

Кузнецов¹ Ю.Н., д-р техн.наук, Дмитриев² Д.А. канд.техн.наук, Диневич² Г.Е. доц.
1-НТУ Украины "Киевский политехнический институт" г.Киев, Украина;
2-Херсонский национальный технический университет, г.Херсон, Украина

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТОКАРНЫХ МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКОВ С МЕХАНИЗМАМИ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ

Виконані дослідження механізмів паралельної кінематики з їх застосуванням в багатоцільових токарних верстатах. Визначені методи розширення функціональних і технологічних можливостей токарних верстатів, наведений математичний опис положень кінематичних ланок, їх геометрії і швидкості руху. Виконано кінематичний аналіз формоутворюючих рухів в верстатах нових компоновок.

Researches of mechanisms with parallel kinematics of multi-purpose turning machines are executed. Methods of expansion of functional and technological possibilities of lathes are determined. The mathematical formulation of the links of kinematic system, their geometries and velocity are described. The kinematic analysis of surface-forming movements for new configurations of turning machines is realized.

Постановка проблемы. Современное машиностроение характеризуется постоянным обновлением и усовершенствованием машин и технологий их изготовления [1, 5]. Специализация станочного оборудования не полностью отвечает прогрессивным технологиям в результате многократного перебазирования деталей, когда ставятся задачи обеспечения повышенной точности позиционирования объекта обработки и технологических, в том числе, формообразующих движений исполнительного органа (ИО) станка, обеспечивающего инструментальную функцию.

Традиционные станки обычно имеют последовательную структуру. Они имеют только одну кинематическую цепь, связанную с ИО, которая и обеспечивает все степени свободы в Декартовой системе координат. Возможности улучшения характеристик точности и жесткости станков последовательной структуры ограничены, так как каждая кинематическая пара (КП) принимает и передает нагрузки во всех направлениях. Таким образом, отдельное звено кинематической цепи воспринимает и перемещает массы всех КП вдоль управляемых осей координат станка. Наличие больших подвижных масс, размерных цепей, зазоров в КП ухудшает динамику особенно у станков, имеющих значительные габаритные размеры.

Перспективным направлением проектирования многоцелевых металлообрабатывающих станков с заданной степенью свободы ИО, является использование нескольких входных звеньев, которые производят поступательное или вращательное движение на стационарной платформе и связаны с корпусом ИО замкнутыми пространственными шарнирно-стержневыми системами. Такие системы в практике станкостроения получили название механизмы параллельной структуры (МПС), а построенные на их базе станки – станки с параллельной кинематикой. Расположение звеньев механизма параллельной кинематики на неподвижной основе уменьшает величину перемещаемых масс, что способствует высоким энергетическим показателям, а передача формообразующих движений платформе, которая несет ИО станка при помощи жестких стержней, увеличивает точность позиционирования

инструмента. Для успешного развития параллельных структур в станкостроении, расширения и углубления отраслей их использования необходимо четко определить требования, которые предъявляются к этому оборудованию в металлообработке.

Цель и задачи исследования. Основной целью исследования является разработка теоретических положений, которые позволят описать движения КП замкнутых кинематических цепей, различные положения ИО многоцелевых станков относительно объекта обработки для основных видов формообразования деталей резанием – точения, сверления, фрезерования. Для достижения поставленной цели необходим углубленный анализ пространственных кинематических цепей и звеньев для решения следующих основных задач:

- выполнить сравнительный анализ компоновок существующих и вновь создаваемых станков на базе МПС с постоянной и переменной длиной входных звеньев;
- сформулировать основные проектные требования к разработке многоцелевых станков с МПС новых компоновок;
- определить алгоритмы описания кинематических характеристик замкнутых пространственных структур, которые связаны с ИО;
- создать наглядную интерактивную среду для моделирования формообразующих движений многоцелевых станков и поведения КП пространственных звеньев.

Анализ предыдущих исследований. Обобщенная схема МПС может быть представлена в виде пространственной системы (рис.1). Выходящее звено g , представляет платформу (каркас или корпус), на котором установлен ИО. Точками A, B, C, \dots, N условно обозначены кинематические пары какого-либо вида. Между основой O и выходным звеном g расположено m незамкнутых кинематических цепей, которые могут быть разветвленными или нет. Например, разветвленная кинематическая цепь 1 состоит из двух кинематических цепей, $1,1 - 1,2 - \dots - 1,(g-1)$ и $1,1' - 1,2' - \dots - 1,(g-1)$, имеющих одно общее звено $1,(g-1)$, которым они связаны в кинематической паре D с выходным звеном g . Неразветвленная незамкнутая кинематическая цепь $m, 1 - m, 2 - \dots - m,(g-1)$ связана в кинематических парах M, S с основой и выходным звеном g . Неразветвленная кинематическая цепь может иметь только одно звено, например стержень или штангу $(m-1), 1$. Эти кинематические цепи вместе с

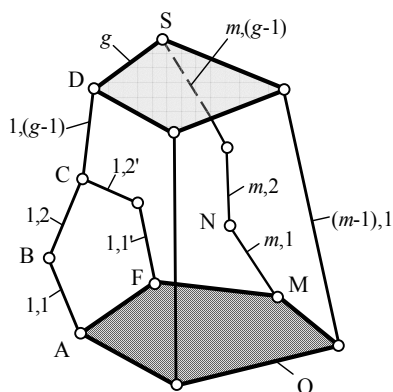


Рис.1 Обобщенная схема МПС

основой и выходным звеном создают e независимых замкнутых контуров.

Между звеньями n пространственного МПС, количеством кинематических пар p и числом независимых замкнутых контуров e , которые созданы кинематическими цепями, что соединяют основу механизма и ИО, существует зависимость

$$n + e - p = 1, \quad (1)$$

$$\text{где } n = \sum_{i=1}^m n_i - 2(m-1) - n_0;$$

n_0 – общее количество звеньев разветвленных кинематических цепей.

Первые коммерческие модели станков с параллельной кинематикой (СПК) были предложены производству фирмами Giddings&Lewis и Ingersol (США) в 1994 году на выставке IMTS'94 в Чикаго. Характерной особенностью новых компоновок СПК является совмещение шпиндельной головки с подвижной платформой, к которой прикреплены концы от трех до шести прямолинейных штанг, перемещающихся линейно, или накладывающих ограничивающие связи для вращательного движения ИО. Направление движения штанг МПС не всегда совпадает с мировой системой координат X, Y, Z. Так в станках типа Hexapod, Tripod и Tricert рабочее движение каждой штанги отдельно совпадает с собственной осью штанги, а в станках типа Linapod, Triaglide, Hexaglide второй конец каждой штанги расположен на каретке, которая перемещается вдоль ходового винта. Это условие позволяет разделить СПК на две основные группы – станки со сменной (регулируемой) и постоянной длиной штанг.

Анализ литературных источников [1-3] показывает (рис.2), что с момента первой демонстрации станков с МПС фирм Giddings&Lewis и Ingersol в мире насчитывается не более 60 моделей готовых к практическому использованию, а компоновочных схем приблизительно 25.

Для перемещений ИО штангами с регулируемой длиной применяются стандартные серводвигатели и двигатели с полым валом, а для штанг с постоянной длиной – система “серводвигатель + шариковая винтовая передача”. Традиционные перемещения ИО по осям X, Y, Z

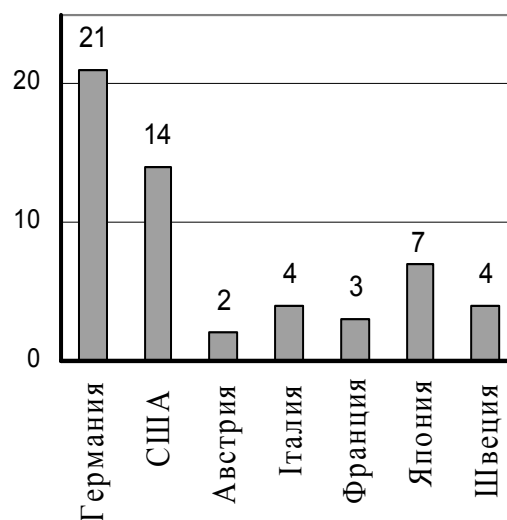


Рис.2 Распределение моделей СПК по странам-производителям

требуют от станков с параллельной кинематикой многокоординатной интерполяции, а рабочая зона имеет сложную форму. Целесообразным считается использование станков с тремя штангами для 3-координатной обработки, а станки с параллельной кинематикой типа Hexapod и Hexaglide для обеспечения 6-ти степеней свободы ИО.

Основная часть. Практический опыт показывает, что в токарных станках стремление к многофункциональности становится преимущественным. Большинство станкостроительных фирм включает в новые модели токарных станков возможность выполнять фрезерование поверхностей, в том числе сложнопрофильных, шлифование, преимущественно чистовое, сверление, зубонарезание, измерение и ряд других операций. Первый токарный станок модели V100 на основе МПС со штангами переменной длины разработан фирмой Index-Werke (рис.3) [1, 2] и представлен на

международной выставке METAV`2000. В этом станке шарнирно-стержневые МПС использованы для формообразующих движений шпиндельной бабки с токарным зажимным патроном для заготовок. Рабочее пространство станка V100 ограничено зоной 250×250×150 мм при максимальном диаметре детали 130 мм.

При обработке массивных деталей для улучшения динамических характеристик, особенно при высокоскоростной обработке, целесообразно для токарных операций сохранить жесткую неподвижную или подвижную (при необходимости) бабку, а шарнирно-стержневые МПС использовать для формообразующих движений суппорта с инструментом (или инструментальной системой), как это предложено на рис. 4 [8].



Рис.3 Токарный станок V100 на базе МПС фирмы Index-Werke

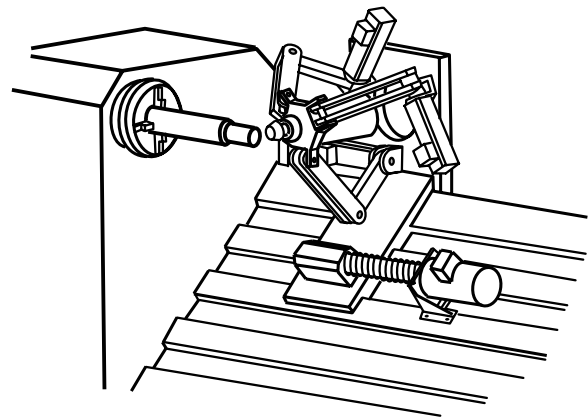


Рис. 4. Токарный станок с МПС по патенту Германии №ДЕ1994092

В случае точения длинномерных деталей необходимо увеличивать рабочее пространство. С этой целью, требуется совместить результирующую траекторию вершины инструмента с кинематическими свойствами и соединить объем движений со структурой станка. Таким образом можно задать нужную степень свободы ИО для выполнения токарным станком многофункциональных задач и разделить их между традиционной и параллельной структурами. В результате получается компоновка токарного многоцелевого станка (рис. 5), где за счет жестких кинематических связей в виде штанг постоянной длины через шарнирные соединения отдельного механизма продольной подачи с соответствующей точкой на корпусе подвижной платформы, происходит самоориентация оси револьверной головки с инструментом [7].

Для продольной подачи нижних концов каждой штанги по направляющим станка используются шариковые винтовые передачи. Короткие технологические движения с высокой динамикой могут быть реализованы при помощи параллельной структуры в сочетании с традиционной кинематикой, которая позволяет использовать всю рабочую зону.

Управление подачей и ориентацией режущего инструмента выполняется комплексно системой числового программного управления (ЧПУ) от четырех шаговых двигателей, каждый из которых задает движение отдельного механизма продольной подачи с установленными шарнирами нижних концов штанг подвижной платформы.

В результате управляемого движения нижних концов штанг происходит перемещение и вращение подвижной платформы относительно координатных осей станка X, Y, Z. Смена положения нижнего конца одной из штанг оставляет без изменений положение других штанг, хотя и вызывает смену положения в

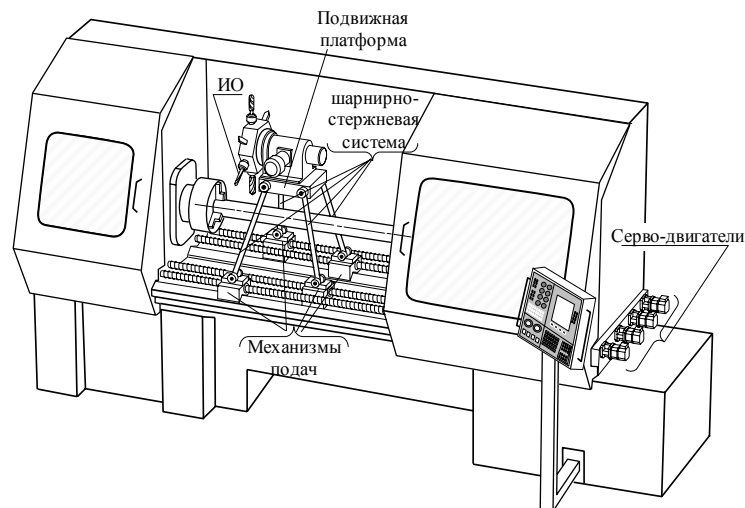


Рис.5. Многоцелевой токарный станок с МПС по патенту Украины №27808

пространстве подвижной платформы, на которой установлен инструмент. При одновременном движении нижних опор четырех штанг в какой-либо комбинации с разным значением продольной подачи и направлением происходит сложное движение

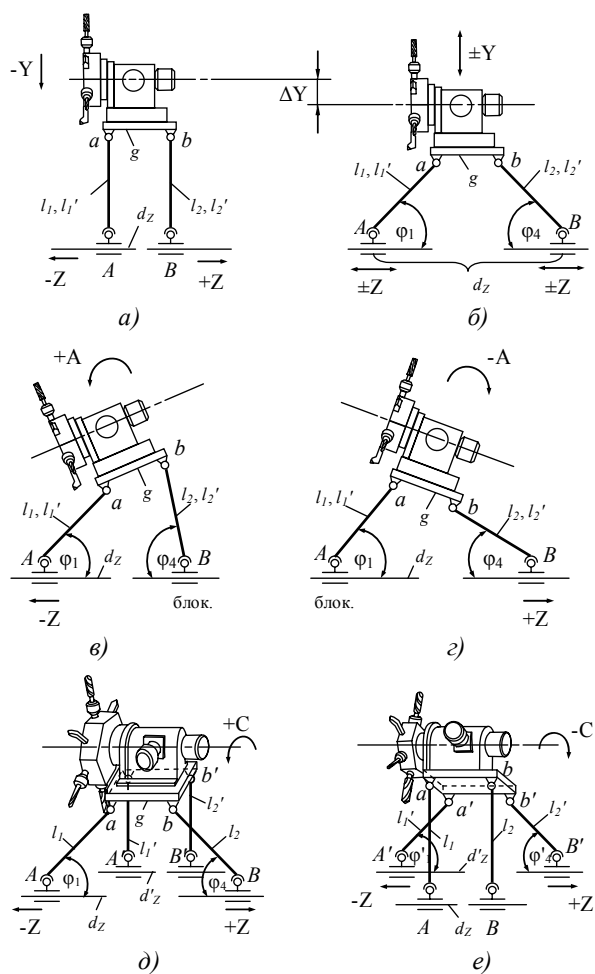


Рис. 6. Формообразующие движения инструментальной системы станка по рис.5

и ориентация инструмента за счет того, что корпус подвижной части самоустанавливается в соответствующее положение в координатном пространстве станка (рис.6). Таким образом, подвижная инструментальная платформа имеет четыре степени свободы относительно системы координат станка и управляется перемещением только по координате Z нижних концов штанг постоянной длины, шарнирно связанных с приводами подачи. Каждая штанга постоянной длины является жестким кинематическим звеном, которая управляется приводом подачи по направляющим станка и связана с корпусом подвижной платформы установленными инструментами.

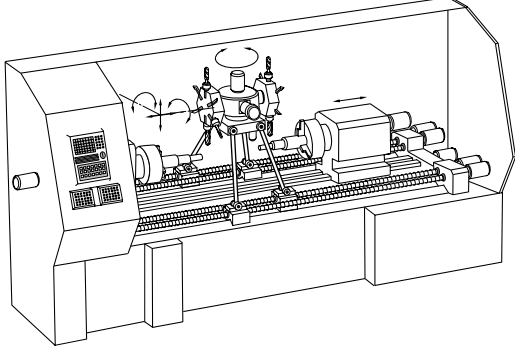
Предложенная компоновка многоцелевого токарного станка содержит МПС, состоящий из четырех управляемых и взаимосвязанных замкнутых кинематических цепей в виде четырехсторонних контуров переменной формы:

$$\begin{cases} \{A - a - b - B\} \\ \{A' - a' - b' - B'\} \\ \{A - a - a' - A'\} \\ \{B - b - b' - B'\} \end{cases}$$

В процессе манипулирования геометрическая форма каждой цепи может изменяться от прямоугольного до трапециевидного и параллелограмного вида контура. При этом в каждом контуре $\{A-a-b-B\}$, $\{A'-a'-b'-B'\}$, $\{A-a-a'-A'\}$, $\{B-b-b'-B'\}$ сохраняется принцип перемещений, используемый в механизме типа биглайд [2].

С целью расширения технологических возможностей и повышения производительности обработки возможны различные исполнения многоцелевого токарного станка на основе МПС, некоторые примеры которых представлены в табл.1.

Таблица 1

Общий вид станка (конструктивные особенности)	Технологические возможности
 <p>Станок оборудован подвижным вдоль направляющих контршпинделем соосным первому. На платформе $g=a-b-a'-b'$ (рис.6) размещен механизм поворота револьверной головки вокруг оси Y.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Последовательная обработка двух коротких деталей. ▪ Перехват заготовки контршпинделем и комплексная обработка с двух сторон одной детали. ▪ Последовательная обработка разносторонних участков длинномерных деталей.
 <p>На подвижной платформе $g=a-b-a'-b'$ (рис.6) размещены две соосные друг другу револьверные головки с поворотным механизмом.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Увеличение количества режущих инструментов. ▪ Уменьшение времени холостых ходов. ▪ Повышение производительности. ▪ Увеличение рабочей зоны.

 <p>Станок оборудован подвижными соосными передней и задней бабкой, каждая из которых оборудована шпиндельным узлом с зажимным патроном. На направляющих станка два зеркально расположенных МПС с собственной револьверной головкой.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Одновременная обработка двумя инструментами длиномерной детали. ▪ Параллельная обработка двух коротких деталей. ▪ Параллельная двухсторонняя обработка одной детали с автоматизированной переустановкой (перехват) в противоположный шпиндель станка. ▪ Быстрая наладка на обработку длиномерных деталей различной величины. ▪ Увеличение рабочей зоны.
---	---

Анализ положений КП. Кинематический и структурный анализ станков с параллельной кинематикой различных компоновок требует формализации функциональных связей между внутренними и внешними параметрами кинематических цепей.

Определимся, что линиями четырехугольного контура (рис. 6) есть штанги биглайда l_1 и l_2 , линия выходного звена (подвижная платформа) – $g=a-b$ и ось направляющих станка $d_Z=A-B$, соединенными по центрам вращающихся КП, которыми являются шарниры МПС.

Условие замкнутости и векторного контура $A - a - b - B - A$ и $A' - a' - b' - B' - A'$

$$\overline{l_1} + \overline{g} + \overline{l_2} + \overline{d_Z} = 0, \quad \overline{l'_1} + \overline{g} + \overline{l'_2} + \overline{d'_Z} = 0. \quad (2)$$

Спроецировав векторный контур на координатную ось станка Z и возведя уравнение (2) в квадрат, получим скалярное уравнение

$$\begin{aligned} l_1^2 - g^2 - l_2^2 + d_Z^2 + 2 l_1 l_2 \cos(\varphi_1 + \varphi_4) - 2 l_1 d_Z \cos \varphi_1 - 2 l_2 d_Z \cos \varphi_4 &= 0, \\ l'_1{}^2 - g^2 - l'_2{}^2 + d'_Z{}^2 + 2 l'_1 l'_2 \cos(\varphi'_1 + \varphi'_4) - 2 l'_1 d'_Z \cos \varphi'_1 - 2 l'_2 d'_Z \cos \varphi'_4 &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Условия начального положения МПС:

- известны углы φ_1 и φ_4 между штангами l_1 , l_2 и линией направляющих станка;
- известны длины штанг l_1 , l_2 и выходного звена g ;
- неизвестно расстояние между нижними концами штанг d_Z по линии направляющих станка.

Из уравнения (3) получим

$$d_Z = P \pm \sqrt{P^2 - H}, \quad (4)$$

где $P = l_1 \cos \varphi_1 + l_2 \cos \varphi_4$;

$$H = l_1^2 + l_2^2 - g^2 + 2 l_1 l_2 \cos(\varphi_1 + \varphi_4).$$

При компьютерном моделировании формообразующих движений и в задачах управления ИО по принципу обратной кинематики следует определить положения нижних концов штанг на направляющих станка [6]. В этом случае совместим центр сферы \vec{r}_S радиуса R_S , который примем равным длине соответствующей штанги $l_1, l_2 \dots l_i$, с центром каждого шарнира a, b, a', b' подвижной платформы. Тогда точка пересечения поверхности сферы $C = \{\vec{r}_S, R_S\}$ с линией, которая представлена направляющей $P_A, P_B \dots P_i$ на станине, будет положение соответствующей каретки по управляемой оси Z в системе координат станка. Расчет точек пересечения двух геометрических объектов C_1 и C_2 состоит в решении уравнения $D(C_1, C_2) = 0$. Конкретный вид его левой части зависит от компоновки станка, размеров и расположения направляющих в пространстве. В векторной форме точка пересечения для прямой P_i и поверхности сферы $C = \{\vec{r}_S, R_S\}$ определяется из выражения

$$\vec{r}^* = \vec{r}_S + (\vec{\tau}_P \times \Delta \vec{r} \times \vec{\tau}_P) \pm \sqrt{R_S^2 - (\Delta \vec{r} \times \vec{\tau}_P)^2} \vec{\tau}_P, \quad (5)$$

где \vec{r}_S, R_S – радиус-вектор положения центра и радиус сферы соответственно;
 $\vec{\tau}_P, r_P$ – точка и вектор направления прямой;
 $\Delta \vec{r} = \vec{r}_P - \vec{r}_S$.

Скалярно данная задача описывается совместным решением параметрических уравнений - линий, определяющих направление движения по направляющим станка, и сферы с центром, совмещенным с осью вращательной КП подвижной платформы с ИО

$$\begin{cases} F(t) = 0 \\ (x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2 = R^2. \end{cases} \quad (6)$$

Для компоновки токарного станка с прямолинейными направляющими выражение (6) в системе координат станка примет вид

$$\begin{cases} y_i = k \cdot z + b & (i = 1 \sim 6) \\ x_i = t \cdot z + d & (i = 1 \sim 6) \\ (x - x_{0i})^2 + (y - y_{0i})^2 + (z - z_{0i})^2 = l_i^2 & (i = 1 \sim 6). \end{cases} \quad (7)$$

Подставив правую часть уравнений прямой в уравнение поверхности сферы и раскрыв скобки, получим

$$z^2 \cdot A - z \cdot 2B + C = 0, \quad (8)$$

где $A = (1 + k^2 + t^2)$;

$$B = (z_0 + (b + y_0) \cdot k + (x_0 + d) \cdot t)$$

$$C = (z_0^2 + (b + y_0)^2 + (x_0 + d)^2 - l_i^2)$$

Окончательно, корни уравнения (8) определяют положение нижних концов штанг МПС на направляющих станка

$$d_{z_{i(1,2)}} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (9)$$

Для перехода в систему координат ИСО произведем замену аргументов z на x , и z_0 на x_0 .

Вращательные технологические движения ИО определим по методу углов Эйлера матрицей поворота системы координат подвижной платформы O',x',y',z' относительно системы координат станка O,X,Y,Z'

$$Q = \begin{pmatrix} q_{11} & q_{12} & q_{13} \\ q_{21} & q_{22} & q_{23} \\ q_{31} & q_{32} & q_{33} \end{pmatrix} \quad (10)$$

где $q_{11} = \cos\theta$; $q_{12} = -\sin\theta\cos\psi$; $q_{13} = \sin\theta\sin\psi$; $q_{21} = \sin\theta$; $q_{22} = \cos\theta\cos\psi$;
 $q_{23} = -\cos\theta\sin\psi$; $q_{31} = 0$; $q_{32} = \sin\psi$; $q_{33} = \cos\psi$;

θ, ψ – углы поворота подвижной платформы вокруг оси Z и X соответственно.

Согласно рис. 6 длина каждой штанги будет определяться дистанцией

$$\begin{aligned} Aa &= OO' + QO'a - OA \\ A'a' &= OO' + QO'a' - OA' \\ Bb &= OO' + QO'b - OB \\ B'b' &= OO' + QO'b' - OB' \\ Cc &= OO' + QO'c - OC \\ C'c' &= OO' + QO'c' - OC', \end{aligned} \quad (11)$$

или

$$l_i^2 = (x + x_i)^2 + (z + z_i - d_{zi})^2 + (y + y_i)^2 \quad (i = 1 \sim 6), \quad (12)$$

где $x_i = q_{11}x_{\{abca'b'c'\}} + q_{12}y_{\{abca'b'c'\}} + q_{13}z_{\{abca'b'c'\}} - x_{\{ABCA'B'C'\}}$;

$y_i = q_{21}x_{\{abca'b'c'\}} + q_{22}y_{\{abca'b'c'\}} + q_{23}z_{\{abca'b'c'\}} - y_{\{ABCA'B'C'\}}$;

$z_i = q_{31}x_{\{abca'b'c'\}} + q_{32}y_{\{abca'b'c'\}} + q_{33}z_{\{abca'b'c'\}} - z_{\{ABCA'B'C'\}}$.

Из выражения (12) следует

$$dz_{i(1,2)} = z + z_i \pm \sqrt{l_i - (x + x_i)^2 - (y + y_i)^2} \quad (i = 1 \sim 6) \quad (13)$$

Анализ скоростей. Анализ скоростей выполним продифференцировав уравнение (12)

$$(x + x_i)(\dot{x} + \dot{x}_i) + (z + z_i - d_{zi})(\dot{z} + \dot{z}_i - \dot{d}_{zi}) + (y + y_i)(\dot{y} + \dot{y}_i) \quad (i = 1 \sim 6). \quad (14)$$

Здесь

$$\dot{x}_i = \dot{q}_{11}x_{\{abca'b'c'\}} + \dot{q}_{12}y_{\{abca'b'c'\}} + \dot{q}_{13}z_{\{abca'b'c'\}} \quad (i = 1 \sim 6), \quad (15)$$

$$\dot{Y}_i = \dot{q}_{21}x_{\{abca'b'c'\}} + \dot{q}_{22}y_{\{abca'b'c'\}} + \dot{q}_{23}z_{\{abca'b'c'\}} \quad (i = 1\sim 6), \quad (16)$$

$$\dot{Z}_i = \dot{q}_{31}x_{\{abca'b'c'\}} + \dot{q}_{32}y_{\{abca'b'c'\}} + \dot{q}_{33}z_{\{abca'b'c'\}} \quad (i = 1\sim 6) \quad (17)$$

Являются соответственно скоростями перемещения нижних концов штанг вдоль осей координат X, Y, Z.

Коэффициенты в (15), (16), (17) соответственно будут

$$\dot{q}_{11} = -\sin\theta\dot{\theta},$$

$$\dot{q}_{12} = -\cos\theta\cos\psi\dot{\theta} + \sin\theta\sin\psi\dot{\psi},$$

$$\dot{q}_{13} = -\cos\theta\sin\psi\dot{\theta} + \sin\theta\cos\psi\dot{\psi},$$

$$\dot{q}_{21} = \cos\theta\dot{\theta},$$

$$\dot{q}_{22} = -\sin\theta\cos\psi\dot{\theta} - \cos\theta\sin\psi\dot{\psi},$$

$$\dot{q}_{23} = \sin\theta\sin\psi\dot{\theta} - \cos\theta\cos\psi\dot{\psi},$$

$$\dot{q}_{31} = 0,$$

$$\dot{q}_{32} = \cos\psi\dot{\psi},$$

$$\dot{q}_{33} = -\sin\psi\dot{\psi}.$$

Анализ полученных зависимостей показывает, что выражение (4) удобно использовать для плоских или приведенных к плоским замкнутых кинематических цепей. Векторное уравнение (5), хотя и дает точный результат положения штанг на направляющих станка, но не приспособлено для компьютеризированных сред моделирования. Методы аналитической геометрии, выраженные уравнениями (6), (7), (8) и зависимостью (9) наиболее соответствуют объектно-ориентированным условиям программирования, однако составление, а соответственно решение системы (6) напрямую зависит от компоновочной схемы МПС. Методы расчета по выражениям (10-17) требуют громоздкого алгоритма реализации, что увеличивает вероятность возникновения ошибок и размер ядра программного модуля для визуализации и анализа кинематики станков новых компоновок.

Компьютерное моделирование. С учетом вышеизложенного выполнено моделирование формообразующих движений токарных станков предложенных компоновок в программе 3d StudioMax фирмы Autodesk. Создана иерархическая трехмерная модель многоцелевого токарного станка (рис.7) с подвижной платформой шарнирно связанной шестью штангами постоянной длины с индивидуальными приводами подач на направляющих станка. Подвижная платформа, места соединения шарниров, штанги их длина и положение связаны переменными и математическими зависимостями (7-17) с помощью встроенного в 3d StudioMax языка программирования MaxScript.

Изменение положения и ориентации подвижной платформы с револьверной головкой автоматически вызывает расчет переменных и устанавливает кинематические звенья в необходимое положение или соответствующую длину штанг. Разработанный

программный модуль имеет собственный интерфейс, встраиваемый в среду 3d StudioMax, который позволяет пользователю:

- задавать траекторию движения ИО указанием нужного сплайна произвольной формы непосредственно в трехмерном пространстве моделирования;
- выполнять анализ формы и размеров рабочей зоны станка;
- производить запись анимации созданных технологических движений станка;
- получать числовые данные о длине штанг, положения опор и шарниров в системе координат станка, кратчайшие расстояния между ними, углы Эйлера каждой штанги, плоские углы между звеньями механизма;
- получать траекторию любой характерной точки на поверхности звеньев или связанной с ними, например габариты подвижной платформы механизма, следы штанг при движении ИО по заданной траектории.

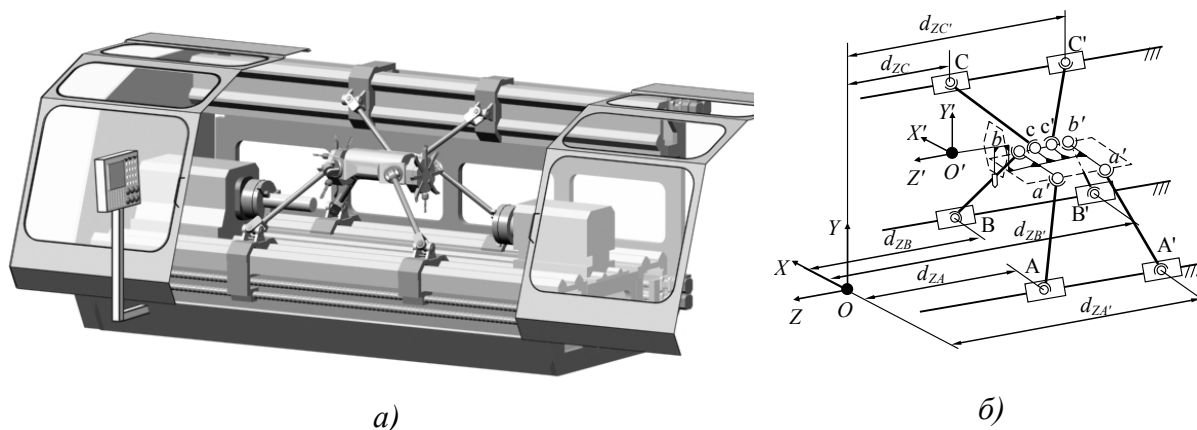


Рис.7. Токарный многоцелевой станок на базе МПС с шестью штангами постоянной длины: а) трехмерная модель; б) расчетная схема МПС.

В табл. 2 представлено исследование характера типовых движений ИО многоцелевого токарного станка, которые должны быть заложены в алгоритм работы интерполятора УЧПУ отдельными подготовительными функциями.

В частности, при точении – перемещение ИО вдоль одной или двух одновременно управляемых координат; фрезерование плоскостей по схеме "зигзаг" и "петля"; круговая интерполяция отдельно в каждой плоскости XY, XZ, YZ; фрезерование колодцев и карманов, а также способы врезания (подвод и отвод инструмента) – спираль, винтовая цилиндрическая линия, винтовая коническая линия.

Программирование и анализ моделей станков с параллельной кинематикой в среде 3d StudioMax отличается легкостью создания, доступом к свойствам трехмерных объектов, их управлением с помощью стандартных контроллеров трансформаций и преобразований Xform, Scriptcontroller, Position Expression, Path Constrain, Attachment, LookAt Constrain. Программа позволяет наблюдать за перемещениями звеньев механизма и подвижной платформы с ИО в реальном времени, записывать анимацию в видео файл, получать траектории и характер перемещений КП в виде графиков.

Таблица 2

	Типовая схема технологического перехода	Положение штанг МПС на направляющих станка
Контурное точение		<p>Положение нижних концов штанг на направляющих станка</p> <p>Длина пути движения ИО по траектории F</p>
Фрезерование ("зигзаг")		
Фрезерование ("петля")		
Круговая интерполяция		<p>Четверти окружности</p>
Круговая интерполяция в плоскости XY		<p>Четверти окружности</p>

<p>Винтовая линия ХУ</p>		
<p>Круговая интерполяция в плоскости ХZ</p>		
<p>Фрезерование по спирали</p>		
<p>Врезание по винтовой линии ХZ</p>		
<p>Врезание по конической винтовой</p>		

Выполнено тестирование разработанного программного модуля для визуализации движений многоцелевых токарных станков предложенных компоновок. Тестирование проведено для комплексной контурной и позиционной обработки ступенчатого вала (рис.8).

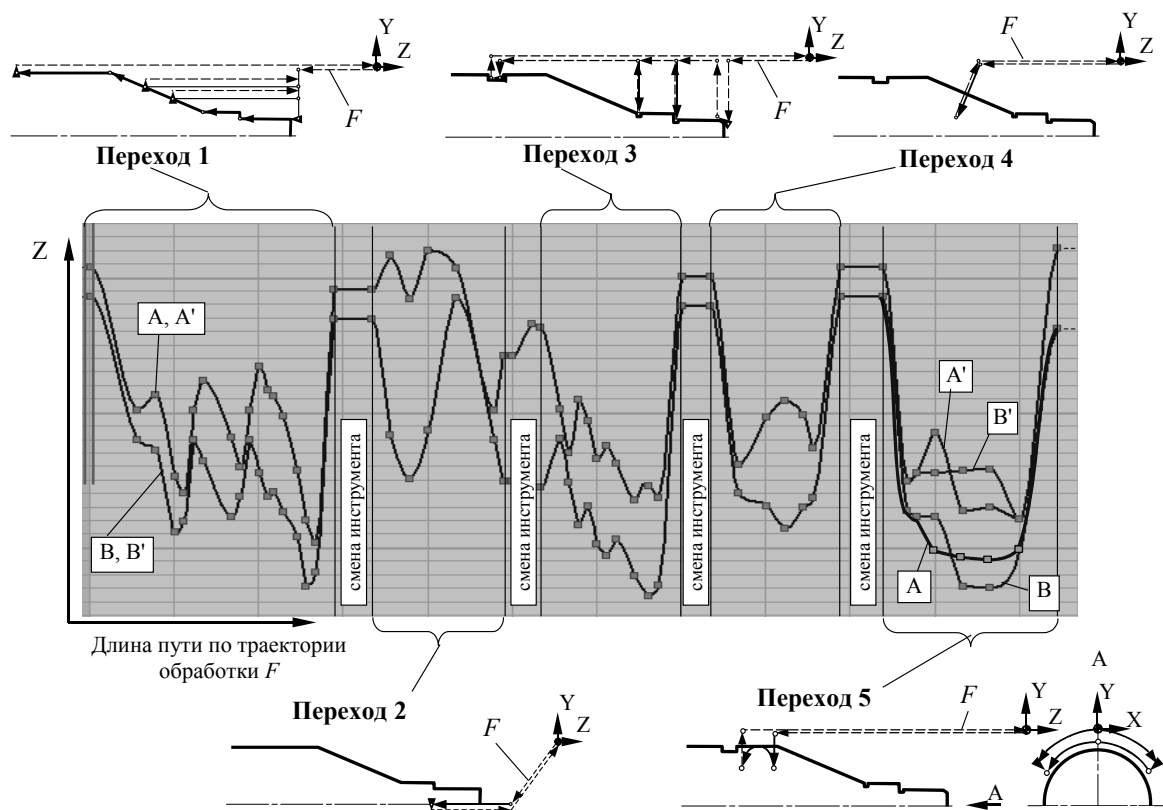


Рис.8. Относительные перемещения опор штанг А, А' и В, В' по оси Z в системе к станка при комплексной обработке ступенчатого вала по переходам:

1. точение полуоткрытой зоны по траектории "петля" с подборкой по контуру;
 2. сверление отверстия соосного с деталью (центрование);
 3. обработка фасок и канавок по траектории "спуск";
 4. сверление отверстий под произвольным углом к оси детали (шпинделя);
- движение инструмента по винтовой линии на цилиндрической поверхности детали (фрезерование)

Полученные значения приращений по координате Z каждой штанги при работе системы ЧПУ в относительных координатах показаны на рис.8.

Выводы. Проведенные исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Для увеличения рабочей зоны многоцелевых станков с параллельной кинематикой можно разделить необходимое число степеней свободы ИО между традиционной и параллельной структурами.
2. Модульный принцип построения компоновок позволяет расширить технологические возможности станков с параллельной кинематикой.
3. При построении математических моделей станков с параллельной кинематикой целесообразно использовать сочетание методов синтеза многосвязных механизмов, в частности, замкнутого векторного контура, преобразования координат, параметрических семей, формально-фактических параметров.

4. Наиболее подходящим пакетом трехмерного моделирования, анализа геометрии и кинематики новых станков с параллельной кинематикой является продукт компании Autodesk 3d StudioMax с встроенным языком программирования MaxScript.

Список литературы

1. Агрегатно-модульне технологічне обладнання: у 3-х частинах. Частина III. Агрегатно-модульне технологічне обладнання нового покоління, його оснащення та інструментальне забезпечення. Під заг.ред. Ю.М. Кузнецова. Навч. Посібник для ВНЗ. – Кіровоград, 2003. – 507с.
2. Крижанівський В.А., Кузнецов Ю.М., Валявський І.А., Склярів Р.А. Технологічне обладнання з паралельною кінематикою.- Кіровоград, 2004. - 449с.
3. Кузнецов Ю.М., Крижанівський В.А., Склярів Р.А. Сучасний стан, прогнозування і перспективи розвитку верстатів з паралельною кінематикою. Збірник наукових праць “Процеси механічної обробки в машинобудуванні”, ЖДТУ, Вип. 1, 2005. - с. 320-333.
4. Обрабатывающее оборудование нового поколения. Концепция проектирования / В.Л. Афонин, А.Ф. Крайнев, В.Е. Ковалев и др.; Под ред. В.Л. Афоина. М.: Машиностроение, 2001. – 256 с.
5. Кузнецов Ю.М. Світові тенденції і перспективи розвитку верстатобудування в Україні // Збірник наукових праць за матеріалами науково-методичної конференції "Проблеми фізико-математичної і технічної освіти і науки України в контексті євроінтеграції (Вища освіта-2006)".- К.: НПУ ім. М.П. Драгоманова, 2007. – с.45 -55.
6. Оптимальный синтез схем манипуляторов промышленных роботов / К.И. Заблонский, Н.Т. Монашко, Б.М. Щекин. – К.: Техника, 1989.- 150 с.
7. Патент України на корисну модель №27808. Токарний багатопільовий верстат. МПК В22В3/00, В22В5/00, заявл. 27.07.2007, опубл.12.11.2007, Бюл. №18.
8. Патент Германии №DE1994092/A1. МПК В23С3/04, опубл. 01.03.2001.

УДК 622.23.05

**Р.С.Яким канд.техн.наук, доц., Ю.Д.Петрина д-р техн.наук, проф.
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-
Франківськ, Україна**

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЇ СКЛАДАННЯ СЕКЦІЙ ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ НА ЇХ ЯКІСТЬ

Предложена математическая модель, которая позволяет проектировать технологический процесс сборки долота с прогнозированной точностью, что способствует снижению брака на 25% по сравнению с базовым процессом.

The mathematical model, which allows to design the technological process of rock bit assembling with the expected precision that promotes the decrease of spoilage at least 25 per cent in comparison with the basic process is offered.

Сьогодні значного розповсюдження отримав спосіб складання бурових шарошkových доліт зварюванням секцій. При цьому секції базують по площинах двохгранних кутів і складальних штифтах. Технологія дозволяє забезпечувати точність розмірних параметрів методом взаємозамінності. Однак розрахунок розмірних