

Т.Г. ДЖУГУРЯН, д-р техн. наук, *В.С. ПОПОВ*, Одесса, Украина

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНЫХ СОСТОЯНИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ СОВМЕЩЕННОМ РАСТАЧИВАНИИ СООСНЫХ ОТВЕРСТИЙ

Наведено результати дослідження розточування співвісних отворів інструментом одностороннього різання. Представлена динамічна модель суміщеного розточування співвісних отворів. Отримано залежності для визначення зміщення осі отворів і їх відхилення від співвісності щодо базової поверхні і загальної осі. Встановлено закон розподілу і поле розсіювання відхилення від співвісності отворів відносно базової поверхні.

Приведены результаты исследования растачивания соосных отверстий инструментом одностороннего резания. Представлена динамическая модель совмещенного растачивания соосных отверстий. Получены зависимости для определения смещения оси отверстий и их отклонения от соосности относительно базовой поверхности и общей оси. Установлены закон распределения и поле рассеивания отклонения от соосности отверстий относительно базовой поверхности.

T.G. DZHUGURJAN, V.S. POPOV

DEFINITION OF LIMITING CONDITIONS OF TECHNOLOGICAL SYSTEM AT COMBINED INTERNAL TURNING COAXIAL APERTURES

The results of investigation of coaxial holes boring with one-sided cutting tool are given. The dynamic model for combined boring of coaxial holes is presented. The formulas for determination of bored holes axis offset and for determination of misalignment of holes regarding to basic surface and to common axis are obtained. The law of distribution and the field dissipation of misalignment of holes regarding to basic surface are established.

Введение. В корпусных деталях машин, станков и приборов с последовательно расположенными отверстиями возникает необходимость обеспечения высоких требований к их соосности. Отделочную обработку таких отверстий, как правило, осуществляют с применением расточных инструментов одностороннего резания (РИОР), что позволяет уменьшить влияние технологического наследования предшествующей обработки, а также обеспечить наилучшие эксплуатационные показатели детали. Особенностью РИОР является наличие на каждой ступени инструмента последовательно расположенных режущих элементов (РЭ) и двух направляющих элементов (НЭ), воспринимающих усилия резания [1,2,3,4].

Постановка проблемы. Одним из основных показателей точности последовательно расположенных отверстий является отклонение от соосности относительно базовой поверхности, допустимое значение которого задается разработчиком на этапе проектирования корпусной детали и учитывается на этапе выбора рациональных конструкторско-технологических решений обработки РИОР [2,5,6]. Однако в процессе эксплуатации технологического оборудования условия обработки РИОР изменяются, что может привести к появлению брака. Изменение условий обработки связано не только с переменным припуском на обработку, полученным на предшествующей операции, но и с возможностью совмещенной обработки отверстий на отдельных участках их растачивания. Поэтому своевременное определение предельных состояний технологической системы (ТС) при обработке соосных отверстий РИОР является важной задачей.

Анализ последних исследований и публикаций. В предыдущих исследованиях разработаны модели формирования погрешностей расположения соосных отверстий в зависимости от условий их обработки РИОР. Установлено влияние неравномерности припуска на обработку на погрешность расположения осей отверстий, а также на амплитуду колебаний тока якоря привода главного движения постоянного тока (АКТП) [2,6,7]. Это позволило разработать экспресс оценку предельных состояний ТС в процессе растачивания соосных отверстий, основанную на контроле АКТП с частотой, соответствующей частоте вращения РИОР, и позволяющая производить диагностику состояния ТС с помощью системы ЧПУ [7].

Погрешность расположения осей соосных отверстий, возникающая при растачивании, зависит от параметров технологической системы и определяется смещением оси j -го отверстия на любом его N -ом уровне [6]:

$$e_{jN(1,2)} = b_{j(1,2)}^N \cdot e_{j0(1,2)} + \sum_{i=1}^{N-1} f_j(e_{i(1,2)}) \cdot b_{j(1,2)}^{N-1}, \quad (1)$$

где

$$b_{j(1,2)} = \frac{c_{O(1,2)}/m_k}{\sqrt{((c_k + c_{O(1,2)})/m_k - \omega^2)^2 + (\omega \cdot \xi_k / m_k)^2}}; \quad (2)$$

$$f_j(e_{i(1,2)}) = \frac{\Delta F_{O.N(1,2)}/m_k \pm g \cdot \cos \gamma}{\sqrt{((c_k + c_{O(1,2)})/m_k - \omega^2)^2 + (\omega \cdot \xi_k / m_k)^2}}; \quad (3)$$

$$N = L_i / S; \quad (4)$$

$e_{jN(1,2)}$ – минимальное и максимальное (соответственно индексы 1 и 2) смещение оси j -го отверстия на его N -ом уровне в двух предельных условиях обработки, м; $e_{j0(1,2)}$ – смещение оси входного участка j -го отверстия отно-

сительно оси вращения инструмента в двух предельных условиях обработки, м; $c_{O(1,2)} = 10^{-9}$ Н/м – коэффициент жёсткости контакта опорного НЭ с поверхностью обрабатываемого отверстия; c_k – коэффициент радиальной жёсткости системы “шпиндель – РИОР” в зоне вершины РЭ, Н/м; m_k – приведённая к вершине РЭ масса РИОР, кг; ω – угловая частота колебаний, определяемая угловой скоростью вращения РИОР, c^{-1} ; $\Delta F_{O,N(1,2)}$ – переменная составляющая радиальной силы, действующая на вершину опорного НЭ; ξ_k – коэффициент диссипативной силы системы “шпиндель – РИОР”, Н·с/м; γ – угол наклона оси РИОР, рад; g – ускорение свободного падения, m/c^2 ; L_i – длина i -го отверстия, м; S – длина пути РИОР за один оборот.

Отклонение от соосности двух последовательно расположенных отверстий относительно базовой поверхности можно определить по формуле [6]:

$$e_{b,f(1,2)} = e_{1.0(1,2)} + (e_{1.N(1,2)} - e_{1.0(1,2)}) \cdot (L_1 + L_2 + L_0) / L_1 \pm \pm (e_{2.0(1,2)} + e_{2.N(1,2)}), \quad (5)$$

где $e_{b,f(1,2)}$ – минимальное и максимальное (соответственно знаки «−» и «+») отклонение от соосности двух отверстий относительно базовой поверхности в двух предельных условиях обработки, м; $e_{1.0(1,2)}$ и $e_{2.0(1,2)}$ – смещения осей 1-го и 2-го отверстий соответственно в начале этих отверстий в двух предельных условиях обработки, м; $e_{1.N(1,2)}$ и $e_{2.N(1,2)}$ – смещения осей 1-го и 2-го отверстий соответственно на N -ом уровне этих отверстий в двух предельных условиях обработки, м; L_1 и L_2 – длины соответственно первого и второго обрабатываемых отверстий, м; L_0 – расстояние между двумя соосными отверстиями, м.

Отклонение от соосности относительно общей оси в двух предельных условиях обработки для первого отверстия можно определить по формуле [6]:

$$e_{0.1(1,2)} = 0,5 e_{1.0(1,2)} + e_{1.N(1,2)} \cdot \quad (6)$$

Отклонение от соосности относительно общей оси в двух предельных условиях обработки для второго отверстия можно определить по формуле [6]:

$$e_{0.2(1,2)} = 0,5 e_{2.0(1,2)} + e_{2.N(1,2)} \cdot \quad (7)$$

Сравнение экспериментальных и теоретических данных параметров отклонения от соосности отверстий показывает, что на этапе совмещенной обработки отверстий использование зависимостей (1) – (4) не обеспечивает необходимой точности расчетов. Это связано с взаимовлиянием сил резания, возникающих на каждой ступени РИОР, на работу опорных НЭ, что

подтверждается исследованием профиля продольного сечения отверстий на участках перехода к совмещенной обработке. Поэтому возникает необходимость определения предельных состояний ТС при совмещенной обработке РИОР соосных отверстий.

Постановка задачи. Целью настоящей работы является разработка теоретических положений для определения предельных состояний ТС при совмещенной обработке РИОР соосных отверстий.

Для достижения поставленной цели в данной работе потребовалось решить следующие задачи: 1) разработать теоретические положения для определения предельных состояний ТС при совмещенной обработке соосных отверстий; 2) проверить адекватность полученных теоретических положений на основе экспериментальных данных; 3) установить закон распределения и поле рассеивания отклонений от соосности обработанных отверстий; 4) разработать рекомендации для своевременного выявления предельных состояний ТС, связанных с недопустимыми значениями неравномерного припуска на обработку.

Основная часть. Разработка теоретических положений для определения предельных состояний ТС при совмещенной обработке РИОР соосных отверстий осуществлялась на основе исследований результатов обработки заготовки детали «Фонарь», которая производится на ЗАО «Кислородмаш» (г. Одесса). Материал заготовки СЧ15 (ГОСТ1412-85), твердость 180 НВ. Заготовка содержит два соосных отверстия диаметрами 90 мм и 55 мм, точность которых должна соответствовать 7 качеству. Допуск соосности указанных отверстий относительно базовой поверхности 0,04 мм, а шероховатость поверхности не должна превышать $Ra = 0,8$ мкм. На рис. 1 представлена заготовка детали «Фонарь» и технологическая схема ее обработки РИОР. Растачивание отверстий данной детали выполнялось на отделочно-расточном станке со скоростью резания 1 м/с, с подачей 0,3 мм/об и с глубиной резания 0,25 мм.

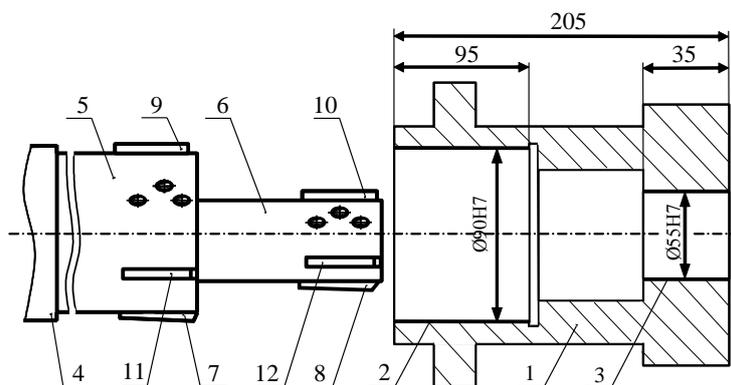


Рисунок 1 – Заготовка детали «Фонарь» и технологическая схема ее обработки РИОР: 1 – заготовка; 2, 3 – обрабатываемые поверхности отверстий; 4 – патрон шпинделя станка; 5, 6 – первая и вторая ступени РИОР; 7, 8 – РЭ первой и второй ступеней РИОР; 9, 10 и 11, 12 – опорные и боковые НЭ первой и второй ступеней РИОР

Растачивание первого отверстия диаметром 90 мм на длине до 55 мм от торца и на отрезке длины 90 мм – 95 мм осуществляется только первой ступенью РИОР. На отрезке длины первого отверстия 55 мм – 90 мм происходит совмещенное растачивание двух отверстий.

Анализ осциллограмм тока якоря привода главного движения постоянного тока в процессе растачивания отверстий заготовки детали «Фонарь» показал скачкообразное повышение установившегося значения АКТП при совмещенной обработке, что также подтверждает взаимовлияние сил резания на работу опорных НЭ. Следствием такого взаимовлияния является возрастание погрешности профиля продольного сечения (как правило, первого отверстия) и отклонения от соосности отверстий.

На рис. 2 показан типовой график изменения АКТП в процессе обработки заготовки детали «Фонарь». В момент времени τ_1 происходит врезание РЭ 7 в обрабатываемое первое отверстие 2 диаметром 90 мм. После окончания переходного периода начиная с момента времени τ_2 осуществляется процесс стабильного растачивания первого отверстия, при котором возможно незначительное повышение АКТП вследствие постепенного увеличения неравномерности припуска на обработку, связанного с его формированием на предшествующей операции.

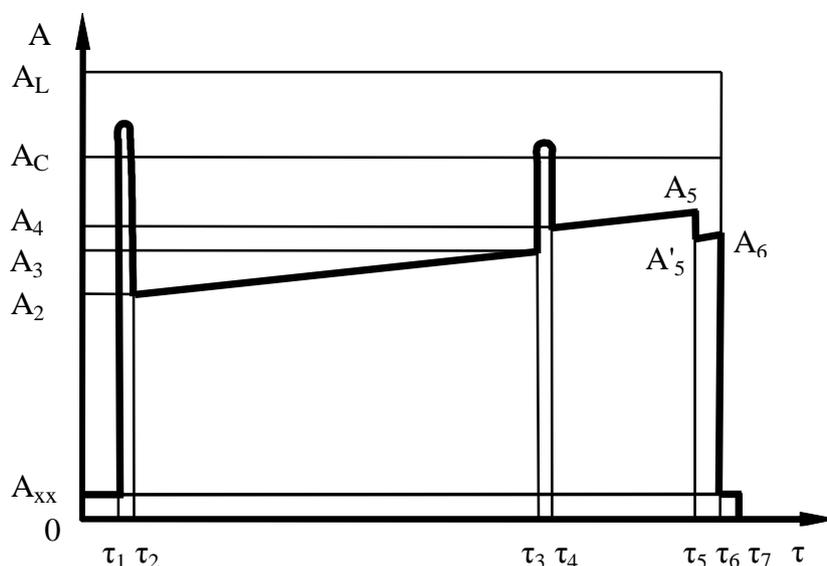


Рисунок 2 – Типовой график изменения АКТП в процессе обработки заготовки детали «Фонарь»

В момент времени τ_3 происходит врезание РЭ 8 в обрабатываемое второе отверстие 3 диаметром 55 мм, что характеризуется ростом АКТП. После окончания переходного периода начиная с момента времени τ_4 осуществляется процесс стабильного совмещенного растачивания первого 2 и

второго 3 отверстий, который также характеризуется возможным незначительным повышением АКТП вследствие постепенного увеличения неравномерности припуска на обработку. В момент времени τ_5 обработка второго отверстия 3 завершается и АКТП скачкообразно снижается со значения A_5 до A'_5 . На отрезке времени $\tau_5 - \tau_6$ продолжается обработка первого отверстия 2. После выхода РЭ 7 первой ступени 5 РИОР в канавку АКТП снижается до уровня $A_{ХХ}$ холостого вращения инструмента и в момент времени хода τ_6 производится остановка вращения РИОР с последующим его выводом из обработанных отверстий.

Для поддержания точности обработки и исключения поломок рабочей части РИОР, возникновения брака предусмотрены пороговые значения АКТП. Превышение порогового значения АКТП A_C при установившемся процессе обработки сигнализирует о превышении неравномерности припуска допустимых значений. Превышение порогового значения АКТП A_L связано с возникновением аварийной ситуации, связанной с дефектом заготовки, поломки инструмента, которая предусматривает немедленное прекращение процесса обработки.

В процессе обработки соосных ступенчатых отверстий с участком совмещенного растачивания в подавляющем большинстве случаев выполняются следующего условия:

$$A_2 \leq A_3; \quad (8)$$

$$A_3 < A_4; \quad (9)$$

$$A_4 \leq A_5; \quad (10)$$

$$A_5 < A'_5; \quad (11)$$

$$A'_5 \leq A_6, \quad (12)$$

где $A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A'_5, A_6$ – соответственно значения АКТП в моменты времени $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \tau_4, \tau_5, \tau_6$ процесса обработки двух соосных отверстий, А.

Выполнение условий (9) и (11) связано с взаимовлиянием силовых полей, действующих на первую и вторую ступени РИОР. Для оценки степени такого влияния предложен коэффициент взаимовлияния k_V , который определяется с помощью выражения:

$$k_V = k_F A_4 / A_3, \quad (13)$$

где k_F – коэффициент, определяющий взаимосвязь отношения АКТП с силовым параметром обработки.

Для расчета погрешностей формирования оси первого отверстия на участках, определяемых моментами времени $\tau_1 - \tau_3$ и $\tau_5 - \tau_6$, могут быть использованы зависимости (1) – (7). При совмещенной обработке двух отверстий (участки отверстий, моментами времени $\tau_3 - \tau_5$) необходимо учитывать влияние силового поля второй ступени на силовое поле первой ступени. В этом случае выражение (3) примет вид:

$$f_j(e_{i(1,2)}) = \frac{k_V \Delta F_{O.N(1,2)} / m_k \pm g \cdot \cos \gamma}{\sqrt{((c_k + c_{O(1,2)}) / m_k - \omega^2)^2 + (\omega \cdot \xi_k / m_k)^2}}. \quad (14)$$

Таким образом, на участке первого отверстия, на котором производится совмещенная обработка, для расчета погрешности расположения оси отверстий необходимо использовать зависимости (1), (2), (4), (14).

Учитывая высокую жесткость короткой консольной части второй ступени по отношению к первой ступени РИОР, можно пренебречь влиянием ее относительных радиальных перемещений под действием силы резания, действующей на РЭ 8. С учетом этого положение отклонение от соосности двух отверстий относительно базовой поверхности при их совмещенной обработке можно определить по формуле:

$$e_{b.S(1,2)} = e_{1.N3(1,2)} + (e_{1.N5(1,2)} - e_{1.N3(1,2)}) \cdot (L_1 + L_2 + L_0 - L_3) / L_2, \quad (15)$$

где $e_{b.S(1,2)}$ – минимальное и максимальное отклонение от соосности отверстий относительно базовой поверхности в двух предельных условиях обработки, м; $e_{1.N3(1,2)}$ – смещение оси первого отверстия до начала совмещенной обработки (на длине L_3 от переднего торца заготовки) в двух предельных условиях обработки, м; $e_{1.N5(1,2)}$ – смещение оси первого отверстия в момент окончания совмещенной обработки, м; $L_1 = 95$ мм и $L_2 = 35$ мм – длины соответственно первого и второго обрабатываемых отверстий, м; $L_0 = 75$ мм – расстояние между двумя соосными отверстиями, м.

Отклонение от соосности относительно общей оси в двух предельных условиях совмещенной обработки можно определить по формуле:

$$e_{0(1,2)} = 0,5 e_{b.S(1,2)} - e_{1.0(1,2)}. \quad (16)$$

Для проверки адекватности полученных зависимостей (15) и (16) были проведена опытная обработка заготовок детали «Фонарь» в двух предельных условиях обработки. При помощи расчётов, проведенных с помощью программы MathCAD, были получены минимальные и максимальные значения неравномерной глубины резания $\Delta t_{\min} = 0,05$ мм и $\Delta t_{\max} = 0,02$ мм, обеспечивающие требуемую точность соосности отверстий от-

носителем базовой поверхности. Указанные предельные значения неравномерности припуска достигались перемещением приспособления станка с корпусом заготовки детали «Фонарь» в горизонтальной плоскости после предварительного растачивания отверстий ступенчатой борштангой. Контроль перемещения приспособления осуществлялся двумя многооборотными индикаторными головками МИГ-2, установленными на магнитных штативах. На заключительном этапе контроль биения оправки и минимального (максимального) значения неравномерности глубины резания $\Delta t_{\min} = 0,01$ мм ($\Delta t_{\max} = 0,05$ мм) производился соответственно многооборотной индикаторной головкой МИГ-1 и рычажно-зубчатым индикатором ИРБПТ с ценой деления 0,002 мм (см. рис. 3).

Теоретические значения отклонения от соосности отверстий относительно базового первого отверстия в двух предельных условиях обработки следующие: $e_{b.S(1)} = 3 \cdot 10^{-6}$ м, $e_{b.S(2)} = 24 \cdot 10^{-6}$ м. Сравнение полученных экспериментальных и расчетных данных показало, что расхождение полученных значений не превышает 17%.

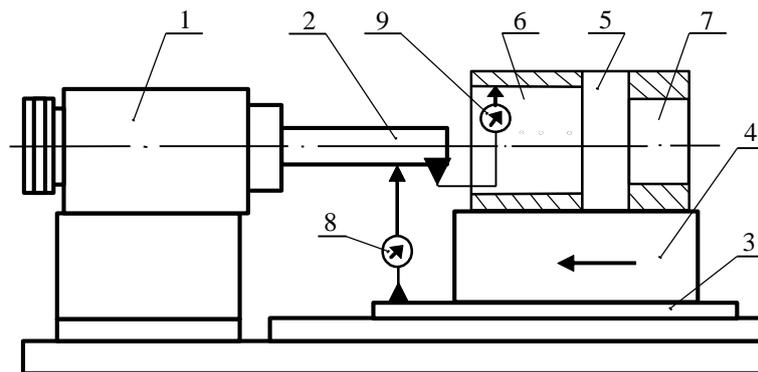


Рисунок 3 – Схема измерения величины биения оправки и неравномерности припуска отверстий: 1 – отделочно-расточная головка, 2 – оправка, 3 – подвижный стол станка, 4 – приспособление, 5 – заготовка, 6 и 7 – обрабатываемые отверстия заготовки, 8 и 9 – индикаторы

С целью определения закона распределения отклонения от соосности отверстий относительно базовой поверхности и поля допуска были проведены измерения параметром точности партии заготовок детали «Фонарь». В результате обработки данных отклонений от соосности отверстий в 50 деталях определены среднее значение $e_{b.S(ср)} = 9,3$ мкм и величина стандартного отклонения $\sigma = 4,6$ мкм. Предполагая в качестве гипотезы, что опытное распределение подчиняется закону эксцентриситета, находим теоретические значения частот m'_i и аргумент i -го интервала $t_{\Theta,i}$ функции $\varphi(t_{\Theta,i})$ с помощью выражений:

$$m_i' = 0,665 \cdot n \cdot d_N \cdot \varphi t_{\Delta,i} / \sigma; \quad (17)$$

$$t_{\Delta,i} = 0,665 \cdot d_C / \sigma, \quad (18)$$

где $n = 50$ шт. – объем выборки; $d_N = 3$ мкм – интервал, мкм; $\varphi(t_{\Delta,i})$ – табличное значение функции нормированного распределения эксцентриситета; d_C – середина i -го интервала, мкм; σ – стандартное отклонение, мкм [8].

В таблице представлены результаты расчета опытных данных с использованием выражений (17) и (18), которые позволили определить значение критерия согласия Пирсона $\eta = 1,92$, что с учетом степени свободы 5 подтверждает правильность выбранной гипотезы [8].

На рис. 1 представлена гистограмма и кривая распределения эксцентриситета, полученные на основе данных таблицы. Визуальная оценка также подтверждает, что опытное распределение близко к теоретической кривой распределения эксцентриситета.

Поле рассеяния Δ_p отклонения от соосности отверстий при распределении по закону эксцентриситета определим с помощью выражения:

$$\Delta_p = k_{\Delta} \cdot \sigma = 6,55 \cdot 4,6 \approx 30 \text{ мкм}, \quad (19)$$

где $k_{\Delta} = 6,55$ – коэффициент, который определяется объемом выборки ($n = 50$ шт.) и из предположения, что 99,73% всех деталей находится в пределах поля допуска [8].

Таблица – Опытные данные отклонений от соосности обработанных отверстий

№ интервала	Интервал, мкм		Середина интервала, мкм	Частота, m_i	$t_{\Delta,i}$	$\varphi(t_{\Delta,i})$	m_i'	$ m_i - m_i' $	$(m_i - m_i')^2$	$\eta = (m_i - m_i')^2 / m_i'$
	от	до								
1	0	3	1,5	4	0,2132	0,2082	4,4385	-0,439	0,19228	0,04332
2	3	6	4,5	9	0,6396	0,5215	11,118	-2,118	4,48408	0,40333
3	6	9	7,5	12	1,0659	0,604	12,876	-0,876	0,76796	0,05964
4	9	12	10,5	11	1,4923	0,49	10,446	0,5540	0,30688	0,02938
5	12	15	13,5	8	1,9187	0,3039	6,4787	1,5213	2,31444	0,35724
6	15	18	16,5	4	2,3450	0,15	3,1978	0,8022	0,64358	0,20126
7	18	21	19,5	2	2,7714	0,0597	1,2727	0,7273	0,52895	0,41561
8	21	24	22,5	0	3,1978	0,0192	0,4093	-0,4093	0,16754	0,40931
				50						$\Sigma=1,92$

На основе опытных данных установлена следующая взаимосвязь:

$$e_{b.s.i} \approx 0,5 k_M |A_{5.i} - A_{2.i}|, \quad (20)$$

где $e_{b.s.i}$ – отклонение от соосности отверстий относительно базовой поверхности i -й детали, м; k_M – средневзвешенный коэффициент, м/А; $A_{2.i}, A_{5.i}$ – значения АКТП соответственно в моменты времени τ_2, τ_5 процесса обработки двух соосных отверстий i -й детали, А.

Система ЧПУ может идентифицировать предельное состояние ТС при совмещенном растачивании соосных отверстий на основе следующих условий:

$$0,5 \cdot 10^6 k_3 k_M |A_{5.i} - A_{2.i}| \geq T_{b.S}; \quad (21)$$

$$\Delta_{P.i} = k_{\Delta.i} \cdot \sigma_i \geq T_{\Delta}, \quad (22)$$

где $T_{b.S}, T_{\Delta}$ – допуск соответственно на отклонение от соосности отверстий относительно базовой поверхности на поле рассеяния i -й детали, мкм; $\Delta_{P.i}$ – поле рассеяния отклонения от соосности отверстий после обработки i -й детали, мкм; σ_i – стандартное отклонение после обработки i -й детали, мкм; $k_3 = 1,2-1,3$ – коэффициент запаса; $k_{\Delta.i}$ – коэффициент после обработки i -й детали, мкм.

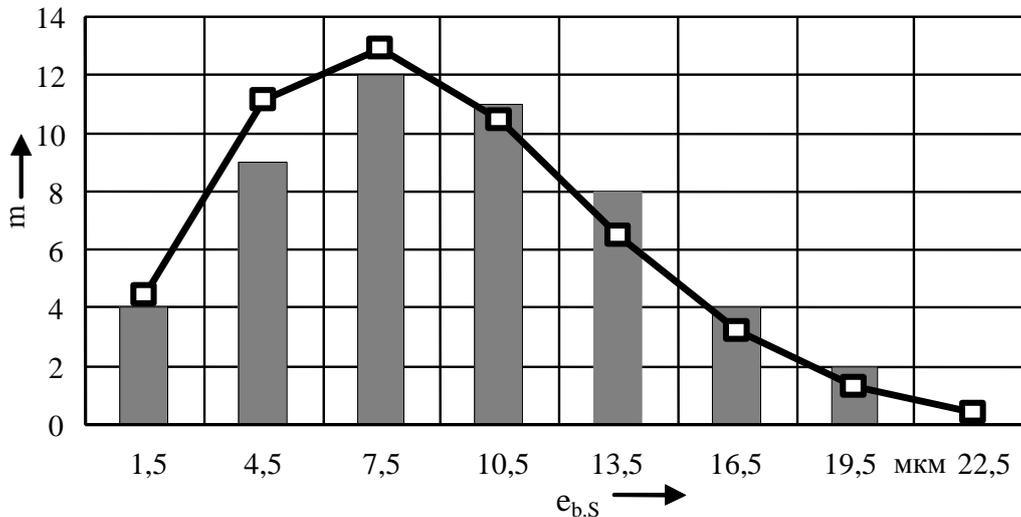


Рисунок 3 – Гистограмма и кривая распределения эксцентриситета

Выводы. Разработанные теоретические положения могут быть использованы для выявления системой ЧПУ предельного состояния ТС в процессе совмещенной обработке РИОР соосных отверстий, при достижении которого невозможно обеспечить требуемое значение параметра отклонения от соосности отверстий относительно базовой поверхности.

Технологический процесс обработки РИОР соосных отверстий в заготовке детали «Фонарь» обеспечивает необходимую точность, в том числе, по диаметральным размерам и шероховатости поверхности отверстий.

Список использованных источников: 1. *Линчевский П.А.* Обработка деталей на отделочно-расточных станках / *П.А. Линчевский, Т.Г. Джугурян, А.А. Оргиян.* – К.: Техника. – 2001. – 300 с. 2. *Джугурян Т.Г.* Комбинированная обработка координированных отверстий. – Одесса: АО БАХВА, 2003. – 108 с. 3. Инструменты для обработки точных отверстий / *С.В. Кирсанов, В.А. Грецишников, А.Г. Схиртладзе* и др. – М.: Машиностроение, 2003. – 330 с. 4. *Tuffentsammer K.* Präzisionsschneidwerkzeuge Die Herstellung und Bearbeitung Zylindrischer Innenflächen // *Techn. Zbl. prakt. für Metallbearb.* - 1981. - 36. - № 3. - S. 35-37, 39-42. 5. Технічні вимоги до геометрії виробів (GPS). Геометричні допуски. Допуски форми, орієнтації, розташування та биття : (ISO 1101:2004, IDT) : ДСТУ ISO 1101:2009 [Чинний з 2011-07-01]. – К. : Держспоживстандарт України, 2011. - 47 с. - (Національні стандарти України). 6. *Джугурян Т.Г., Попов В.С.* Повышение точности взаимного расположения растачиваемых ступенчатых отверстий // *Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХПІ».* – Харків, 2007. – Вип. 1(13). – С. 45–50. 7. *Джугурян Т.Г.* Экспресс оценка предельных состояний технологической системы в процессе растачивания соосных отверстий / *Т.Г. Джугурян, В.С. Попов, Д.В. Ленский* // *Вісник ОДАБА.* – Одеса: ОДАБА, 2010. – Вип. 40. – С.64-70. 8. *Колкер Я.Д.* Математический анализ точности механической обработки деталей / *Колкер Я.Д.* - К.: Техника, 1976. - 200 с.

Bibliography (transliterated): 1. *Linchevskij P.A.* Obrabotka detalej na otde-lochno-rastochnyh stankah / *P.A. Linchevskij, T.G. Dzhugurjan, A.A. Orgijan.* – K.: Tehnika. – 2001. – 300 s. 2. *Dzhugurjan T.G.* Kombinirovannaja obrabotka koordinirovannyh ot-verstij. – Odessa: AO BAHVA, 2003. – 108 s. 3. Instrumenty dlja obrabotki tochnyh otverstij / *S.V. Kirsanov, V.A. Grechishnikov, A.G. Shirtladze* i dr. – M.: Mashino-stroenie, 2003. – 330 s. 4. *Tuffentsammer K.* Präzisionsschneidwerkzeuge Die Herstellung und Bearbeitung Zylindrischer Innenflächen // *Techn. Zbl. prakt. für Metallbearb.* - 1981. - 36. - № 3. - S. 35-37, 39-42. 5. Tehnichni vimogi do geometrii virobiv (GPS). Geometrichni dopuski. Dopuski formi, orientacii, roztashuvannja ta bittja : (ISO 1101:2004, IDT) : DSTU ISO 1101:2009 [Chinnij z 2011-07-01]. – K. : Derzhspozhivstandart Ukraïni, 2011. - 47 s. - (Nacional'ni standarti Ukraïni). 6. *Dzhugurjan T.G., Popov V.S.* Povyshenie tochnosti vzaimnogo raspolozhenija rastachivaemyh stupenchatyh otverstij // *Visoki tehologii v mashinobuduvanni: Zbirnik naukovih prac' NTU «HPI».* – Harkiv, 2007. – Vip. 1(13). – S. 45–50. 7. *Dzhugurjan T.G.* Jekspress ocenka predel'nyh sostojanij teh-nologicheskoy sistemy v processe rastachivanija soosnyh otverstij / *T.G. Dzhugurjan, V.S. Popov, D.V. Lenskij* // *Visnik ODABA.* – Odesa: ODABA, 2010. – Vip. 40. – S.64-70. 8. *Kolker Ja.D.* Matematicheskij analiz tochnosti mehanicheskoy obrabotki detalej / *Kolker Ja.D.* - K.: Tehnika, 1976. - 200 s.