

О. А. Ерзин

ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ПЕРЕДНИМ УГЛОМ РЕЖУЩЕГО КЛИНА НА ОПЕРАЦИЯХ ОТРЕЗКИ

Аннотация. Рассмотрена математическая модель процесса управления передним углом режущего клина на токарных операциях отрезки, проведен синтез системы управления, обеспечивающий требуемые показатели качества ее реакции на периодические процессы образования и схлопывания поверхностей сдвига при стружкообразовании. На основании проведенных исследований подтверждена возможность и перспективность создания «интеллектуального» инструмента, использующего управление передним углом его режущего клина в зависимости от условий резания. Предложенный подход к созданию «интеллектуальных» инструментов для выполнения операций токарной обработки носит инновационный характер и позволит повысить эффективность выполнения работ в широком диапазоне изменения условий резания.

Ключевые слова: математическая модель, поворотная режущая головка, передний угол, момент поворота, синтез.

Для цитирования: Ерзин, О. А. Техническое обеспечение управления передним углом режущего клина на операциях отрезки / О. А. Ерзин // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1. – С. 205–211. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_1_205.

Одно из перспективных направлений совершенствования технологического оборудования, в частности для обработки резанием, связано с увеличением числа управляемых координат. Это в большей степени обусловлено стремлением к расширению технологических возможностей с точки зрения формообразования. Известные попытки управления условиями резания, в частности путем изменения кинематических углов режущего клина, определили тенденцию создания «интеллектуального» инструмента [1–4]. Это направление, несмотря на первое упоминание в 2001 г. [1], к сожалению, до сих пор не получило должного теоретического обоснования и практической проработки. В то же время известны работы, например, по лазерной обработке, где наряду с типовыми осями координатных перемещений введены «электронные оси» управления параметрами лазерного воздействия [5, 6].

Анализ конструкторского решения проходного резца [3, 4] и проблем управления его передним кинематическим углом [7] подтвердил техническую реализуемость предложенного подхода в условиях нелинейной взаимосвязи параметров процесса резания. Сложность его реализации усугубляется нестационарностью, оказывающей отрицательное влияние практически на все технологические показатели операций, например, отрезки [8].

Предложено оригинальное техническое решение «интеллектуального» инструмента для управления процессом резания по переднему углу режущего клина на операциях отрезки. Оно основано на принципе саморегулирования, реализуемом упругим элементом, увеличивающим значение угла при возрастании сил резания [9].

Для целей более широкого исследования перспектив построения систем управления передним углом режущего клина на операциях отрезки, обеспечивающих желаемые динамические характеристики, механическое звено саморегулирования в [9] заменено электрическим каналом управления аналогично [3]. Как и в рассмотренном ранее подходе к синтезу [7], резец представлен состоящим из конструктивно выделенного элемента резца – поворотного сектора, рычага, линейного двигателя (или двигателя с ШВП) и преобразователя – усилителя мощности. Угол поворота сектора вокруг режущей кромки определяет передний угол режущего клина инструмента.

Линеаризованная математическая модель такой системы управления характеризуется теми же координатами состояния: γ – угол поворота сектора; $\dot{\gamma}$ – скорость поворота сектора; x – величина перемещения штока двигателя; \dot{x} – скорость штока двигателя; I_d – ток якоря двигателя; e_n – выходное напряжение преобразователя [7]. Она отличается от рассмотренной в [7] системы управления только значениями параметров: R_s, L_r – радиус и длина рычага сектора; J_s, C_s, h_s – момент инерции, жесткость и коэффициент вязкого трения сектора; m_{np}, C_d, h_d – приведенная масса, жесткость и коэффициент вязкого трения привода;

L_d, R_d, C_e, C_m – индуктивность, активное сопротивление, электрическая и механическая постоянные двигателя; K_n, τ, U_s – коэффициент преобразования, постоянная времени и входное напряжение преобразователя системы управления; D_m – коэффициент линеаризации зависимости момента разворота сектора вокруг режущей кромки под действием сил резания от переднего угла.

Для обеспечения ее технической реализуемости устройства на основании статических расчетов и разработанной методики параметризации [7] обоснованы конкретные значения конструктивных характеристик узлов и параметров элементов системы. В частности, в державке сечением 25×25 мм конструктивно выделен сектор радиусом $R_s = 20$ мм, меньшей высоты державки [9]. Это обеспечивает расчетную прочность инструмента в направлении действия равнодействующей сил резания. Центральный угол сектора 60° и длина рычага $L_r = 10$ мм обеспечивают изменение угла поворота сектора до 15° , перекрывающего практически весь диапазон используемых углов [3, 4, 8]. При этом максимальная величина перемещения штока привода не превышает 7 мм.

В результате выполненной параметризации рекомендованы следующие значения параметров элементов системы управления: $J_s = 32,0 \cdot 10^{-6}$ Нм²/рад; $C_s = 1,0 \cdot 10^4$ Нм/рад; $h_s = 0,6$ Нмс/рад; $K_{fi} = 0,052$ м; $m_{np} = 0,02$ кг; $C_d = 1,2 \cdot 10^7$ Н/м; $h_d = 600,0$ Нс/м; $R_d = 3,4$ Ом; $L_d = 0,1 \cdot 10^{-3}$ Гн; $C_m = 16,43$ Н/А; $C_e = 5,25$ Вс/м; $K_n = 1200,0$; $\tau = 0,15 \cdot 10^{-3}$ с; $D_m = -(0,04 \dots 0,2)$ Нм/рад.

Для известных условий резания [8]: отрезка заготовок из стали 40X ($\sigma_b = 6,15 \cdot 10^8$ Н/м², $\tau_p = 5,63 \cdot 10^8$ Н/м², $a = 6,75 \cdot 10^{-6}$ м²/с, $\lambda = 33,9$ Дж/м²·град.) отрезным резцом с пластиной из стали Т15К6 шириной $t = (2,0 \dots 4,0) \cdot 10^{-3}$ м и углами $\alpha = 5^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\phi_1 = 5^\circ$, $r_1 = 0,2 \cdot 10^{-3}$ м, $r = 0,5 \cdot 10^{-3}$ м и при использовании рекомендованных режимов резания: $S_o = (0,05 \dots 0,15) \cdot 10^{-3}$ м, $V_p = 0,5 \dots 1,5$ м/с максимальный момент разворота режущего клина относительно режущей кромки составляет 0,22 Нм, а минимальный – 0,05 Нм [8]. Этому соответствует максимальное усилие на рычаге не более 7,5 Н.

В соответствии с подходами, апробированными для синтеза систем управления передним углом на операциях точения [7], для их описания использована матричная форма записи:

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{A}\mathbf{X} + \mathbf{b}\mathbf{u}, \quad (1)$$

где $\mathbf{A} = \|a_{ij}\|_{6 \times 6}$; $\mathbf{b} = \|b_1 \dots b_6\|_{6 \times 1}^T$ – вещественные матрицы параметров системы указанных размерностей; $\mathbf{X} = \|x_i\|_{1 \times 6}^T$ – вектор координат состояния системы; $\mathbf{u} = \|u_i\|_{1 \times 6}^T$ – вектор управляющих воздействий.

Вид и форма используемых матриц, а также зависимости их коэффициентов от параметров системы управления определяются аналогично [6].

Задача синтеза модального регулятора для рассматриваемой системы заключается в определении коэффициентов обратных связей по координатам состояния k_i ($i = \overline{1,6}$) [10, 11].

$$u = -k_1 x_1 - \dots - k_6 x_6 = -\mathbf{k}^T \mathbf{X}, \quad (2)$$

при которых замкнутая система имела бы желаемый «стандартный» характеристический полином 6-го порядка [10], определяющий соответствующее ему качество процесса управления:

$$g(p) = p^6 + \omega_0 g_5 p^5 + \omega_0^2 g_4 p^4 + \omega_0^3 g_3 p^3 + \omega_0^4 g_2 p^2 + \omega_0^5 g_1 p + \omega_0^6 g_0, \quad (3)$$

где g_i – нормированные коэффициенты полинома ($i = \overline{1,6}$); ω_0 – техническая постоянная, имеющая размерность частоты и определяющая масштаб представления переходной характеристики системы во времени.

Этому полиному соответствует каноническая форма записи матрицы желаемой системы управления \mathbf{G} .

С учетом обратных связей (2) уравнение свободного движения замкнутой системы примет вид:

$$\dot{\mathbf{X}} = (\mathbf{A} - \mathbf{b}\mathbf{k}^T) \mathbf{X}. \quad (4)$$

Матрица коэффициентов может быть найдена из сравнения матрицы \mathbf{G} с матрицей параметров системы (4), представленной в той же канонической форме, что и \mathbf{G} .

На основании матрицы канонического преобразования P уравнение (1) может быть записано в канонической форме

$$\dot{\tilde{X}} = \tilde{A}\tilde{X} + \tilde{b}\tilde{u}, \quad (5)$$

где $\tilde{A} = P A P^{-1}$; $\tilde{b} = P b$; $\tilde{X} = P X$ и $X = P^{-1} \tilde{X}$.

Для полностью управляемой системы матрица канонического преобразования P пары $\{A, b\}$ в пару $\{\tilde{A}, \tilde{b}\}$ единственна и вычисляется по формуле [11]

$$P = \tilde{R}R^{-1}, \quad (6)$$

где R, \tilde{R}, R^{-1} – матрицы управляемости систем (1) и (5), а также обратная к матрице (1).

Полагая по аналогии с (2) $\tilde{u} = -\tilde{k}^T \tilde{X}$, уравнение свободного движения замкнутой системы запишем в канонической форме:

$$\dot{\tilde{X}} = (\tilde{A} - \tilde{b}\tilde{k}^T)\tilde{X}. \quad (7)$$

Матрица канонического преобразования устанавливает связь между матрицами коэффициентов обратных связей уравнений (2) и (7):

$$k^T = \tilde{k}^T \cdot P. \quad (8)$$

Для обеспечения требуемого качества проектируемой системы, формируемого выбранным желаемым «стандартным» характеристическим полиномом (3), достаточно тождественно приравнять матрицу правой части уравнения (7) матрице G :

$$\tilde{A} - \tilde{b}\tilde{k}^T = G. \quad (9)$$

Исходя из этого матричного уравнения решение можно записать в следующем виде:

$$\tilde{k}_i = g_{i-1} - \tilde{a}_{i-1}, \quad i = \overline{1, \dots, 6}, \quad (10)$$

то есть $\tilde{k}_1 = g_0 - \tilde{a}_0$; $\tilde{k}_2 = g_1 - \tilde{a}_1$; $\tilde{k}_3 = g_2 - \tilde{a}_2$; $\tilde{k}_4 = g_3 - \tilde{a}_3$; $\tilde{k}_5 = g_4 - \tilde{a}_4$; $\tilde{k}_6 = g_5 - \tilde{a}_5$.

Используя решение (10) на основании (8), получим искомую матрицу – строку коэффициентов передачи модального регулятора в исходном базисе k^T .

Синтезированная система управления позволяет определить ее динамические характеристики, а также оценить возможную реакцию на дискретное воздействие сил резания на режущий клин.

Результаты исследований

Коэффициенты матриц A и b для приведенных выше параметров системы принимают следующие значения: $a_{12} = 1$; $a_{21} = -3,125 \cdot 10^8$; $a_{22} = -1,875 \cdot 10^4$; $a_{23} = 6,01 \cdot 10^9$; $a_{24} = 3,61 \cdot 10^5$; $a_{34} = 1$; $a_{41} = 9,62 \cdot 10^8$; $a_{42} = 576,92$; $a_{43} = -7,85 \cdot 10^8$; $a_{44} = -4,109 \cdot 10^4$; $a_{45} = 821,5$; $a_{54} = -5,25 \cdot 10^4$; $a_{55} = -3,4 \cdot 10^4$; $a_{56} = 1,0 \cdot 10^4$; $a_{66} = 6,67 \cdot 10^3$; $b_{61} = 8,0 \cdot 10^6$.

Не указанные коэффициенты равны нулю.

Получены матрицы управляемости систем (1) и (5)

$$R = \begin{vmatrix} b & A \cdot b & A^2 \cdot b & A^3 \cdot b & A^4 \cdot b & A^5 \cdot b \end{vmatrix}_{6 \times 6};$$

$$\tilde{R} = \begin{vmatrix} \tilde{b} & \tilde{A} \cdot \tilde{b} & \tilde{A}^2 \cdot \tilde{b} & \tilde{A}^3 \cdot \tilde{b} & \tilde{A}^4 \cdot \tilde{b} & \tilde{A}^5 \cdot \tilde{b} \end{vmatrix}_{6 \times 6}.$$

Учитывая исходные данные, дальнейший расчет показал, что $\text{rang} \|R\| = 6$ и $\text{rang} \|\tilde{R}\| = 6$. Это подтверждает полную управляемость исходной системы и позволяет использовать рассмотренную выше методику.

Конкретизированный вид «стандартного» характеристического полинома, в частности Баттерворта 6-го порядка, имеет вид [10]

$$g(p) = (p^2 + 0,51764\omega_0 p + \omega_0^2) \cdot (p^2 + 1,41421\omega_0 p + \omega_0^2) \cdot (p^2 + 1,93185\omega_0 p + \omega_0^2). \quad (11)$$

Исходя из требований к динамическим характеристикам системы управления углом поворота сектора в области частот дискретного воздействия на него сил резания $f = 0,5 \dots 20$ кГц [12, 13, 14] прием техническую постоянную $\omega_0 = 50\,000,0$ с⁻¹.

На основании приведенной выше методики, используя (8), получили искомую матрицу – строку коэффициентов передачи модального регулятора в исходном базисе \mathbf{k}^T .

Для упрощения практической реализации системы управления выполнено округление коэффициентов обратной связи. Округление потребовало осторожного подхода, поскольку в определенных случаях оно приводило к существенному ухудшению качества переходных процессов. Наиболее рациональный вариант матрицы коэффициентов принял вид:

$$\mathbf{k}_{\text{round}}^T = \left\| 2,0 \cdot 10^4 \quad 0,12 \cdot 10^5 \quad 3,0 \cdot 10^5 \quad 5,45 \quad 0,07 \quad 0,01 \right\|. \quad (12)$$

Исходя из (1) и (12) нормированные переходные характеристики систем: h_{ish} – исходной, h_{tg} – желаемой и h_{tr} – с модальным регулятором вида (12) – приведены на рис. 1.

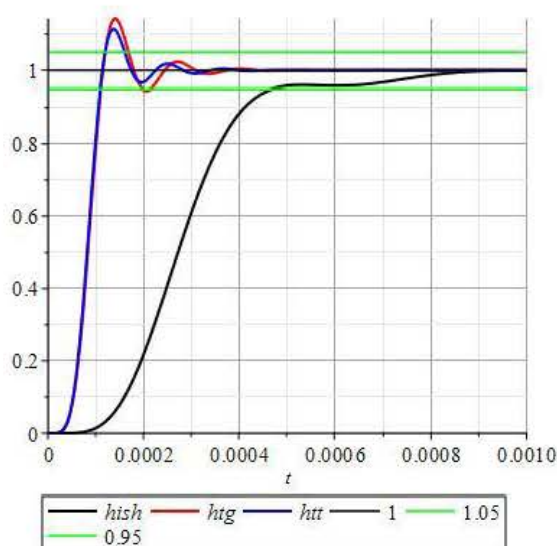


Рис. 1. Нормированные переходные характеристики систем: исходной, желаемой и с модальным регулятором вида (12)

Из рис. 1 видно, что применение модального регулятора позволило уменьшить длительность переходного процесса с 0,45 до 0,17 мс, т. е. более чем 2,5 раза. Реакция системы на обратный импульс длительностью 300 мкс, поданный на вход системы с задержкой на завершение в ней переходного процесса от установки заданного значения переднего угла режущего клина, приведена на рис. 2. На нем показаны: U_{bx} – импульсное входное воздействие, h_{imp} – реакция системы на входное воздействие и h_{tr} – переходный процесс установки заданного значения переднего угла режущего клина. Можно видеть, что задержка импульса достигает 50 мкс, а длительности фронтов – 80 мкс. Это говорит о возможности системы достаточно адекватно реагировать на воздействия с частотой до 2,5 кГц, соответствующей цикличности сегментации стружки на операции отрезки [12–15].

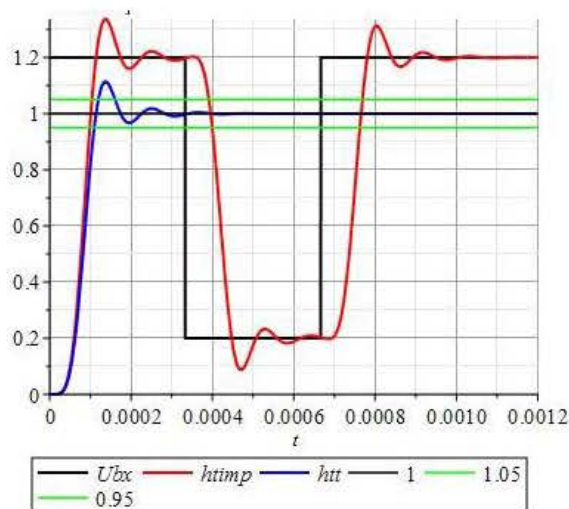


Рис. 2. Реакция системы на обратный импульс по входу

На основании проведенных исследований подтверждена возможность и перспективность создания «интеллектуального» инструмента, использующего управление передним углом его режущего клина в зависимости от условий резания. Проведенный синтез его системы управления показал, что она позволяет отслеживать и адекватно реагировать на периодически (до 2,5 кГц) изменяемое состояние системы.

Предложенный подход к созданию инструментов для операций токарной обработки носит инновационный характер и позволит повысить ее эффективность в широком диапазоне изменения условий резания.

Список литературы

- 1 Sellmer, D. High-performance processing by means of the “intellektualnyq” cutting tools / D. Sellmer // Werkstatt und Betrieb. – 2001. – No. 3. – P. 38–40.
- 2 Патент на изобретение RU 2443510 C1. Токарный резец с изменяемым передним углом / Е. Б. Шелкунов, О. Н. Порошин / № RU2010144908/02A ; заявл. 02.11.2010 ; опубл. 27.02.2012.
- 3 Патент RU2741397C1. Резец с изменяемым передним углом / Г. В. Шадский, В. С. Сальников, О. А. Ерзин. – № RU2020129113A ; заявл. 02.09.2020 ; опубл. 25.01.2021.
- 4 Сальников, В. С. Анализ конструкторского решения «интеллектуального» режущего инструмента с управляемым передним углом / В. С. Сальников, Г. В. Шадский, О. А. Ерзин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – Тула : Изд-во ТулГУ, 2022. – Вып. 10. – С. 400–406.
- 5 Мартинов, Г. М. Расширение функциональных возможностей системы ЧПУ для управления установкой электронно-лучевой сварки / Г. М. Мартинов, В. В. Плихунов, А. В. Коваленко // Авиационная промышленность. – 2009. – № 1. – С. 16–21. – ISSN 0869-530X.
- 6 Синтез и анализ системы автоматического управления лазерным технологическим комплексом / В. В. Звездин, С. М. Портнов, Р. А. Кисаев, И. Н. Кузнецов // Проектирование и

References

- 1 Sellmer, D. High-performance processing by means of the “intellektualnyq” cutting tools / D. Sellmer // Werkstatt und Betrieb. – 2001. – No. 3. – P. 38–40.
- 2 Patent RU 2443510 C1. Turning cutter with variable front corner / E. B. Shelkunov, O. N. Poroshin. – No. RU2010144908/02A ; filed 11.02.2010 ; published 02.27.2012.
- 3 Patent RU2741397C1. Cutter with variable front angle / G. V. Shadsky, V. S. Salnikov, O. A. Erzin. – No. RU2020129113A ; filed 09.02.2020 ; published 01/25/2021.
- 4 Salnikov, V. S. Analysis of the design solution of an “intelligent” cutting tool with a controlled front angle / V. S. Salnikov, G. V. Shadsky, O. A. Erzin // Proceedings of the Tula State University. Technical Sciences. – Tula : Publishing House of TulSU, 2022. – Issue. 10. – P. 400–406.
- 5 Martinov, G. M. Expansion of CNC system functionality for control of electron beam welding plant / G. M. Martinov, V. V. Plikhunov, A. V. Kovalenko // Aviation industry. – 2009. – No. 1. – P. 16–21. – ISSN 0869-530X.
- 6 Synthesis and analysis of the automatic control system of the laser process complex / V. V. Zvezdin, S. M. Portnov, P. A. Kisaev, I. N. Kuznetsov // Design and study of technical

- исследование технических систем : межвузовский научный сборник. – Наб. Челны : Изд-во ИНЭКА, 2010. – № 15. – С. 9–45.
- 7 Шадский, Г. В. Параметризация системы управления передним углом режущего клина для операций точения / Г. В. Шадский, В. С. Сальников, О. А. Ерзин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – Вып. 9. – С. 620–629. – DOI 10.24412/2071-6168-2021-9-620-629.
- 8 Сальников, В. С. Перспективы управления передним углом режущего клина при технологической обусловленности изменения скорости резания / В. С. Сальников, Г. В. Шадский, О. А. Ерзин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 12. – С. 276–284. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-12-276-277.
- 9 Сальников, В. С. Техническое решение отрезного резца с управляемым передним углом / В. С. Сальников, Г. В. Шадский, О. А. Ерзин // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. Тула : Изд-во ТулГУ, 2024. – № 2. – С. 3–6. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-2-3-6.
- 10 Гайдук, А. Р. Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления (полиномиальный подход) : монография / А. Р. Гайдук. – Москва : Физматлит, 2012. – 360 с. – ISBN 978-5-9221-1424-0.
- 11 Афанасьев, В. Н. Математическая теория конструирования систем управления / В. Н. Афанасьев, В. Б. Колмановский, В. Р. Носов. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Высшая школа, 2003. – 615 с. – ISBN 5-06-004162-X.
- 12 Волков, Д. И. Разработка модели процесса резания с учетом цикличности формирования стружки / Д. И. Волков, С. Л. Проскуряков // Вестник УГАТУ. Машиностроение. – Уфа : Изд-во УГАТУ, 2011. – Т. 15, № 3 (43). – С. 72–78. – ISSN 1992-6502.
- 13 Ye, G. G. Influence of cutting conditions on the cutting performance of TiAl6V4 / G. G. Ye1, Shi Feng Xue, Xing Hua Tong, Lan-Hong Dai // Advanced Materials Research. – 2011. – Vol. 337. – P. 387–391. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.337.387.
- 14 Евсеев, Л. Л. Исходные положения и зависимости для расчета характеристик динамики процесса резания металлов / Л. Л. Евсеев // Вестник машиностроения. – 1995. – № 12. – С. 1–7. – ISSN 0042-463.
- 15 Евсеев, Л. Л. Расчет оптимальной скорости резания по коэффициенту динамичности процесса
- systems : intercollegiate scientific collection. – Nab. Chelny : INECA Publishing House, 2010. – No. 15. – P. 39–45.
- 7 Shadsky, G. V. Parametrization of the front angle control system of the cutting wedge for turning operations / G. V. Shadsky, V. S. Salnikov, O. A. Erzin // Proceedings of the Tula State University. Technical Sciences. – 2021. – Issue. 9. – P. 620–629. – DOI 10.24412/2071-6168-2021-9-620-629.
- 8 Salnikov, V. S. Prospects for controlling the front angle of the cutting wedge with the technological conditioning of the change in cutting speed / V. S. Salnikov, G. V. Shadsky, O. A. Erzin // Proceedings of the Tula State University. Technical Sciences. – 2023. – No. 12. – P. 276–284. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-12-276-277.
- 9 Salnikov, V. S. Technical solution of a cutting cutter with a controlled front angle / V. S. Salnikov, G. V. Shadsky, O. A. Erzin // Proceedings of the Tula State University. Technical Sciences. – Tula : Publishing House of TulSU, 2024. – No. 2. – P. 3–6. – DOI 10.24412/2071-6168-2024-2-3-6.
- 10 Gaiduk, A. R. Theory and methods of analytical synthesis of automatic control systems (polynomial approach) : monograph / A. R. Gaiduk. – Moscow : Fizmatlit, 2012. – 360 p. – ISBN 978-5-9221-1424-0.
- 11 Afanasyev, V. N. Mathematical theory of design of control systems / V. N. Afanasyev, V. B. Kolmanovsky, V. R. Nosov. – 3rd ed., rev. and expand. – Moscow : Higher School, 2003. – 615 p. – ISBN 5-06-004162-X.
- 12 Volkov, D. I. Development of a model of the cutting process taking into account the cyclical nature of the formation of chips / D. I. Volkov, S. L. Proskuryakov // USATU Bulletin. Mechanical engineering. – Ufa : Publishing House of USATU, 2011. – Vol. 15, No. 3 (43). – P. 72–78. – ISSN 1992-6502.
- 13 Ye, G. G. Influence of cutting conditions on the cutting performance of TiAl6V4 / G. G. Ye1, Shi Feng Xue, Xing Hua Tong, Lan-Hong Dai // Advanced Materials Research. – 2011. – Vol. 337. – P. 387–391. – DOI 10.4028/www.scientific.net/AMR.337.387.
- 14 Evseev, L. L. Initial positions and dependencies for calculating the characteristics of the dynamics of the metal cutting process / L. L. Evseev // Russian Engineering Research. – 1995. – No. 12. – P. 1–7. – ISSN 0042-463.
- 15 Evseev L. L. Calculation of the optimal cutting speed by the dynamic factor of the chip formation

стружкообразования / Л. Л. Евсеев // СТИН. – process / L. L. Evseev // STIN. – 1994. – No. 4. –
1994. – № 4. – С. 41–43. – ISSN 0869-7566. P. 41–43. – ISSN 0869-7566.

O. A. Erzin

TECHNICAL SUPPORT FOR FRONT ANGLE CONTROL WEDGE ON CUTTING OPERATIONS

Abstract. The paper considers a mathematical model of the process of controlling the front angle of the second wedge at turning operations of the section. It is carried out a synthesis of the control system which provides the required indicators of the quality of its reaction to periodic processes of formation and collapse of shear surfaces during chip formation. Based on the studies carried out, the possibility and prospects of creating an "intelligent" tool using the control of the front angle of its wedge depending on the cutting conditions have been confirmed.

Keywords: mathematical model, rotary cutting head, front angle, moment of rotation, synthesis.

For citation: Erzin, O. A. Technical support for front angle control wedge on cutting operations / O. A. Erzin // Vestnik Rostovskogo Gosudarstvennogo Universiteta Putey Soobshcheniya. – 2024. – No. 1. – P. 205–211. – DOI 10.46973/0201-727X_2024_1_205.

Сведения об авторе

Ерзин Олег Александрович
Тульский государственный
университет (ТулГУ),
кафедра «Промышленная автоматика и
робототехника»,
кандидат технических наук, доцент,
e-mail:erzin79@mail.ru

Information about the author

Erzin Oleg Alexandrovich
Tula State University (TulSU),
Chair «Industrial Automation
and Robotics»,
Candidate of Engineering Sciences,
Associate Professor,
e-mail: erzin79@mail.ru