

УДК 622.002.5:517:531.112

А. В. ЛОКТИОНОВ

*Витебский государственный технологический университет, Витебск, Беларусь***МАТРИЧНАЯ ФОРМА РАСЧЕТА КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА В ОБЩЕМ СЛУЧАЕ ЕГО ДВИЖЕНИЯ**

Проанализированы расчетные схемы и методика расчета кинематических параметров пространственных исполнительных механизмов режущего инструмента. Установлено, что кинематические углы резцов исполнительных механизмов в процессе резания не соответствуют геометрическим углам. Предложены аналитические зависимости для расчета кинематических углов в процессе резания, а также рекомендации по выбору конструктивных и кинематических параметров исполнительных механизмов.

Ключевые слова: режущий инструмент, исполнительный механизм, кинематический угол.

Введение. Изложенная в работах [1, 2] методика расчета необходимых кинематических характеристик исполнительного механизма, режущий инструмент которого участвует в трех переносных движениях, не обладает компактностью записи и легкостью выполнения промежуточных преобразований. Это достигается при матричном методе решения задач механики. В работе [3] даны рекомендации для определения искомых кинематических характеристик режущего инструмента исполнительного механизма матричным методом в общем случае его движения с учетом углов β_1 , β_2 установки резцов на головке рукоятки. В данной работе обсуждаются новые детали такого подхода.

Матричная форма расчета кинематических параметров исполнительного механизма. Рассмотрим исполнительный механизм (рисунок 1), участвующего в трех переносных движениях: двух вращательных и одном прямолинейном поступательном. Введем систему координат XYZ , начало которой расположено в точке O на оси центральной цапфы. Эта система координат сохраняет ориентацию осей и положение начала отсчета в пространстве при любых перемещениях исполнительного механизма. Введем подвижные системы координат $X_1Y_1Z_1$, $X_2Y_2Z_2$, $X_3Y_3Z_3$ (см. рисунок 1), начало которых находится в точке O . Исполнительный механизм перемещается вдоль оси OX со скоростью \vec{v}_n , которая на рисунке не показана.

Для расчета кинематических углов резца (в точке M) в процессе резания [4] найдем проекции вектора абсолютной скорости точки на оси $X_5Y_5Z_5$, параллельные осям симметрии резца. При этом ось Z_5 направлена вдоль оси резца; ось Y_5 – перпендикулярно оси Z_5 в плоскости симметрии резца; ось X_5 – перпендикулярно плоскости симметрии резца. При расчете учитываются угол установки резцов β_1 и тангенциальное их размещение на корпусе головки исполнительного механизма (угол β_2).

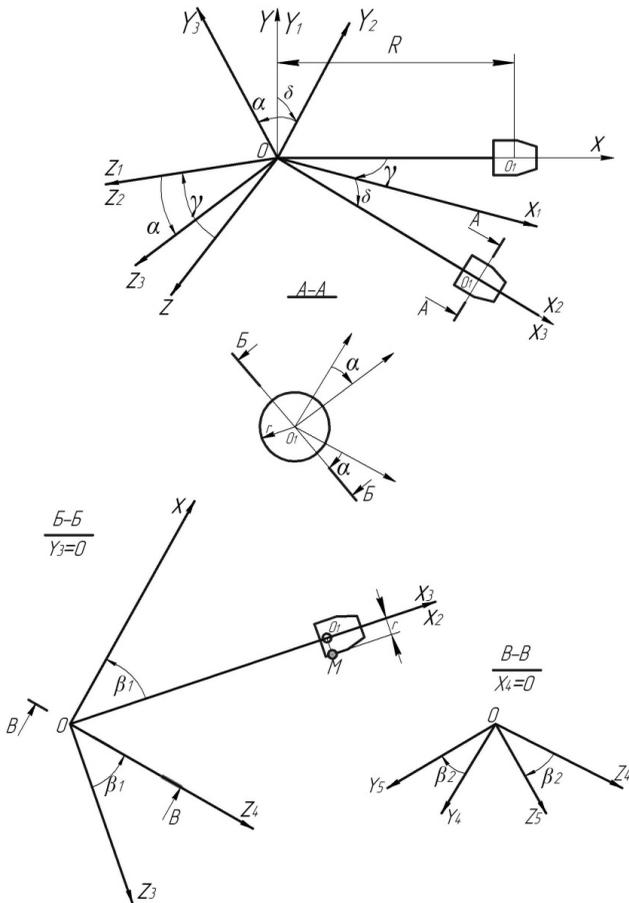


Рисунок 1 – Расчетная схема для определения кинематических параметров исполнительного механизма в общем случае его движения

На рисунке 1 головка с резами установлена на рукояти и вращается относительно продольной ее оси с угловой скоростью $\dot{\alpha} = \omega_2$. Для иллюстрации поворота головки на угол α на рисунке 1 в сечении $A-A$ показаны без названия схематично оси, имеющие начало в точке O_1 , причем они остаются параллельными осям систем $X_2Y_2Z_2$ и $X_3Y_3Z_3$. Рукоять перемещается с угловыми скоростями $\dot{\gamma} = \omega_1$ и $\dot{\delta} = \omega_3$. Исходными параметрами для расчета являются координаты точки M в подвижной системе координат $X_3Y_3Z_3$, равные $R, 0, r$, углы β_1 и β_2 , углы поворотов γ, δ, α механизма и соответствующие им угловые скорости $\dot{\gamma} = \omega_1, \dot{\alpha} = \omega_2, \dot{\delta} = \omega_3$.

По рисунку 1 оси $X_1Y_1Z_1$, $X_2Y_2Z_2$, $X_3Y_3Z_3$, $X_4Y_4Z_4$, $X_5Y_5Z_5$ составляют соответственно с осями XYZ , $X_1Y_1Z_1$, $X_2Y_2Z_2$, $X_3Y_3Z_3$, $X_4Y_4Z_4$ углы, косинусы которых определяются по рисунку 1 и образуют матрицы A_γ , A_δ , A_α , A_{β_1} , A_{β_2} .

Формулы преобразования координат точек при переходе к новому базису можно представить как произведение матриц в виде

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = A_\gamma A_\delta A_\alpha A_{\beta_1} A_{\beta_2} \begin{pmatrix} X_5 \\ Y_5 \\ Z_5 \end{pmatrix}.$$

Вектор скорости точки M в системе XYZ без учета скорости v_n определится дифференцированием текущих координат X , Y , Z

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \frac{dA_\gamma}{d\gamma} A_\delta A_\alpha A_{\beta_1} A_{\beta_2} \dot{\gamma} + A_\gamma \frac{dA_\delta}{d\delta} A_\alpha A_{\beta_1} A_{\beta_2} \dot{\delta} + A_\gamma A_\delta \frac{dA_\alpha}{d\alpha} A_{\beta_1} A_{\beta_2} \dot{\alpha} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} X_5 \\ Y_5 \\ Z_5 \end{pmatrix}. \quad (1)$$

Вектор скорости точки M в системе $X_5Y_5Z_5$

$$\vec{v}_5 = \begin{pmatrix} \dot{X}_5 \\ \dot{Y}_5 \\ \dot{Z}_5 \end{pmatrix} = A' \begin{pmatrix} \dot{X} \\ \dot{Y} \\ \dot{Z} \end{pmatrix} = A' \vec{v}, \quad (2)$$

где $A' = A'_{\beta_2} A'_{\beta_1} A'_\alpha A'_\delta A'_\gamma$ – транспонированная матрица, равная произведению транспонированных матриц-множителей, взятых в обратном порядке.

Векторы \vec{v} и \vec{v}_5 в равенствах (1) и (2) представляют разложение одного и того же вектора \vec{v} по разным базисам систем координат XYZ и $X_5Y_5Z_5$. С учетом (1) равенство (2) представим в виде

$$\vec{v}_5 = A'_{\beta_2} A'_{\beta_1} A'_\alpha A'_\delta A'_\gamma \left(\frac{dA_\gamma}{d\gamma} A_\delta A_\alpha A_{\beta_1} A_{\beta_2} \dot{\gamma} + A_\gamma \frac{dA_\delta}{d\delta} A_\alpha A_{\beta_1} A_{\beta_2} \dot{\delta} + A_\gamma A_\delta \frac{dA_\alpha}{d\alpha} A_{\beta_1} A_{\beta_2} \dot{\alpha} \right) \begin{pmatrix} X_5 \\ Y_5 \\ Z_5 \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Здесь координаты X_5 , Y_5 , Z_5 точки M в системе $X_5Y_5Z_5$ определяются с использованием исходных параметров R , 0 , r (см. рисунок 1) из выражений

$$\begin{aligned} X_5 &= R \cos \beta_1 - r \sin \beta_1; \\ Y_5 &= -R \sin \beta_1 \sin \beta_2 - r \cos \beta_1 \cos \beta_2; \\ Z_5 &= R \sin \beta_1 \cos \beta_2 + r \cos \beta_1 \cos \beta_2. \end{aligned} \quad (4)$$

С учетом скорости подачи v_n механизма, равенство (3) принимает вид

$$\bar{v}_5^n = \bar{v}_5 + A'_{\beta_2} A'_{\beta_1} A'_\alpha A'_\delta A' \begin{pmatrix} V_n \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Из равенства (5), используя (3) и (4), определяются проекции вектора абсолютной скорости точки M на оси координат $X_5 Y_5 Z_5$

$$\begin{aligned} \dot{X}_5 = & -r\omega_1 \cos \alpha \cos \delta (\cos \beta_1 + \frac{R}{r} \sin \beta_1) + r\omega_3 \sin \alpha (\cos \beta_1 + \frac{R}{r} \sin \beta_1) + \\ & + v_n (\cos \gamma \cos \delta \cos \beta_2 + \cos \gamma \sin \beta_1 \sin \alpha \sin \delta + \sin \gamma \sin \beta_1 \cos \alpha); \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \dot{Y}_5 = & r\omega_1 [\cos \alpha \cos \delta \sin \beta_2 (\sin \delta_1 - \frac{R}{r} \cos \beta_1) - \cos \beta_2 (\sin \delta + \frac{R}{r} \sin \alpha \cos \delta)] + \\ & + r\omega_2 \cos \beta_2 - r\omega_3 [\sin \alpha \sin \beta_2 (\sin \beta_1 - \frac{R}{r} \cos \beta_1) - \frac{R}{r} \cos \alpha \cos \beta_2] + \\ & + v_n [\cos \beta_1 \sin \beta_2 (\cos \gamma \sin \delta \sin \alpha + \cos \alpha \sin \gamma) + \\ & + \cos \beta_2 (\cos \gamma \sin \delta \cos \alpha - \sin \alpha \sin \lambda) - \cos \gamma \sin \beta_2 \sin \beta_1 \cos \delta]; \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \dot{Z}_5 = & r\omega_1 [\cos \alpha \cos \delta \cos \beta_2 (\frac{R}{r} \cos \beta_1 - \sin \beta_1) - \sin \beta_2 (\frac{R}{r} \sin \alpha \cos \delta + \sin \delta)] + \\ & + r\omega_2 \sin \beta_2 + r\omega_3 [\sin \alpha \cos \beta_2 (\sin \beta_1 - \frac{R}{r} \cos \beta_1) - \frac{R}{r} \cos \alpha \sin \beta_2] + \\ & + v_n [-\cos \beta_1 \cos \beta_1 (\cos \gamma \sin \delta \sin \alpha + \sin \gamma \cos \alpha) + \\ & + \sin \beta_2 (\cos \gamma \sin \delta \cos \alpha - \sin \gamma \sin \alpha) + \cos \gamma \cos \delta \cos \beta_2 \sin \beta_1]. \end{aligned} \quad (8)$$

Рассмотрим второй вариант получения формул (6)–(8). Расчетная схема здесь не проводится. Используя рисунок 1, ее можно получить следующим образом. Осуществляя, как на рисунке 1, поворот системы XYZ вокруг осей Y , Z_1 и X_2 соответственно на углы γ , δ , α , получим систему $X_3 Y_3 Z_3$. В отличие от схемы по рисунку 1, перенесем систему $X_3 Y_3 Z_3$ в точку O_1 . Полученную систему $X_4 Y_4 Z_4$ с началом в точке O_1 , оси которой параллельны осям системы $X_3 Y_3 Z_3$, повернем на углы β_1 и β_2 . Получим системы координат $X_5 Y_5 Z_5$ (поворот на угол β_1) и $X_6 Y_6 Z_6$ (поворот на угол β_2) с началом в точке O_1 . Они параллельны осям $X_4 Y_4 Z_4$ и $X_3 Y_3 Z_3$ по рисунку 1, но имеют свое начало в точки O_1 . При такой расчетной схеме исходные формулы имеют вид

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = A_\gamma A_\delta A_\alpha \begin{pmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_4 \\ Y_4 \\ Z_4 \end{pmatrix}; \quad \begin{pmatrix} X_4 \\ Y_4 \\ Z_4 \end{pmatrix} = A_{\beta_1} A_{\beta_2} \begin{pmatrix} X_6 \\ Y_6 \\ Z_6 \end{pmatrix}.$$

Тогда координаты любой точки в системе XYZ выражаются через координаты этой точки в системе $X_6Y_6Z_6$ следующим образом:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = A_\gamma A_\delta A_\alpha \begin{pmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + A_\gamma A_\delta A_\alpha A_{\beta_1} A_{\beta_2} \begin{pmatrix} X_6 \\ Y_6 \\ Z_6 \end{pmatrix}.$$

Координаты точки M в системе $X_6Y_6Z_6$ определяются с использованием исходных параметров R и r из выражений

$$X_6 = -r \sin \beta_1; \quad Y_6 = -r \cos \beta_1 \sin \beta_2; \quad Z_6 = r \cos \beta_1 \cos \beta_2.$$

При второй расчетной схеме скорость точки M в системе $X_6Y_6Z_6$ определяется из выражения

$$v_6 = (B\omega_1 + C\omega_3 + D\omega_2) \begin{pmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + (E\omega_1 + F\omega_3 + K\omega_2) \begin{pmatrix} X_6 \\ Y_6 \\ Z_6 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Здесь

$$B = A' \frac{dA_\gamma}{d\gamma} A_\delta A_\alpha; \quad C = A' A_\gamma \frac{dA_\delta}{d\delta} A_\alpha; \quad D = A' A_\gamma A_\delta \frac{dA_\alpha}{d\alpha};$$

$$E = A' \frac{dA_\alpha}{d\alpha} A_\delta A_\alpha A_{\beta_1} A_{\beta_2}; \quad F = A' A_\gamma \frac{dA_\delta}{d\delta} A_\alpha A_{\beta_1} A_{\beta_2}; \quad K = A' A_\gamma A_\delta \frac{dA_\alpha}{d\alpha} A_{\beta_1} A_{\beta_2}.$$

где A' – транспонированная матрица, входящая в формулу (2).

Искомые расчетные формулы, определяемые из равенства (9), аналогичны выражениям, получаемым из выражения (3). Они отличаются тем, что проекции вектора абсолютной скорости точки M определены в различных системах координат. В первом варианте – для осей системы координат $X_5Y_5Z_5$, во втором – $X_6Y_6Z_6$. При этом оси обеих систем координат параллельны осям симметрии реза (точка M).

Во втором варианте скорость подачи исполнительного механизма вдоль оси OX учитывается для равенства (9) аналогичным дополнительным выражением, как и в формуле (5). С учетом \vec{v}_n получены расчетные формулы, которые полностью совпадают с равенствами (6)–(8).

Для получения искомых расчетных формул (6)–(8) можно использовать оба варианта. По трудоемкости выполнения преобразования они не отличаются между собой. Однако лучше использовать основной вариант (рисунок 1), который не требует переноса координатных осей. Второй вариант получения расчетных формул для определения искомых кинематических характеристик является проверочным.

Рассмотренная матричная форма метода расчета кинематических параметров режущего инструмента помимо компактности ее математической записи и наглядности расчетной схемы дает сравнительно простой способ оп-

ределения кинематических параметров существующих и вновь проектируемых исполнительных механизмов, создает предпосылки для более глубокого исследования и научного обоснования их кинематических и конструктивных параметров.

Матричная форма аналитического определения кинематических величин, входящих в расчетные формулы, представляет определенный интерес. Высокая содержательность блоков, универсальность, стандартность, гибкость, легкая обозримость расчета, хорошая приспособленность к программированию и непосредственному выполнению вычислительных операций на компьютере – все это делает аппарат матриц весьма желательным в инженерных расчетах.

Следует отметить, что возможна и третья расчетная схема для определения кинематических характеристик рассматриваемого исполнительного механизма по рисунку 1. При этом перенос системы $X_3Y_3Z_3$ осуществляется не в точку O_1 , а в точку M . Две исходные формулы такие же, как и во втором варианте, а третья имеет вид

$$\begin{pmatrix} X_3 \\ Y_3 \\ Z_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R \\ 0 \\ r \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} X_4 \\ Y_4 \\ Z_4 \end{pmatrix}.$$

В соответствии с исходными формулами координаты любой точки в системе XYZ в рассматриваемом случае выражаются через координаты этой точки в системе $X_6Y_6Z_6$ следующим образом:

$$\begin{pmatrix} X \\ Y \\ Z \end{pmatrix} = A_\gamma A_\delta A_\alpha \begin{pmatrix} R \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + A_\gamma A_\delta A_\alpha A_{\beta_1} A_{\beta_2} \begin{pmatrix} X_6 \\ Y_6 \\ Z_6 \end{pmatrix}.$$

Дальнейшая методика расчета аналогична двум рассмотренным выше вариантам, здесь $X_6 = Y_6 = Z_6 = 0$. Окончательные расчеты формулы имеют вид (6)–(8).

Следует отметить, что в последнем варианте можно перенести систему $X_3Y_3Z_3$ первоначально в точку O_1 , а затем полученную систему перенести в точку M . При этом, как показали расчеты, изменяются промежуточные выражения, а окончательные расчетные формулы имеют вид (6)–(8).

Кроме того, в первом основном варианте можно определить скорость точки M в проекциях на оси координат $X_3Y_3Z_3$, а затем для определения $\dot{X}_5, \dot{Y}_5, \dot{Z}_5$ воспользоваться равенством

$$\begin{pmatrix} \dot{X}_5 \\ \dot{Y}_5 \\ \dot{Z}_5 \end{pmatrix} = A'_{\beta_2} A'_{\beta_1} \begin{pmatrix} \dot{X}_3 \\ \dot{Y}_3 \\ \dot{Z}_3 \end{pmatrix}.$$

С учетом скорости подачи \bar{v}_n расчетные формулы имеют вид (6)–(8).

Проанализируем полученные расчетные формулы (6)–(8) для определения кинематических углов резцов исполнительного механизма машин ПК-3Р и ГПКС, выпускаемых серийно Копейским машиностроительным заводом и используемых в горнодобывающей и горно-химической промышленности при разработке полезных ископаемых, добыче солей, проведении выработок и прокладке туннелей.

Для определения кинематических углов резца в процессе резания достаточно знать отдельные составляющие вектора абсолютной скорости, определяемые равенствами (6)–(8), от которых зависят необходимые углы заточки резцов. Боковой и задний углы заточки резца следует применительно к рисунку 1 определять по формулам $\operatorname{tg} \varphi = \dot{X}_5 / \dot{Y}_5$, $\operatorname{tg} \tau = \dot{Z}_5 / \dot{Y}_5$ [5].

Для определения угла φ необходимо знать \dot{X}_5 и \dot{Y}_5 , а для угла τ – \dot{Y}_5 , \dot{Z}_5 . Если углы заточки резцов меньше углов φ и τ , происходит соприкосновение граней резца с разрушаемым массивом. Кинематический угол ξ для передней грани определяется из равенства $\operatorname{tg} \left(\frac{\xi}{2} \right) = \dot{X}_5 / \dot{Z}_5$.

Расчетная схема исполнительного механизма для ПК-3Р и ГПКС соответствует рисунку 1. Вычисления приведены для случая $\gamma = \delta = \alpha = 0^\circ$, $\omega_3 = 0$, $v_n = 0$. Для ПК-3Р приняты $\omega_1 = 0,062 \text{ с}^{-1}$, $\omega_2 = 11,827 \text{ с}^{-1}$, для ГПКС – $\omega_1 = 0,055 \text{ с}^{-1}$, $\omega_2 = 5,5 \text{ с}^{-1}$. Расчетные параметры соответствуют технической характеристике ПК-3Р и ГПКС.

Тогда формулы для определения углов φ , τ , $\xi/2$ в рассматриваемом случае будут иметь вид

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{\frac{R}{r} \sin \beta_1 + \cos \beta_1}{\left(\sin \beta_1 - \frac{R}{r} \cos \beta_1 \right) \sin \beta_2 + \frac{\omega_2}{\omega_1} \cos \beta_2}; \quad (10)$$

$$\tau = \operatorname{arctg} \frac{\left(\frac{R}{r} \cos \beta_1 - \sin \beta_1 \right) \cos \beta_2 + \frac{\omega_2}{\omega_1} \sin \beta_2}{\left(\sin \beta_1 - \frac{R}{r} \cos \beta_1 \right) \sin \beta_2 + \frac{\omega_2}{\omega_1} \cos \beta_2}; \quad (11)$$

$$\xi/2 = \operatorname{arctg} \frac{\frac{R}{r} \sin \beta_1 + \cos \beta_1}{\left(\frac{R}{r} \cos \beta_1 - \sin \beta_1 \right) \cos \beta_2 + \frac{\omega_2}{\omega_1} \sin \beta_2}. \quad (12)$$

Конструктивные параметры исполнительного механизма, входящие в формулы (10)–(12), приняты согласно рабочим чертежам ПК-3Р и ГПКС. Результаты расчета приведены в таблицах 1 и 2. Геометрические углы резцов РКС-1 и И-90 в статике, используемых на машинах ПК-3Р и ГПКС, должны соответствовать требуемым углам заточки резца, приведенным в таблицах 1 и 2.

Таблица 1 – Кинематические углы резцов механизма ПК-3Р

Угол		Порядковый номер резца исполнительного механизма ПК-3Р											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	23	24
φ	β ₂ =0	7°32'	6°28'	5°19'	4°31'	3°49'	3°20'	2°55'	2°30'	2°10'	1°51'	0°47'	0°46'
	β ₂ ≠0	10°20'	8°52'	7°19'	6°14'	5°15'	4°37'	4°01'	3°28'	2°59'	2°33'	1°08'	1°08'
τ	β ₂ ≠0	42°47'	42°50'	42°56'	42°57'	42°59'	43°00'	43°00'	43°03'	43°09'	43°10'	44°03'	45°00'
ξ/2	β ₂ ≠0	9°52'	8°29'	6°58'	5°55'	5°00'	4°20'	3°49'	3°17'	2°50'	2°25'	0°59'	0°57'

Таблица 2 – Кинематические углы резцов механизма ГПКС

Угол		Порядковый номер резца исполнительного механизма ГПКС											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	32	33
φ	β ₂ =0	14°55'	11°58'	10°25'	9°06'	7°51'	6°35'	6°08'	5°21'	4°43'	4°09'	1°32'	0°34'
	β ₂ ≠0	20°58'	17°32'	14°52'	13°03'	11°19'	9°59'	8°52'	7°44'	6°49'	6°01'	2°20'	0°52'
τ	β ₂ ≠0	46°03'	46°15'	46°20'	46°27'	46°30'	46°30'	46°30'	46°30'	46°30'	46°30'	49°00'	49°20'
ξ/2	β ₂ ≠0	20°27'	16°59'	14°22'	12°33'	10°51'	9°33'	8°28'	7°24'	6°32'	5°44'	1°56'	0°45'

При использовании радиальных резцов типа И-90 на головке исполнительного механизма ПК-3Р (β₂ = 0°) необходимо учитывать следующее. Чтобы полностью исключить трение боковых и задних граней о разрушаемый массив и обеспечить угол между вектором абсолютной скорости резца и его гранями (указанными в таблицах 1 и 2), расчетные данные необходимо увеличить на 2–3°.

Резцы И-90 при β₂ = 0° (№ 1–6, таблица 1) механизма ПК-3Р будут контактировать боковыми гранями с разрушаемой поверхностью (их боковой угол в статике равен 4°). Для ПК-3Р следует использовать резцы, боковые углы которых соответствуют кинематическим углам в процессе резания, или изменить их размещение на головке.

Резцы с круглым стержнем РКС-1 при β₂ ≠ 0 (№ 1–10, таблицы 1, 2) механизмов ПК-3Р и ГПКС в процессе обработки массива изнашивались по контуру. Износ особенно интенсивен, если резец не вращается в державке. Кинематические углы τ и ξ/2 (таблицы 1, 2) соответствуют геометрическим углам резца РКС-1 в статике. Следовательно, полученные расчетные формулы (10)–(12) позволяют разработать практические рекомендации с целью обеспечения эффективной работы исполнительных механизмов типа ПК-3Р и ГПКС. Равенства (6)–(8) можно использовать для оценки технических возможностей аналогичных исполнительных механизмов [6–8] при изменении различных параметров, входящих в данные равенства.

Выводы.

1 Изложена методика расчета кинематических параметров оснащенного режущим инструментом пространственного исполнительного механизма в общем случае его движения. Проанализированы расчетные схемы и установлено, что кинематические углы резцов исполнительных механизмов ПК-ЗР и ГПКС в процессе резания не соответствуют геометрическим углам режущего инструмента.

2 Предложены расчетные формулы и аналитические зависимости для расчета кинематических углов резцов в процессе резания и исходные конструктивные и кинематические параметры исполнительных механизмов для их расчета.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Солод, В. И.** Кинематические параметры корончатого исполнительного органа горной машины / В. И. Солод, А. В. Локтионов, З. А. Бугринова // Известия вузов. Горный журнал. – 1978. – № 9. – С. 71–73.

2 **Локтионов, А. В.** Кинематический анализ режущего инструмента исполнительных органов горных машин / А. В. Локтионов // Известия вузов. Горный журнал. – 1979. – № 3. – С. 82–86.

3 **Локтионов, А. В.** К матричной записи кинематических параметров режущего инструмента горных машин / А. В. Локтионов // Известия вузов. Машиностроение. – 1979. – № 7. – С. 138–141.

4 **Грановский, Г. И.** Кинематика резания / Г. И. Грановский. – М. : Машгиз, 1947. – 200 с.

5 **Локтионов, А. В.** Расчет кинематических параметров при сферическом движении исполнительного механизма / А. В. Локтионов // Теоретическая и прикладная механика. – 2016. – Вып. 31. – С. 323–329.

6 **Локтионов, А. В.** Аналитическое исследование влияния угла установки резцов на энергетические показатели работы проходческого комбайна / А. В. Локтионов // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 1978. – № 4. – С. 61–64.

7 **Локтионов, А. В.** Расчет и эффективность исполнительных органов проходческих комбайнов / А. В. Локтионов, В. Б. Богданов, Б. И. Яцков. – Минск : Университетское, 1995. – 170 с.

8 **Локтионов, А. В.** Теория расчета кинематических параметров режущего инструмента пространственных исполнительных механизмов / А. В. Локтионов // Механика. Исследования и инновации. – 2016. – Вып. 9. – С. 85–91.

A. V. LOKTIONOV

Vitebsk State Technological University, Vitebsk, Belarus

THE MATRIX FORM OF KINEMATIC PARAMETERS CALCULATION OF THE ACTUATING MECHANISM IN GENERAL CASE OF HIS MOVEMENT

There were analyzed the design scheme and method of calculating the kinematic parameters of the cutting tool spatial actuators. It is found that the kinematic angles of the actuation mechanisms' cutters do not correspond to the geometric corners at cutting process. There were suggested the analytical dependences for the kinematic angles' calculation for the cutting process and the recommendations for selecting the structural and kinematic parameters of the actuators.

Получено 12.09.2017