'_{o2} \dots (6)$; 8 – n_i^{\min} (7); 9 – ΔS_{o4}^{\min} (8); 10 – вычисление вектора $\overline{\Delta N}$; 11 – $\Delta q_{i+1} = q_i + \Delta q_i$, вычисление $M_{o,n}$ (1); 12 – определение принадлежности точек контуров видов и сечений запретным зонам; 13 – изменение значений k_i .

Таким образом, вычисляя новое положение систем координат O_1, O_2, \dots, O_6 и определяя взаимное пересечение наружных контуров видов и сечений с помощью итерационного поиска, находим такое положение, при котором точка O_6 не выступает за пределы рамки чертежа.

Эксперимент показал, что разработанное программное обеспечение, реализующее предлагаемые алгоритмы, адекватно осуществляет корректировку чертежа металлорежущего инструмента, анализируя положения ФИ и производя их перемещение.

На рис. 6 представлены результаты автоматизированного синтеза перемещений ФИ при корректировке их положения на чертеже.

Проведенные исследования подтверждают эффективность использования разработанных алгоритмов и программ при разработке чертежей МИ на основе использования трехмерных параметрических прототипов, которые могут быть использованы при создании графических баз данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Притыкин, Ф. Н. Автоматизированный способ оценки взаимного положения фрагментов изображений на чертежах металлорежущего инструмента / Ф. Н. Притыкин, Е. Е. Шмуленкова // Вестник СибАДИ. – 2011. – № 1 (19) – С. 59 – 61.
2. Шмуленкова, Е.Е. Составные структурные части системы автоматизированного проектирования для разработки чертежей резцов / Е.Е. Шмуленкова // Вестник Омского государственного аграрного университета. – 2011. – №3. – С. 93–96.
3. Притыкин, Ф. Н. Параметрические изображения объектов проектирования на основе использования языка АВТОЛИСП в среде АВТОКАД / Ф.Н. Притыкин. – Омск: ОмГТУ, 2008. – 112 с.
4. Притыкин, Ф.Н. Геометрическое моделирование процессов адаптивного управления движением мобильных и стационарных роботов в организованных средах / Ф.Н.Притыкин. – Омск: ОмГТУ, 2006. – 120 с.
5. Притыкин, Ф. Н. Методы и технологии виртуального моделирования движений адаптивных промышленных роботов с использованием средств компьютерной графики// Мехатроника, автоматизация, управление. – 2011. – № 6. – с. 34 – 41.

□ Авторы статьи:

Притыкин
Федор Николаевич,
докт. техн. наук, проф. каф.«Ин-
женерная геометрия и САПР»
(Омский гос. технический
университет),
e-mail: pritykin@mail.ru

Шмуленкова
Елена Евгеньевна,
ассистент каф. «Детали машин и
инженерная графика»
(Омский государственный
аграрный университет),
e-mail: elenashmulenkova@rambler.ru