

УДК 621.923

**ФОРМООБРАЗОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ОТВЕРСТИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ БРУСКАМИ
(ЦЕНТРОБЕЖНОЕ ХОНИНГОВАНИЕ)**

© 2020 В.А. Прилуцкий

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 12.05.2020

Изложена методика расчета периодической погрешности обработки (ППО) отверстия после центробежного хонингования.

Ключевые слова: отверстие, формообразование, бруски, центробежное хонингование (ЦБХ), периодическая погрешность обработки.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-3-18-24

Наиболее актуальным вопросом для ЦБХ [1,2] является с позиции обеспечения точности это время, необходимое для уменьшения исходных погрешностей формы, в частности, овальности. Известные методики расчета предназначены для обычного традиционного хонингования с продольной подачей брусков и довольно громоздки и сложны.

Предлагаемая методика уменьшения остаточной ППО (овальности) может быть распространена и на погрешности формы с любым числом волн. Здесь приняты допущения: брусок за весь цикл операции не изнашивается; радиус отверстия за время уменьшения погрешности изменяется линейно; рассматривают внутреннюю цилиндрическую обрабатываемую поверхность; продольная подача отсутствует [3].

Уравнение исходного волнистого профиля отверстия (рис. 1,а)

$$\rho_A = R_{CP} + A \sin(\varphi - \varphi_1), \quad (1)$$

где R_{CP} – средний радиус профиля, $2A$ – высота волнистости, φ, φ_1 – полярный угол, фазовый угол, соответственно. Координаты точки А на волнистой поверхности

$$\begin{aligned} X_A &= \rho_A \cos \varphi, \\ Y_A &= \rho_A \sin \varphi. \end{aligned} \quad (2)$$

Очевидным является различие радиусов кривизны во впадинах волн, расположенных в районе максимального и минимального диаметров профиля. Координаты точек Г и Е этих зон равны

$$\frac{bx^2}{2} = Y_\Gamma, \quad \frac{bx_1}{2} = X_E$$

$$Y_\Gamma = \rho_\Gamma \sin \varphi_\Gamma = [R_{CP} + A \sin(n\varphi_\Gamma + \varphi_1)] \sin \varphi_\Gamma, \quad (3)$$

$$X_E = \rho_E \sin \varphi_E = [R_{CP} + A \sin(n\varphi_E + \varphi_1)] \sin \varphi_E. \quad (4)$$

Максимальные глубины резания tx_2 и tx_1 в каждой из зон определяют из геометрических соотношений

$$\begin{aligned} tx_2 &= R_{\text{бр}} - (\Delta K + kO_{\text{бр}}); \\ \Delta K &= (R_{\text{cp}} - A) - x_\Gamma; \\ kO_{\text{бр}} &= \sqrt{R_{\text{бр}}^2 - (bx_2/2)^2}, \\ tx_2 &= R_{\text{бр}} - (R_{\text{cp}} - A) + \\ &+ X_\Gamma - \sqrt{R_{\text{бр}}^2 - (bx_2/2)^2}, \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} tx_1 &= R_{\text{бр}} - (\Delta_1 K_1 + k_1 O_{\text{бр}}); \\ \Delta_1 K_1 &= (R_{\text{cp}} - A) - x_\Gamma; \\ k_1 O_{\text{бр}} &= \sqrt{R_{\text{бр}}^2 - (bx_1/2)^2}, \\ tx_1 &= R_{\text{бр}} - (R_{\text{cp}} - A) + \\ &+ Y_E - \sqrt{R_{\text{бр}}^2 - (bx_1/2)^2}. \end{aligned} \quad (6)$$

Следовательно, разность глубин резания равна

$$tx_2 - tx_1 = X_\Gamma - Y_E + 2A. \quad (7)$$

Для нахождения величин X_Γ, Y_E определяют уравнения для углов φ_Γ и φ_E

$$2A \sin^2 \varphi_\Gamma \cos \varphi_\Gamma + R_{CP} \sin \varphi_\Gamma - bx/2 = 0, \quad (8)$$

$$2A \cos^2 \varphi_\Gamma \sin \varphi_\Gamma + R_{CP} \cos \varphi_\Gamma - bx/2 = 0. \quad (9)$$

Пример. Дано: $R_{CP}=30$ мм, $A=0,01$ мм, $bx=30$ мм.

$$\text{Тогда } \sin \varphi = \frac{bx}{2\rho_\Gamma} = \frac{30}{2 \cdot 30} = 0,5.$$

Так как ρ_Γ – не известно, то используем замену $\sin \varphi_\Gamma = \sin \varphi = \Delta \sin \varphi$.

Часть 1. Контактное взаимодействие бруска в зоне наибольшего радиуса кривизны. Зададимся $\Delta \sin \varphi = 0,01$ тогда $\sin \varphi = 0,5 + 0,01 = 0,51$.

Прилуцкий Ванцетти Александрович, доктор технических наук, профессор. E-mail: metod81@yandex.ru

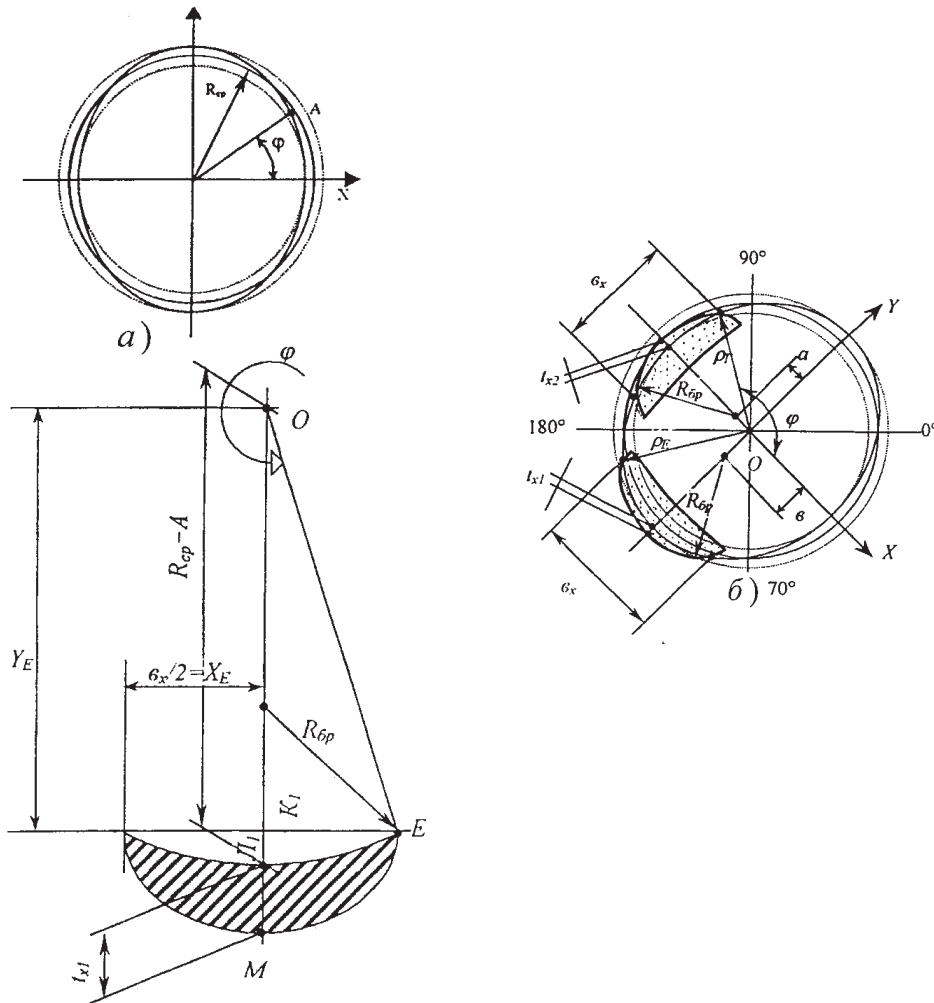


Рис. 1. Расчетные схемы координат точки профиля (а); контактирования двух брусков с профилем отверстия (б); для зоны с минимальным радиусом кривизны (в)

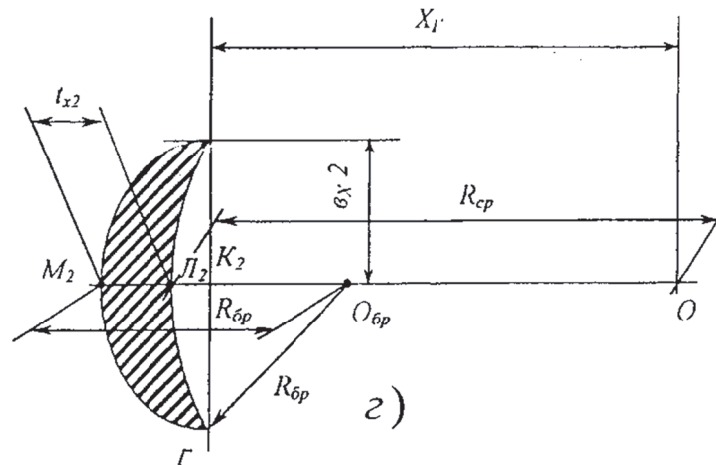


Рис. 2. Схема расчета траектории движения на центрах при параболической волнистости базы

В формуле используют тригонометрическую замену $\cos \varphi = \sqrt{1 - \sin^2 \varphi}$ и подставляют значение $\sin \varphi$. Тогда $0,295525 \neq 0$.

Обозначают число в левой части $\Delta \varepsilon = 0,295525$. Оно слишком отлично от нуля. Назначают требуемую точность, например, $\Delta \varepsilon = 0,00001$.

Вторая попытка: $\Delta \sin \varphi = 0,0001$. Подставляют $(\sin \varphi)_2 = 0,5001$ в формулу. Получают $-0,001474627 \neq 0$.

Третья попытка: $\Delta \sin \varphi = 0,000145$, $(\sin \varphi)_3 = 0,500145$, получают $0,00001778 \neq 0$. Теперь точность расчета достаточная. Принимают значение угла, синус которого равен

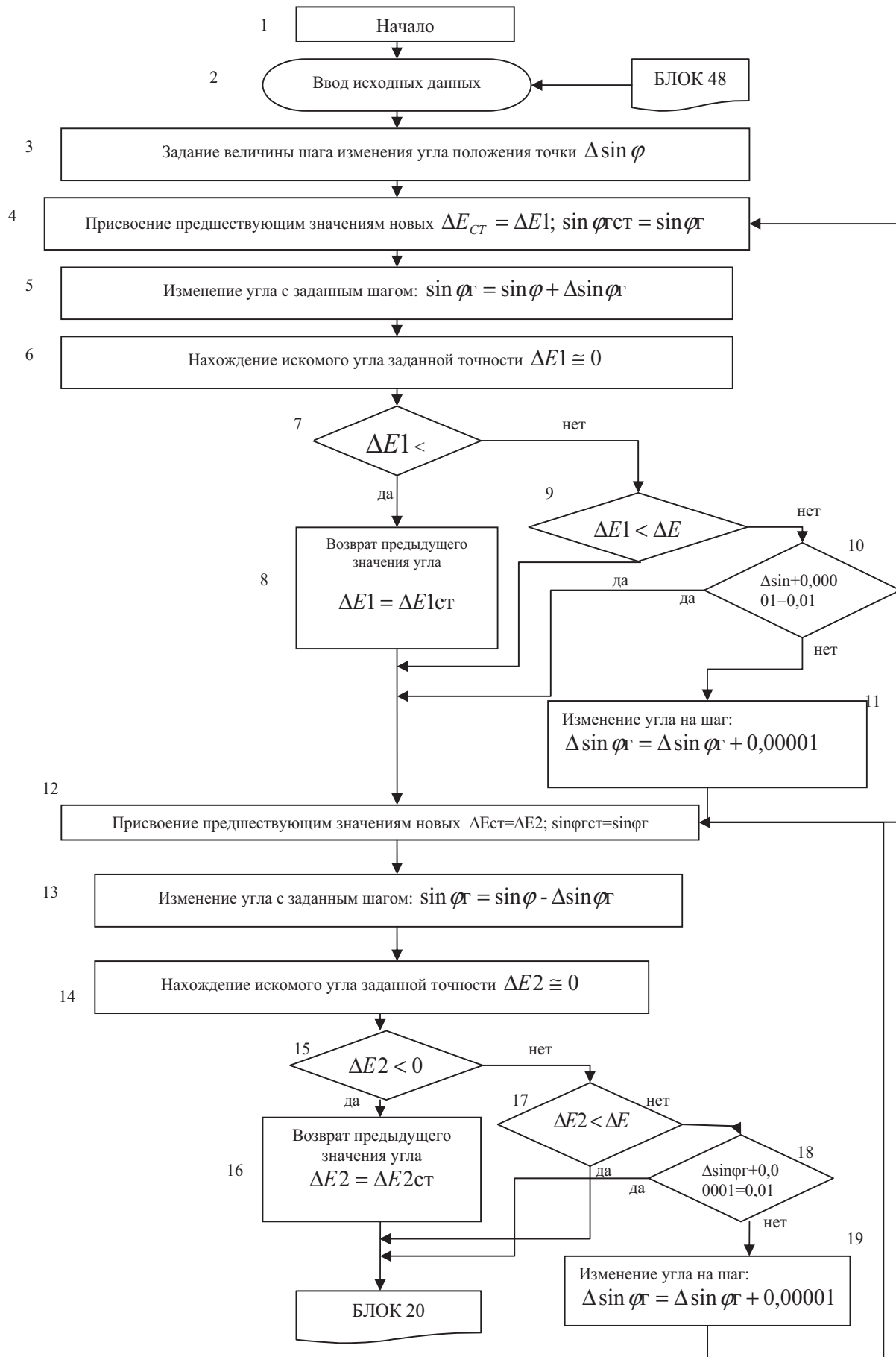


Рис. 3. Схема алгоритма расчета уменьшения волнистости

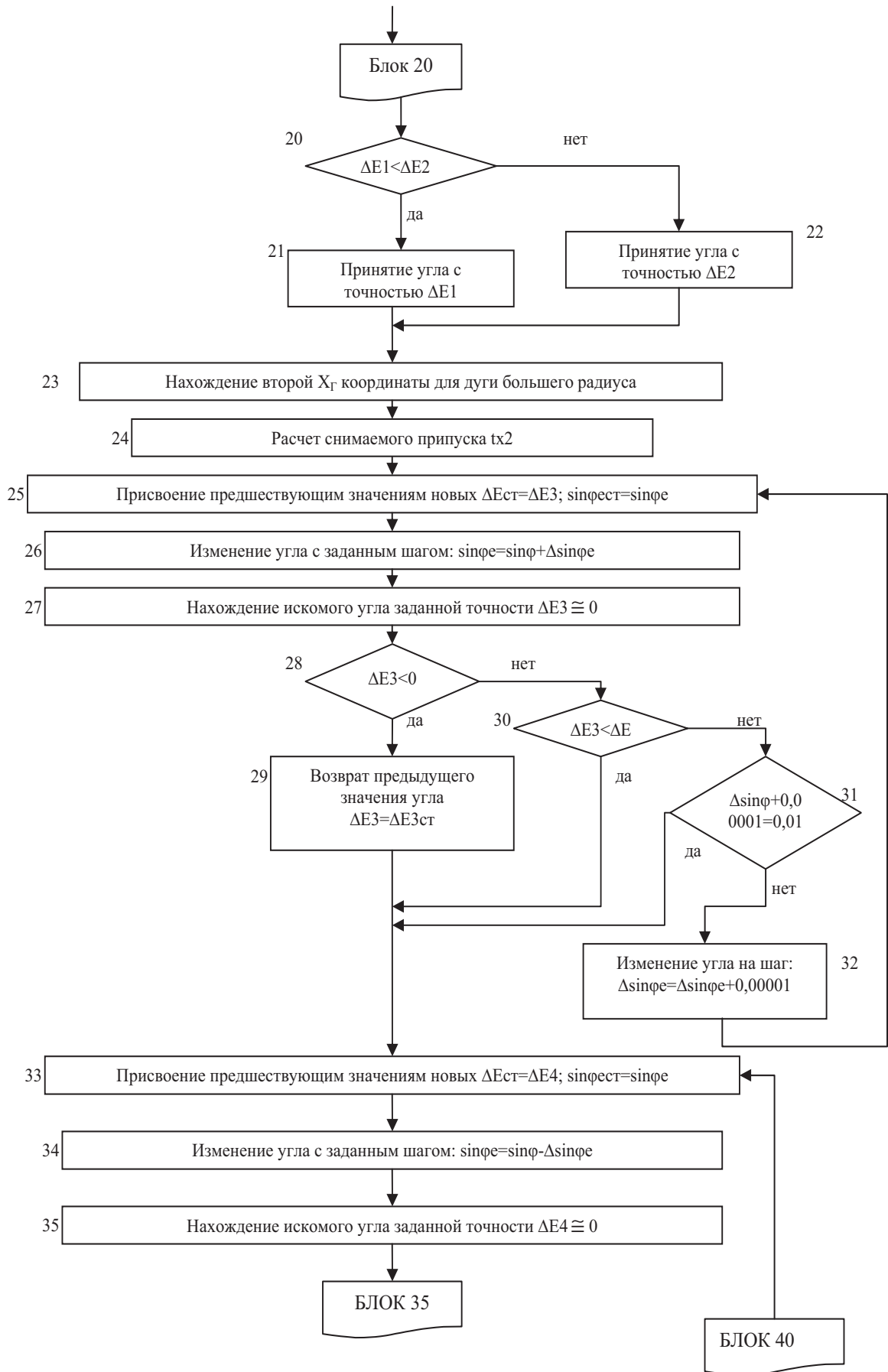


Рис. 3. Схема алгоритма расчета уменьшения волнистости (продолжение)

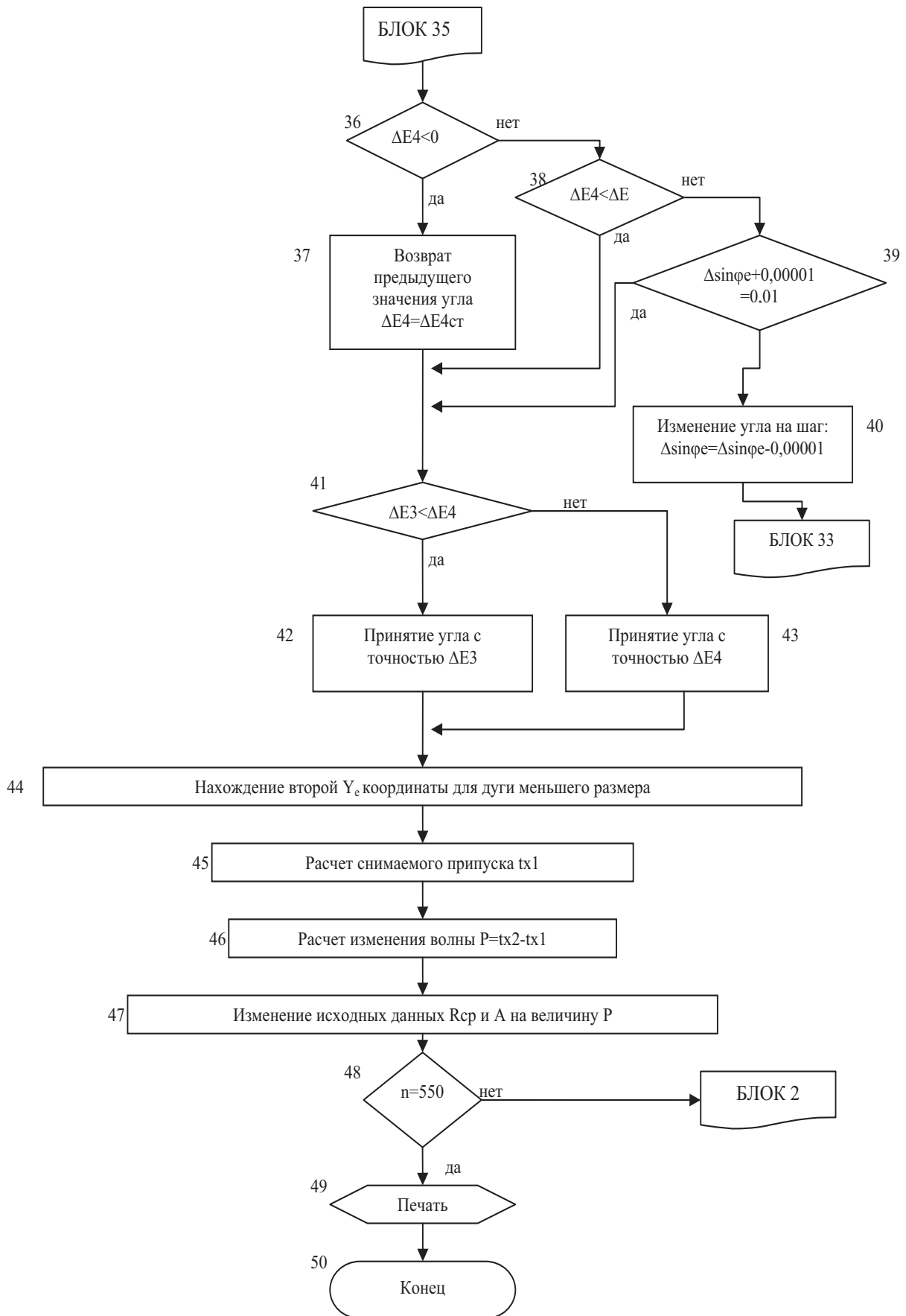


Рис. 3. Схема алгоритма расчета уменьшения волнистости (окончание)

$$\sin \varphi_{\Gamma_3} = 0,500145.$$

Определяют величину X_{Γ} , имея в виду, что $Y_{\Gamma} / X_{\Gamma} = \operatorname{tg} \varphi_3$.

Определяют тангенс этого угла

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{\sin \varphi}{\sqrt{1 - \sin^2 \varphi}} = \frac{0,500145}{\sqrt{1 - 0,500145^2}} = 0,577574.$$

$$\text{Тогда } X_{\Gamma} = 15 / 0,577574 = 25,970718.$$

Находят величину глубины резания из формулы 5:

$$tx_2 = 25,970718 - \sqrt{(30 - 0,01)^2 - (30/2)^2} = 0,0015035 \text{ мм.}$$

Часть 2. Контактное бруска в зоне наименьшего радиуса кривизны.

Принимают $\Delta \sin \varphi = -0,01$. Тогда $\sin \varphi_E = 0,49$. Поступают аналогично предыдущему действию - в зоне наибольшего радиуса кривизны. После пяти попыток находят угол, значение синуса которого $(\sin \varphi_E)_5 = 0,499856$. Аналогично находят координату $Y_E = 25,999074$ и глубину резания $tx_1 = 0,001526$ мм.

Далее, определяют разность глубин резания $tx_1 - tx_2 = 0,001526 - 0,001503 = 0,000023$ мм.

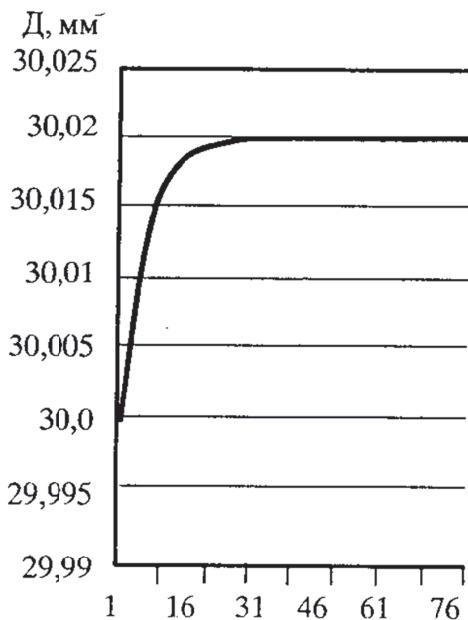
Таким образом, расчетным путем найдено,

что за один оборот инструмента относительно заготовки высота исходной волнистости (овальности) уменьшилась на 0,02 мкм. Следовательно, теперь можно определить, сколько требуется относительных оборотов заготовки и инструмента для достижения заданной высоты волнистости. Либо даже для ее полного исчезновения (по принятой математической модели). Очевидно, что серия таких расчетов довольно громоздка. Необходим перевод их на ЭВМ.

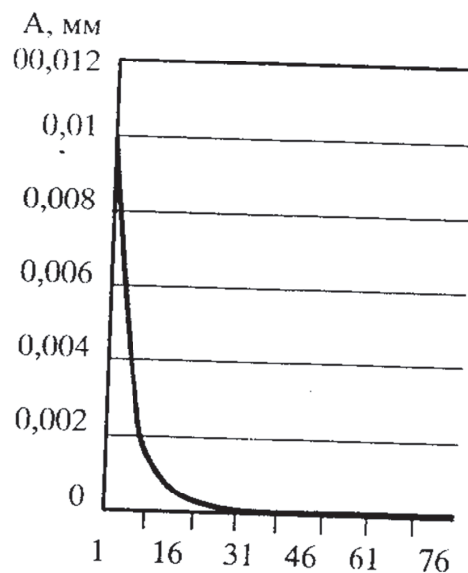
Алгоритм расчета остаточной волнистости. Принципиальная блок-схема алгоритма расчета изменения высоты волнистости приведена на рис. 3.

Программа выполнена и составлена на языке Delphi. 5.0

Ввод исходных данных $R_{CP}, A, bx, \Delta E, \sin \varphi$ производят в блоке 2. Задаются величиной шага угла положения искомой точки - блок 3. Задают цикл для нахождения искомого угла с заданной точностью для точки Г - блоки 4...11. В этом цикле угол последовательно увеличивают на шаг. Критерии выхода из цикла обеспечиваются блоками 7, 9, 10 (если угол стал отрицательный, если достиг заданной точности, если достиг предельной величины). В блоке 8 возвращаются к предшествующему значению угла, а в блоке 11 увеличивают угол на шаг. Такой же цикл повторяется в блоках 12... 19, но с уменьшением искомого угла на шаг с заданной точностью. После завершения этих двух циклов, сравниваются две



а)



б)

Рис. 4. Пооборотное изменение диаметра (а) поверхности отверстия и амплитуды (б) волнистости при ЦБХ

величины ΔE_1 и ΔE_2 и принимается та, которая наименьшая - блоки 20...22. После отыскания искомого угла переходят к расчету координаты X_g - блок 23. Затем находят снимаемый припуск (глубину резания) блок 24 (tx_2).

Действия, выполненные в блоках 4...24, повторяют в блоках 25...45, но для углов φ_E координаты и величины снимаемого слоя tx_1 . Определяют, насколько изменилась высота волнистости - блок 46. Затем изменяют исходные данные R_{cp} и A на величину уменьшения высоты волнистости - блок 47. Проверяют количество оборотов с изменением высоты волны - блок 48. Если высота волнистости достигла заданной величины, то выводят результаты расчета на печать - блок 49. В противном случае расчеты проводят вновь.

Для приведенного выше примера выполненные расчеты представлены в виде пообо-

ротного изменения диаметра (а) отверстия и амплитуды (б) волнистости (рис. 4). Из них видно, что уже после 37...40 оборотов амплитуда и высота волнистости при ЦБХ ниже допустимой, независимо от диаметра обрабатываемой поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ обработки отверстий. А.С.1803310 СССР. МКИ В24 В33/02; БИ 11,1993.
2. Способ обработки поверхностей вращения заготовок. А.С.1794633 СССР. МКИ В24. В 33/02; БИ 6,1993.
3. Прилуцкий В.А. Технологическое обеспечение точности и качества поверхностного слоя деталей машин путем управления периодическими погрешностями обработки: дисс. ... докт. техн. наук. Самара, 2004. 340 с.

THE GENERATION OF GEOMETRY SURFACES OF HOLE DURING PROCESSING ABRASIVE STICK (CENTRIFUGAL HONING OPERATION)

© 2020 V.A. Prilutsky

Samara State Technical University

The analysis method cyclic error of working of hole after centrifugal honing operation are stated.

Key words: hole, generation of geometry, abrasive stick, centrifugal honing operation, cyclic error of working.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-3-18-24