ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СТАНДАРТОВ
СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЫ

МЕТОДИКА

аттестации мер цилиндричности

МИ 145–77

МОСКВА
ИЗДАТЕЛЬСТВО СТАНДАРТОВ
1978

РАЗРАБОТАНА Всесоюзным научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВНИИМС)

Руководитель темы **В. С. Чихалов**
Ответственный исполнитель **С. С. Бабаев**

ПОДГОТОВЛЕНА К УТВЕРЖДЕНИЮ Всесоюзным научно-исследовательским институтом метрологической службы (ВНИИМС)

Начальник сектора **Г. А. Сафаров**
Исполнитель **Л. Б. Чернышева**

УТВЕРЖДЕНА Научно-техническим советом ВНИИМС 12 декабря 1977 г. (протокол № 9)

УДК 62-408.6(083.74)

МЕТОДИКА

АТТЕСТАЦИИ МЕР ЦИЛИНДРИЧНОСТИ

МИ 145–77

Настоящая методика распространяется на меры, представляющие собой цилиндрические поверхности, у которых нормированы параметры отклонений от цилиндричности и (или) ее составляющих — изогнутости, конусообразности и др., и (или) параметры отклонений формы профилей — некруглости и непрямолинейности, и устанавливает методы и средства их первичной и периодической аттестаций.

1. ОПЕРАЦИИ И СРЕДСТВА АТТЕСТАЦИИ

1.1. При проведении аттестации необходимо выполнять операции и применять средства поверки, указанные в таблице.

Наименование операций	Номера пунктов методики	Средства аттестации	Обязательность проведения операций при		
			выпуске из производства	ремонте	эксплуатации и хранении
Внешний осмотр	3.1		+	+	+
Преобразование реальной номинально цилиндрической поверхности и определение координат точек преобразованной поверхности	3.2				
в прямолинейной цилиндрической системе координат (непрямолинейность относительного перемещения в направлении оси вращения нормируется)	3.2.1	Талисента Талиронд 3	+	+	+

Наименование операций	Номера пунктов методики	Средства аттестации	Обязательность проведения операций при		
			выпуске из производства	ремонте	эксплуатации и хранении
в криволинейной цилиндрической системе координат (непрямолинейность относительного перемещения в направлении оси вращения не нормируется)	3.2.2	Талиронд 3	+	+	+
Определение параметров отклонений от цилиндричности	3.3	Талинова	+	+	+
Определение параметров изогнутости поверхности	3.4.	»	+	+	+
Определение параметров конусности поверхности	3.5.	»	+	+	+
Определение параметров отклонений от круглости	3.6.	»	+	+	+
Определение параметров отклонений от прямолинейности	3.7.	»	+	+	+

Примечание. Средства аттестации, указанные в таблице (пп. 3.2.1 и 3.2.2), приведены в качестве примеров для реализации схем 4 и 5.

1.2. Допускается применять методы и средства аттестации, не указанные в настоящей методике, и пользоваться специальными средствами, прошедшими метрологическую аттестацию в органах государственной метрологической службы и удовлетворяющими по точности требованиям аттестации мер.

2. УСЛОВИЯ АТТЕСТАЦИИ И ПОДГОТОВКА К НЕЙ

2.1. Перед аттестацией меры цилиндричности предварительно выдерживают в помещении, в котором проводят аттестацию, не менее 8 ч.

2.2. Аттестацию мер цилиндричности следует проводить в помещении при температуре воздуха 20±5°С и относительной влажности не более 75%.

2.3. Изменение температуры при измерении в течение 1 ч не должно превышать 0,2°С.

2.4. Амплитуда возможных вибраций при частоте 0,1—50 Гц не должна превышать 0,01—0,003 мм.

2.5. С цилиндрической меры должна быть удалена смазка бензином Б-70 по ГОСТ 1012—72, затем поверхности следует протереть чистым мягким полотенцем по ГОСТ 7259—77.

3. ПРОВЕДЕНИЕ АТТЕСТАЦИИ

3.1. Внешний осмотр.

При внешнем осмотре следует проверить соответствие мер цилиндричности требованию отсутствия на цилиндрической поверхности вмятин, царапин и других дефектов, ухудшающих свойства мер.

3.2. *Преобразование реальной номинально цилиндрической поверхности и определение координат точек преобразованной поверхности.*

3.2.1. В прямолинейной цилиндрической системе координат (непрямолинейность относительного перемещения в направлении оси вращения нормируется). Преобразование реальной номинально цилиндрической поверхности выполняют на приборе типа кругломер, имеющем аттестованные значения непрямолинейности относительного перемещения шпинделя (Рис. 1, 2) или шпиндельной коробки (Рис. 3, 4) вдоль оси вращения шпинделя и радиальной составляющей погрешности прибора при условии, что эти значения пренебрежимо малы по сравнению с нормируемым значением параметра нецилиндричности.

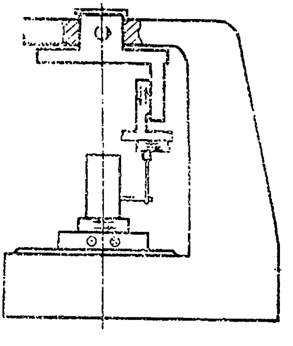

Рис. 1

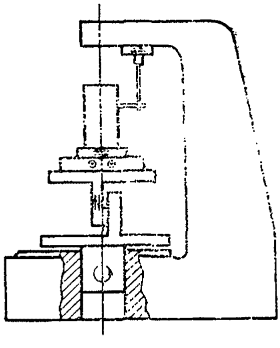

Рис. 2

Допускается применять приборы, у которых значения непрямолинейности перемещения узлов прибора и радиальной составляющей погрешности прибора могут быть соизмеримы с нормируемым значением параметра нецилиндричности при условии, что случайные составляющие этих погрешностей пренебрежимо малы по сравнению с систематическими и имеется методика исключения систематических погрешностей из результатов измерения отклонений координат точек реальной цилиндрической поверхности.

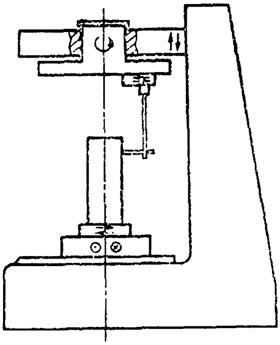

Рис. 3

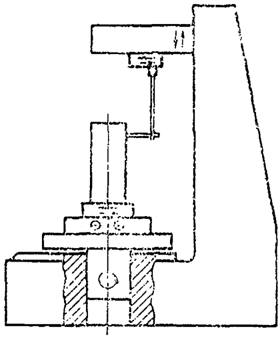

Рис. 4

Аттестуемый образец устанавливают на предметный стол прибора, и выполняют его центрирование и нивелирование путем устранения эксцентриситетов в верхнем и нижнем (крайних) сечениях контролируемой поверхности.

Выполняют операцию преобразования профилей реальной номинально цилиндрической поверхности путем ее ощупывания измерительным преобразователем в ряде равноудаленных друг от друга радиальных сечений при соблюдении условия, что при переходе от сечения к сечению не проводят дополнительного центрирования контролируемого образца и радиального смещения измерительного преобразователя и (или) изменения постоянной составляющей сигнала.

Координаты точек преобразованной поверхности определяют путем измерения отклонений радиуса-вектора U_{ji} (где $j=1, 2, \ldots, m$; $i = 1, 2, \ldots, n$) в n равномерно расположенных осевых сечениях каждого из m радиальных сечений от постоянного уровня, соответствующего некоторым произвольно выбранным окружностям постоянного радиуса, центры которых лежат на оси вращения шпинделя.

3.2.2. В криволинейной цилиндрической системе координат (непрямолинейность относительного перемещения в направлении оси вращения не нормируется). Преобразование реальной номинально цилиндрической поверхности выполняют на одном приборе типа кругломер, у которого как шпиндель, так и шпиндельная коробка снабжены направляющими для поступательного их перемещения в направлении оси вращения, или на двух приборах типа кругломер, один из которых имеет вращающийся измерительный преобразователь, а другой — вращающийся предметный стол.

Данным методом определяют те же координаты точек преобразованной поверхности, что и в системе координат, описанной в п. 3.2.1, при отсутствии каких-либо требований к прямолинейности перемещения узлов приборов в направлении оси вращения с точностью, определяемой в основном радиальной погрешностью прибора и погрешностью, возникающей в результате несовмещения сечений при повторных измерениях.

Аттестуемый образец устанавливают на предметный стол прибора и выполняют его центрирование и нивелирование аналогично изложенному в п. 3.2.1.

Выполняют операцию преобразования профилей реальной номинально цилиндрической поверхности путем ее ощупывания измерительным преобразователем в ряде равноудаленных друг от друга сечений, перемещая шпиндельную коробку вдоль оси вращения при соблюдении условия, что при переходе от сечения к сечению радиально не смещают измерительный преобразователь и (или) не изменяют постоянной составляющей сигнала (при этом допускается выполнять дополнительное центрирование контролируемого образца), если преобразование профилей выполняют на приборе, кинематическая схема которого представлена на рис. 5. Если преобразование профилей выполняют на приборе, кинематическая схема которого представлена на рис. 6, то не-

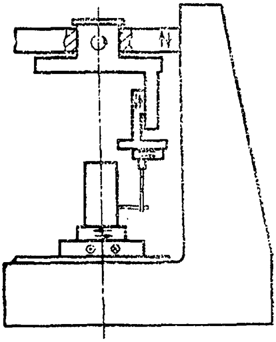

Рис. 5

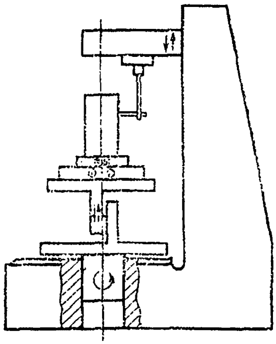

Рис. 6

обходимо соблюдать условие, что при переходе от сечения к сечению не проводят дополнительного центрирования контролируемого образца (при этом допускается радиально смещать измерительный преобразователь и (или) изменять постоянную составляющую сигнала).

Затем измерительный преобразователь возвращают в первоначальное положение.

Выполняют повторное ощупывание профилей в тех же радиальных сечениях цилиндрической поверхности, перемещая шпиндель вдоль оси вращения, при соблюдении условия, что при переходе от сечения к сечению не проводят дополнительного центрирования контролируемого образца (при этом допускается радиально смещать измерительный преобразователь и (или) изменять постоянную составляющую сигнала), если преобразование профилей выполняют на приборе, кинематическая схема которого представлена на рис. 5. В случае, если преобразование профилей выполняют на приборе, кинематическая схема которого представлена на рис. 6, то необходимо соблюдать условие, что при переходе от сечения к сечению радиально не смещают измерительный преобразователь и (или) не изменяют постоянной составляющей сигнала (при этом допускается дополнительно центрировать контролируемый образец).

Отклонения радиусов-векторов U_{1ji}, U_{2ji} измеряют аналогично указанному в п. 3.2.1 в одних и тех же точках пересечения сечений j и i.

Измерение отклонений координат точек реальной цилиндрической поверхности на двух приборах типа кругломер полностью соответствует измерению на приборе, имеющем направляющие для перемещения шпиндельной коробки и шпинделя, при условии, что радиальные составляющие погрешностей этих приборов и погрешность, возникающая в результате несовмещения точек пересечения сечений j и i, пренебрежимо малы.

При этом измерение на приборе с вращающимся измерительным преобразователем и относительно перемещающимся вдоль оси вращения предметным столом (см. рис. 3) соответствует измерению при перемещении шпиндельной коробки на приборе, выполненном по кинематической схеме рис. 5, или измерению при перемещении шпинделя на приборе, выполненном по кинематической схеме рис. 6, а измерение на приборе с вращающимся предметным столом и относительно перемещающимся вдоль оси вращения измерительным преобразователем (см. рис. 4) соответствует измерению при перемещении шпинделя на приборе, выполненном по кинематической схеме рис. 5, или измерению при перемещении шпиндельной коробки на приборе, выполненном по кинематической схеме рис. 6.

3.3. Определение параметров отклонений от цилиндричности.

Для определения параметров отклонений от цилиндричности необходимо по измеренным значениям координат точек преобразованной поверхности определить параметры базовой цилиндрической поверхности.

В цилиндрической системе координат реальная цилиндрическая поверхность может быть представлена выражением

$$f(\varphi,\rho,z)=\rho(\varphi,z)-R-(\lambda_x+\beta_x z)\cos\varphi-(\lambda_y+\beta_y z)\sin\varphi, \qquad (1)$$

где ρ (φ, z) — текущее значение радиуса-вектора реальной цилиндрической поверхности в произвольно выбранной системе координат; R — радиус базовой цилиндрической поверхности; λ_x, λ_y, β_x, β_y — параметры оси базовой цилиндрической поверхности. В соответствии с п. 3.2.1 выражение (1) примет вид

$$H_{jl}=\Delta\rho_{jl}-\Delta R-(\lambda_x+\beta_x z_j)\cos\varphi_l-(\lambda_y+\beta_y z_j)\sin\varphi_l, \quad (2)$$

где H_{jl} — отклонение радиуса-вектора в сечениях преобразованной поверхности от базовой цилиндрической поверхности; $\Delta\rho_{jl}$ — отклонение радиуса-вектора в сечениях преобразованной поверхности от цилиндрической поверхности произвольно выбранным радиусом R^*, ось которой совпадает с осью z; ΔR — постоянная составляющая отклонения радиуса базовой цилиндрической поверхности от поверхности радиусом R^*; z_j — координата сечения j; φ_l — координата сечения l.

Для оценки параметров отклонений от цилиндричности наиболее часто используют четыре вида базовой цилиндрической поверхности:

1) цилиндрическую поверхность, проведенную по методу наименьших квадратов;

2) прилегающую описанную цилиндрическую поверхность;

3) прилегающую вписанную цилиндрическую поверхность;

4) цилиндрическую поверхность наименьшей зоны (зональную поверхность).

Из этих поверхностей только для цилиндрической, проведенной по методу наименьших квадратов, выявлена математическая связь ее параметров R, λ_x, β_x, λ_y, β_y с координатами точек реальной поверхности. Параметры остальных трех поверхностей можно определить только итерационным путем.

На основе изложенного выше в данной методике приведены зависимости только для базовых поверхностей и линий, проведенных по методу наименьших квадратов.

Параметры базовой цилиндрической поверхности, проведенной по методу наименьших квадратов, определяют по координатам точек преобразованной по п. 3.2.1 реальной цилиндрической поверхности по формулам

$$\lambda_x=\frac{M_v\left(\sum\limits_{j=1}^{m} j^2\sum\limits_{j=1}^{m}\sum\limits_{l=1}^{n} U_{jl}\cos\frac{2\pi l}{n}-\sum\limits_{j=1}^{m} j\sum\limits_{j=1}^{m}\sum\limits_{l=1}^{n} jU_{jl}\cos\frac{2\pi l}{n}\right)}{\frac{n}{2}\left[m\sum\limits_{j=1}^{m} j^2-\left(\sum\limits_{j=1}^{m} j\right)^2\right]}; \quad (3)$$

$$\beta_x=\frac{M_v\left(m\sum\limits_{j=1}^{m}\sum\limits_{l=1}^{n} jU_{jl}\cos\frac{2\pi l}{n}-\sum\limits_{j=1}^{m} j\sum\limits_{j=1}^{m}\sum\limits_{l=1}^{n} U_{jl}\cos\frac{2\pi l}{n}\right)}{M_z\frac{n}{2}\left[m\sum\limits_{j=1}^{m} j^2-\left(\sum\limits_{j=1}^{m} j\right)^2\right]}; \quad (4)$$

$$\lambda_y=\frac{M_v\left(\sum\limits_{j=1}^{m} j^2\sum\limits_{j=1}^{m}\sum\limits_{l=1}^{n} U_{jl}\sin\frac{2\pi l}{n}-\sum\limits_{j=1}^{m} j\sum\limits_{j=1}^{m}\sum\limits_{l=1}^{n} jU_{jl}\sin\frac{2\pi l}{n}\right)}{\frac{n}{2}\left[m\sum\limits_{j=1}^{m} j^2-\left(\sum\limits_{j=1}^{m} j\right)^2\right]}; \quad (5)$$

$$\beta_y=\frac{M_v\left(m\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} jU_{ji}\sin\frac{2\pi i}{n}-\sum_{j=1}^{m} j\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} U_{ji}\sin\frac{2\pi i}{n}\right)}{M_z\frac{n}{2}\left[m\sum_{j=1}^{m} j^2-\left(\sum_{j=1}^{m} j\right)^2\right]}; \tag{6}$$

$$\Delta R=\frac{M_v}{mn}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} U_{ji}, \tag{7}$$

где M_v — масштабный множитель полярного вектора (цена деления при измерении U_{ji}); M_z — расстояние между сечениями j; $\Delta\rho_{ji}=U_{ji}M_v$; $z_j=jM_z$, $\varphi_i=\frac{2\pi i}{n}$.

Отклонения H_{ji} радиусов-векторов в сечениях j, i преобразованной поверхности от базовой цилиндрической поверхности, проведенной по методу наименьших квадратов, определяют с учетом выражений для $\Delta\rho_{ji}$, z_j, φ_i, λ_x, β_x, λ_y, β_y, ΔR по формуле

$$H_{ji}=M_v\left\{U_{ji}-\frac{1}{mn}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} U_{ji}-\right.$$
$$\left.-\frac{2[(Д\times F-Л\times T)C_i+(П\times F-Я\times T)S_i]}{n\Phi}\right\}, \tag{8}$$

где

$$Д=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} U_{ji}C_i;\quad П=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} U_{ji}S_i;\quad Л=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} jU_{ji}C_i;$$

$$Я=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} jU_{ji}S_i;\quad C_i=\cos\frac{2\pi i}{n};\quad S_i=\sin\frac{2\pi i}{n};$$

$$F=И-jГ;\quad T=Г-jm;\quad И=\sum_{j=1}^{m} j^2;\quad \Phi=mИ-Г^2;$$

$$Г=\sum_{j=1}^{m} j.$$

По значениям радиусов-векторов H_{ji} определяют параметры, характеризующие отклонения от цилиндричности.

1. Наибольшее отклонение от цилиндричности

$$НЦ_{\max}=|H_{\max}|+|H_{\min}|. \tag{9}$$

2. Среднее арифметическое значение из взятых по модулю отклонений от цилиндричности

$$НЦ_a=\frac{1}{mn}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}|H_{ji}|. \tag{10}$$

3. Среднее квадратическое значение отклонения от цилиндричности

$$НЦ_q=\sqrt{\frac{1}{mn}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} H_{ji}^2}. \tag{11}$$

В качестве примера в приложении 1 приведена программа на языке АЛМИР-65 для ЭВМ МИР 1.

Для определения параметров отклонений от цилиндричности при преобразовании реальной цилиндрической поверхности по п. 3.2.2 выражение (1) примет вид

$$H_{ji}=\Delta\rho_{1ji}-\Delta R_1-a_{1j}\cos\varphi_i-b_{1j}\sin\varphi_i+(a_{2j}-\lambda_{x_2}-\\-\beta_{x_2}z_j)\cos\varphi_i+(b_{2j}-\lambda_{y_2}-\beta_{y_2}z_j)\sin\varphi_i, \quad (12)$$

где $\Delta\rho_{1ji}$ — отклонения радиуса-вектора в сечениях j, i преобразованной поверхности от цилиндрической поверхности произвольно выбранным радиусом R^*, ось которой совпадает с осью z, при искаженной информации о положении и форме оси реальной поверхности; $\Delta\rho_{2ji}$ — отклонение радиуса-вектора в сечениях j, i преобразованной поверхности от цилиндрической поверхности радиусом R^*, ось которой совпадает с осью z, при искаженной информации об измерении постоянной составляющей реальной поверхности в каждом из сечений j; ΔR_1 — постоянная составляющая отклонения радиуса базовой цилиндрической поверхности, определенная по $\Delta\rho_{1ji}$, от поверхности радиусом R^*; a_{1j}, b_{1j}, a_{2j}, b_{2j} — проекции смещения центров базовых окружностей на осях, x, y в сечении j, определенные соответственно по $\Delta\rho_{1ji}$ и $\Delta\rho_{2ji}$ от оси z, λ_{x_2}, β_{x_2}, λ_{y_2}, β_{y_2} — параметры оси базовой цилиндрической поверхности, определенные по $\Delta\rho_{2ji}$.

Для базовой цилиндрической поверхности, проведенной по методу наименьших квадратов, значения ΔR_1, λ_{x_2}, β_{x_2}, λ_{y_2}, β_{y_2} определяют по формулам (7), (3), (4), (5), (6), подставляя вместо U_{ji} соответственно U_{1ji} или U_{2ji}.

Параметры a_{1j}, b_{1j} и a_{2j}, b_{2j} определяют по формулам

$$a_{1(2)j}=\frac{2M_v}{n}\sum_{i=1}^{n}U_{1(2)ji}\cos\frac{2\pi i}{n}; \quad (13)$$

$$b_{1(2)j}=\frac{2M_v}{n}\sum_{i=1}^{n}U_{1(2)ji}\sin\frac{2\pi i}{n}. \quad (14)$$

Отклонения H_{ji} радиусов-векторов в сечениях j, i преобразованной поверхности от базовой цилиндрической поверхности, проведенной по методу наименьших квадратов, определяют с учетом выражений для ΔR_1, λ_{x_2}, β_{x_2}, λ_{y_2}, β_{y_2}, a_{1j}, b_{1j}, a_{2j}, b_{2j}, z_j, φ_i, $\Delta\rho_{1ji}$, $\Delta\rho_{2ji}$ по формуле

$$H_{ji}=M_v\Big\{U_{1ji}-\frac{1}{mn}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n}U_{1ji}-\frac{2C_i}{n}\Big(\sum_{i=1}^{n}U_{1ji}C_i-\\-\sum_{i=1}^{n}U_{2ji}C_i\Big)-\frac{2S_i}{n}\Big(\sum_{i=1}^{n}U_{1ji}S_i-\sum_{i=1}^{n}U_{2ji}S_i\Big)-\\-\frac{2[(Д_2\times F-Л_2\times T)C_i+(П_2\times F-Я_2\times T)S_i]}{nФ}\Big\}, \quad (15)$$

где $Д_2=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} U_{2ji}C_i$; $П_2=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} U_{2ji}S_i$;

$Л_2=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} jU_{2ji}C_i$; $Я_2=\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} jU_{2ji}S_i$.

Программа определения параметров отклонений от цилиндричности при преобразовании реальной цилиндрической поверхности по п. 3.2.2 приведена в приложении 2.

В случае, если изогнутость цилиндрической поверхности пренебрежимо мала по сравнению с нецилиндричностью реальной поверхности, значения отклонений от цилиндричности для преобразования в соответствии с п. 3.2.1 могут быть определены по формуле

$$H_{ji}=M_v\Big(U_{ji}-\frac{1}{mn}\sum_{j=1}^{m}\sum_{i=1}^{n} U_{ji}-\frac{2C_i}{n}\sum_{i=1}^{n} U_{ji}C_i-$$

$$-\frac{2S_i}{n}\sum_{i=1}^{n} U_{ji}S_i\Big). \qquad (16)$$

3.4. Определение параметров изогнутости поверхности.

Под изогнутостью поверхности в данной методике понимается отклонение геометрического места центров базовых окружностей от оси базовой цилиндрической поверхности.

Для определения параметров изогнутости реальной цилиндрической поверхности по значениям координат точек U_{1ji} преобразованной по п. 3.2.1 поверхности или по координатам точек U_{2ji} преобразованной по п. 3.2.2 поверхности вычисляют координаты центров средних окружностей по формулам (13) и (14).

Определяют координаты прямых линий, построенных по методу наименьших квадратов в плоскостях zx и zy,

$$x_j=\lambda_x+\beta_x jM_z; \qquad (17)$$

$$y_j=\lambda_y+\beta_y jM_z, \qquad (18)$$

где коэффициенты λ_x, β_x, λ_y, β_y находят по формулам (3), (6).

Программа определения параметров и координат оси реальной цилиндрической поверхности приведена в приложении 3.

По значениям координат x_j и y_j определяют значения отклонений ΔC_j и фазовый угол γ_j геометрического места центров средних окружностей от оси базовой цилиндрической поверхности, проведенной по методу наименьших квадратов:

$$\Delta C_j=\sqrt{(a_j-x_j)^2+(b_j-y_j)^2}\,; \qquad (19)$$

$$\gamma_j=\frac{180}{\pi}\operatorname{arctg}\left(\frac{b_j-y_j}{a_j-x_j}\right). \qquad (20)$$

Графически изогнутость может быть представлена в виде совокупности радиусов-векторов ΔC_j, исходящих из одного центра.

(рис. 7). Для ее оценки используют два вида характеристик: предельные и усредненные.

В качестве предельных характеристик рекомендуется использовать один из трех параметров:

ξ_1 — удвоенное значение максимального отклонения ΔC_{max_1};

ξ_2 — наименьший диаметр охватывающей окружности;

ξ_3 — сумму наибольшего радиуса-вектора, взятого по модулю ΔC_{max_1}, имеющего фазовый угол $0 \ll \gamma_{max_1} \leqslant 360°$, и наибольшего радиуса-вектора, взятого по модулю ΔC_{max_2} с фазовым углом $\gamma_{max_1}+90° \leqslant \gamma_{max_2} \leqslant \gamma_{max_1}+270°$.

Параметр ξ_1 дает наибольшее значение изогнутости (диаметр окружности *1* на рис. 7), и ось охватывающего цилиндра совпадает с осью базового цилиндра, проведенного по методу наименьших квадратов.

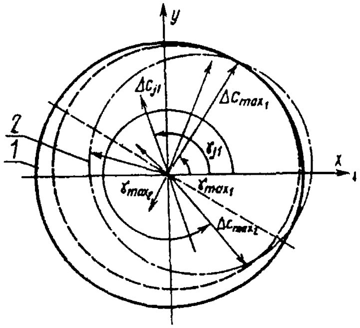

Рис. 7

Параметр ξ_2 дает меньшее, чем параметр ξ_1, значение изогнутости (диаметр окружности *2* на рис. 7) и в общем случае приводит к смещению центра охватывающей окружности в произвольном направлении относительно оси базового цилиндра, проведенного по методу наименьших квадратов. Определение значения параметра ξ_2 более трудоемко, чем значений параметров ξ_1 и ξ_3.

Значение параметра ξ_3 в общем случае находится между значениями параметров ξ_1 и ξ_2, т. е. $\xi_2 < \xi_3 < \xi_1$.

В частном случае для изогнутости в плоскости $\xi_3 \leqslant \xi_2 < \xi_1$ параметры ξ_1, ξ_2, ξ_3 определяются по формулам

$$\xi_1 = 2\Delta C_{max_1}; \tag{21}$$

$$\xi_2 = f(\Delta C_j, \gamma_j); \tag{22}$$

$$\xi_3 = \Delta C_{max_1} + \Delta C_{max_2}. \tag{23}$$

В качестве усредненных характеристик изогнутости могут быть использованы два параметра: среднее арифметическое значение изогнутости и среднее квадратическое значение изогнутости:

$$\xi_a = \frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m} \Delta C_j; \tag{24}$$

$$\xi_g = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^{m} \Delta C_j^2}{m}}. \tag{25}$$

Программа определения параметров изогнутости приведена в приложении 4.

3.5. Определение параметров конусности поверхности

В качестве параметров конусности выбраны: угол наклона образующей конической поверхности, проведенной по методу наименьших квадратов, к оси базовой цилиндрической поверхности, также проведенной по методу наименьших квадратов, и разность радиусов в сечениях, расположенных на заданной длине

В случае, если линия пересечения цилиндрической и конической поверхностей, проведенных по методу наименьших квадратов, проходит через сечение $(m+1)/2$, значение указанного выше угла определяют по формуле

$$\alpha=\operatorname{arctg}\frac{\sum\limits_{j=1}^{m}\sum\limits_{i=1}^{n}H_{ji}\left(j-\frac{m+1}{2}\right)}{M_z n\sum\limits_{j=1}^{m}\left(j-\frac{m+1}{2}\right)^2}\,; \tag{26}$$

$$\alpha^{*}=\frac{\alpha\cdot 648000}{\pi}\,.$$

Значение разности радиусов (PR) в крайних сечениях (на длине L) определяют по формуле

$$PR=M_z(m-1)\operatorname{tg}\alpha^{*}, \tag{27}$$

где $L = M_z\ (m-1)$.

Программа определения параметров конусности приведена в приложении 5.

3.6. Определение параметров отклонений от круглости.

Для определения параметров отклонений от круглости по значениям координат точек U_{1ji} преобразованной по п. 3.2.1 поверхности или координатам точек U'_{1ji} либо U'_{2ji} преобразованной по п. 3.2.2 поверхности вычисляют отклонения радиуса-вектора Q_{ji} преобразованного профиля от базовой окружности в каждом из m сечений.

Если в качестве базовой окружности используют окружность, проведенную по методу наименьших квадратов, то

$$Q_{ji}=M_vU_{ji}-\Delta R_j-a_j\cos\frac{2\pi i}{n}-b_j\sin\frac{2\pi i}{n}\,. \tag{28}$$

Значения параметров базовых окружностей ΔR_j, a_j, b_j определяют по формулам (7), (13), (14).

По значениям радиусов-векторов определяют параметры отклонений от круглости в каждом из m сечений.

Наибольшее значение некруглости

$$HK_{\max_j}=|Q_{\max_j}|+|Q_{\min_j}|\,. \tag{29}$$

Среднее арифметическое значение из взятых по модулю отклонений от круглости

$$HK_{a_j}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|Q_{ji}|. \tag{30}$$

Среднее квадратическое отклонение от круглости

$$HK_{q_j}=\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}Q_{ji}^2}\,. \qquad (31)$$

По значениям параметров, полученных по формулам (29) — (31), определяют их наибольшие и средние значения; $HK_{\max}$, $\overline{HK}_{\max}$, $HK_{a_{\max}}$, $\overline{HK}_a$, $HK_{q_{\max}}$, $\overline{HK}_q$.

Программа определения параметров отклонений от круглости приведена в приложении 6.

3.7. Определение параметров отклонений от прямолинейности.

Значения параметров отклонений от прямолинейности можно определить по координатам точек U_{ji} преобразованной по п. 3.2.1 поверхности или по отклонению радиуса-вектора H_{ji} от базовой цилиндрической поверхности.

Отклонение радиуса-вектора P_{ji} преобразованного профиля от базовой прямой линии, проведенной по методу наименьших квадратов, в каждом из n сечений, определяют по формуле

$$P_{ji}=M_i\left[U_{ji}-\frac{\sum\limits_{j=1}^{m}U_{ji}\sum\limits_{j=1}^{m}j^2-\sum\limits_{j=1}^{m}jU_{ji}\sum\limits_{j=1}^{m}j+jm\sum\limits_{j=1}^{m}jU_{ji}-j\sum\limits_{j=1}^{m}j\sum\limits_{j=1}^{m}U_{ji}}{m\sum\limits_{j=1}^{m}j^2-\left(\sum\limits_{j=1}^{m}j\right)^2}\right]. \qquad (32)$$

По значениям радиусов-векторов P_{ji} определяют параметры отклонений от прямолинейности в каждом из n сечений.

Наибольшее значение непрямолинейности

$$H\Pi_{\max_i}=|P_{\max_i}|+|P_{\min_i}|\,. \qquad (33)$$

Среднее арифметическое значение из взятых по модулю отклонений от прямолинейности

$$H\Pi_{a_i}=\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}|P_{ji}|. \qquad (34)$$

Среднее квадратическое значение отклонений от прямолинейности

$$H\Pi_{q_i}=\sqrt{\frac{1}{m}\sum_{j=1}^{m}P_{ji}^2}\,. \qquad (35)$$

По значениям параметров, полученных по формулам (33) — (35), определяют их наибольшие и наименьшие значения:

$$H\Pi_{\max\max},\ \overline{H\Pi}_{\max},\ H\Pi_{a_{\max}},\ \overline{H\Pi}_a,\ H\Pi_{q_{\max}},\ \overline{H\Pi}_q.$$

Программа определения параметров отклонений от прямолинейности приведена в приложении 7.

4. ПОГРЕШНОСТЬ АТТЕСТАЦИИ МЕР ЦИЛИНДРИЧНОСТИ

Погрешность аттестации меры цилиндричности Δ *НЦ* при применении метода преобразования реальной номинально цилиндрической поверхности, изложенного в п. 3.2.1, определяют по формуле, учитывающей некоррелированность и центрированность составляющих:

$$-K\sqrt{\sum_{f=1}^{10}\sigma_f^2}<\Delta НЦ<+K\sqrt{\sum_{f=1}^{10}\sigma_f^2}, \tag{36}$$

где K — коэффициент, учитывающий, что с заданной вероятностью P_Δ погрешность Δ *НЦ* находится внутри указанного интервала, и выбираемый согласно приложению 2 ГОСТ 8.009—71; σ_f — среднее квадратическое отклонение составляющей от влияния f-го фактора на погрешность измерения параметров отклонений от цилиндричности;

$f=1$ — погрешность коэффициента увеличения

$$\Delta_у=\frac{K_д-K_н}{K_н},$$

здесь $K_д$, $K_н$ — действительное и номинальное значения коэффициента увеличения соответственно;

$$\sigma_1=НЦ_{max}\cdot\Delta_у/\gamma_1;$$

$f=2$ — отклонение радиуса кривизны щупа Δ_r;

$$\sigma_2=\Delta_r(\sec\alpha_1-1)/\gamma_2,$$

где $\alpha_1=\operatorname{arctg}\frac{4Aq}{2\pi R}$ — угол наклона боковой грани неровности высокочастотной гармонической составляющей к базовой окружности; A — значение амплитуды гармонической составляющей; q — номер высокочастотной гармоники; R — радиус детали;
$f=3$ — максимальное отклонение частотной характеристики от номинального значения $\Delta_{ч.х}$;

$$\sigma_3=\Delta_{ч\,х}НЦ_{max}/\gamma_3$$

$f=4$ — число осевых сечений n;

$$\sigma_4=K_nНК_{max}/\gamma_4,$$

здесь $НК_{max}$ — максимальное значение некруглости сечения меры; K_n — коэффициент, принимающий значения от 0 до 1 и определяемый или экспериментально, или по теореме Котельникова;

$f=5$ — число радиальных сечений,

$$\sigma_5=П\cdot НП_{max}/\gamma_5,$$

здесь $НП_{max}$ — максимальное значение непрямолинейности образующей меры; $П$ — коэффициент, принимающий значение от 0 до 1 и определяемый или экспериментально, или по теореме Котельникова;

$f=6$ — непараллельность траектории перемещения щупа оси вращения шпинделя $\Delta_{п_1}$;

$$\sigma_6=\Delta_{п_1}/\gamma_6;$$

$f=7$ — погрешность вращения шпинделя радиальная $\Delta_{шр}$;

$$\sigma_7=\Delta_{шр}/\gamma_7;$$

$f=8$ — непрямолинейность траектории перемещения щупа $\Delta_{п_2}$;

$$\sigma_8=\Delta_{п_2}/\gamma_8;$$

$f=9$ — дрейф исходного нулевого уровня $\Delta_д$;

$$\sigma_9=\Delta_д/\gamma_9;$$

$f=10$ — погрешность вращения шпинделя осевая $\Delta_{шо}$;

$$\sigma_{10}=\Delta_{шо}\operatorname{tg}\alpha_2/\gamma_{10},$$

здесь $\alpha_2=\operatorname{arctg}\frac{4Aq}{l}$ — угол наклона боковой грани неровности высокочастотной гармонической составляющей к базовой прямой линии; l — длина, на которой определяют параметр нецилиндричности.

Погрешность аттестации меры цилиндричности при применении метода преобразования реальной номинально цилиндрической поверхности, изложенного в п. 3.2.2, определяют также по формуле (36), но с заменой факторов f_6—f_8:

$f=6$ — несовпадение осевых сечений при повторных измерениях $\Delta_{со}$;

$$\sigma_6=\sqrt{n}\cdot\Delta_{со}\cdot\operatorname{tg}\alpha_1/\gamma_6;$$

$f=7$ — погрешность вращения шпинделя $\Delta_{шр}$;

$$\sigma_7=\sqrt{2}\Delta_{шр}/\gamma_7,$$

$f=8$ — несовпадение радиальных сечений при повторных измерениях;

$$\sigma_8=\sqrt{m}\Delta_{ср}\operatorname{tg}\alpha_2\ \gamma_8;$$

γ_f (где $f=1, 2, \ldots$) — коэффициент, учитывающий закон распределения соответствующей погрешности.

5. ОФОРМЛЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ АТТЕСТАЦИИ

5.1. На меры цилиндричности, прошедшие аттестацию с положительными результатами, выдают свидетельство о государственной или ведомственной аттестации по форме, установленной Госстандартом СССР.

5.2. Результаты аттестации мер цилиндричности при выпуске из производства завод-изготовитель заносит в паспорт.

ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ЦИЛИНДРИЧНОСТИ ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ РЕАЛЬНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО п 3.2.1

```
""5.1.PP=ARCSIN(1)×2; L=2×PP/N; Г=Σ(J=1, M, J); И= Σ(J=1, M,
J×J); Ф=M×И—Г×Г; "ДЛ" I=1 "Ш"1"ДО"N"ВЫП"(C[I]=COS(I×L);
H[I]=SIN(I×L)); Д=0; Л=0; П=0; Я=0; "ДЛ"J=1"Ш"1"ДО"M"ВЫП"
(A= Σ(I=1, N, U[J, I]×C[I])/N×2; B= Σ(I=1, N, U[J, I]×H[I])/N×2; Д=Д+
+A; Л=Л+A×J; П=П+B; Я=Я+B×J); R= Σ(J=1, M, Σ(I=1, N, U [J,
I]))/(N×M); Б=0; Ы=0; Ц=0; Ю=0; Щ=0; Ж=0; "ДЛ"J=1"Ш"1"ДО"M"
ВЫП"(F=И—J×Г; T=Г—J×M; "ДЛ"I=1"Ш"1"ДО"N"ВЫП"(U[J, I]=
(U[J, I] — ((Д×F—Л×T)×C[I]+(П×F — Я×T)×H[I]/Ф — R)×MV; "E"
U[J, I]>Б"TO"(Б=U[J, I]; Ы=J; Ц=I; "HA"Q); "E" U[J, I]<Ю"TO"(Ю=U
[J, I]; Щ=J; Ж=1); Q.)); V=Б—Ю; CA= Σ(J=1, M, Σ(I=1, N, ABS(U [J,
I])))/(N×M); CK=V( Σ(J=1, M, Σ(I=1, N, U[J, I]↑2))/(N×M)); "ВЫВ""ЗН"
[НЕЦИЛИНДРИЧНОСТЬ], "ПР"2, [СЦ.MAX=], V, "ПР"2, [CA=], CA, "ПР"2,
[CK=], CK, "СТР", "ПР"18, [DR=], R×MV, "ПР"2, [MAX=], Б, "ПР"2, [J=],
Ы, "ПР", [I=], Ц, "СТР", "ПР"30, [MIN=], Ю, "ПР"2, [J=], Щ, "ПР", [I=],
Ж; "ВЫВ""МАСС"U"ГДЕ"MV=10; M=7; N=12; U[7, 12]=12.8, 12.5, 10.4, 8.6,
9, 11, 11, 8.1, 7.2, 8.7, 11, 11.7, 14, 12.4, 9.4, 7.1, 7, 8.2, 8.1, 7.4, 7.7, 10.1, 12.2,
13.8, 13.9, 11.3, 8.6, 6.2, 6, 7, 7.2, 7, 8, 10, 12.8, 14.3, 13.8, 11.3, 8.9, 6.9, 6.2, 6.2, 6.3,
6.8, 8, 10.1, 13, 14.2, 13.8, 11, 8.1, 6.3, 5.2, 4.8, 4.7, 5.5, 7.1, 10, 12.9, 14.4, 12.1,
10, 8, 7, 6.7, 6.1, 6, 6.2, 7.1, 9.8, 11.8, 13, 11.9, 10, 8, 7, 6.3, 5.2, 5, 5, 6.6, 9.8,
11.9, 13; C[12]; H[12] "KO"
```

НЕЦИЛИНДРИЧНОСТЬ СЦ.MAX=$.06471_{10}3$ CA=$1.02538_{10}1$ CK=$.12762_{10}2$
DR=$.9175_{10}2$ MAX=$.04287_{10}3$ J=1 I=7 MIN=$—.21834_{10}2$ J=7 I=1
U[7, 12]

$.01163_{10}3$	$.01485_{10}3$	$.005_{10}3$	.096
$.01562_{10}3$	$.0425_{10}3$	$.04287_{10}3$	$.7659_{10}1$
$—.12493_{10}2$	$—.10591_{10}2$	$.00088_{10}3$	$.1_{10}1$
$.02102_{10}3$	$.01267_{10}3$	$—4445_{10}1$	$—.12761_{10}2$
$—.121_{10}1$	$.01783_{10}3$	$.01648_{10}3$	$.1846_{10}1$
$—.0805_{10}2$	$.00127_{10}3$	$.00972_{10}3$	$.01867_{10}3$
$.01742_{10}3$	$.049_{10}1$	$—.11887_{10}2$	$—.19608_{10}2$
$—.08041_{10}2$	$.00916_{10}3$	$.01009_{10}3$	$—.0975_{10}1$
$—.05607_{10}2$	$—.188_{10}1$	$.01256_{10}3$	$.02034_{10}3$
$.01381_{10}3$	—.69	$—.08329_{10}2$	$—.10461_{10}2$
$—.02885_{10}2$	$.4493_{10}1$	$.3694_{10}1$	$—.01793_{10}2$
$—.06164_{10}2$	$—.303_{10}1$	$.0114_{10}3$	$.01601_{10}3$
$.01121_{10}3$	$—.487_{10}1$	$—.15772_{10}2$	$—.14312_{10}2$
$—.09725_{10}2$	$—.06174_{10}2$	$—.09699_{10}2$	$—.13608_{10}2$
$—.15721_{10}2$	$—.617_{10}1$	$.724_{10}1$	$.01468_{10}3$

$-.841_{10}1$	$-.1606_{10}2$	$-.16215_{10}2$	$-.05164_{10}2$
$.00844_{10}3$	$.01016_{10}3$	$.5918_{10}1$	$-.05419_{10}2$
$-.16278_{10}2$	$-.10326_{10}2$	$-.0693_{10}2$	$-.266_{10}1$
$-.1301_{10}2$	$-.1725_{10}2$	$-.15657_{10}2$	$-.03016_{10}2$
$.7612_{10}1$	$.4489_{10}1$	$-.1485_{10}1$	$-.1624_{10}2$
$-.21834_{10}2$	$-.12474_{10}2$	$-.091_{10}2$	$-.598_{10}1$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ЦИЛИНДРИЧНОСТИ ПРИ ПРЕОБРАЗОВАНИИ РЕАЛЬНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПО п. 3.2.2

```
""5.1.PP=ARCSIN(1)×2; L=2×PP/N; Г=Σ(J=1, M, J); И=Σ(J=1, M, J×J); Φ=M×И—Г×Г; "ДЛ"I=1"Ш"1"ДО"N"ВЫП"(C[I]=COS(I×L); H[I]= =SIN(I×L)); Д=Σ (J=1, M, Σ (I=1, N, U2[J, I]×C[I])); Л=Σ (J=1, M, Σ (I=1, N, J×U2[J, I]×C[I])); П=Σ (J=1, M, Σ (I=1, N, U2[J, I]× ×H[I])); Я=Σ (J=1, M, Σ(I=1, N, J×U2[J, I]×H[I])); R=Σ(У=1, MΣ (I=1, N, U1[J, I]))/(N×M); Б=0; Ы=0; Ц=0; Ю=0; Щ=0; Ж=0; "ДЛ"J=1"Ш"1" ДО"M"ВЫП" (F=И—J×Г; T=Г—J×M; A1=Σ (I=1, N, U1[J, I]×C[I]; A2=Σ (I=1, N, U2[J, I]×C[I]); B1=Σ(I=1, N, U1[J,I]×H[I];B2=Σ (I=1, N, U2[J, I]×H [I]; "ДЛ"I=1"Ш"1"ДО"N"ВЫП"(U1[J, I]=(U1[J, I]—R—2×C[I]×(A1—A2+ +(Д×F—Л×T)/Φ)/N—2×H[I]×(B1—B2+(П×F—Я×T)/Φ)/N)×MV; "E"U1[J, I] >Б"TO"(Б=U1[J, I]; Ы=J; Ц=I; "HA"Q); "E"U1[J, I]<Ю"TO"(Ю=U1[J, I]; Щ=J; Ж=I); Q.)); V=Б—Ю; CA=Σ(J=1, M, Σ (I=1, N, ABS(U1[J, I])))/ (N×M); CK=V(Σ (J=1, M, Σ (I=1, N, U1[J, I]↑2))/(N×M)); "ВЫВ""ЗН" [НЕЦИЛИНДРИЧНОСТЬ], "ПР"2, [СЦ.MAX=], V, "ПР"2, [CA=], CA×MV, "ПР"2, [CK=], CK, "СТР", "ПР"18, [DR=], R×MV, "ПР"2, [MAX=], Б, "ПР"2, [J=], Ы, "ПР", [I=], Ц, "СТР", "ПР"30, [MIN=], Ю, "ПР"2, [J=], Щ, "ПР", [I=], Ж; "ВЫВ""МАСС"U1"ГДЕ"MV=10; M=7; N=12; U1[7, 12]=12.8, 12.5, 10.4, 8.6, 9, 11, 11, 8.1, 7.2, 8.7, 11, 11.7, 14, 12.4, 9.4, 7.1, 7, 8.2, 8.1, 7.4, 7.7, 10.1, 12.2, 13.8, 13.9, 11.3, 8.6, 6.2, 6, 7, 7.2, 7, 8, 10, 12.8, 14.3, 13.8, 11.3, 8.9, 6.9, 6.2, 6.2, 6.3, 6.8, 8, 10.1, 13, 14.2, 13.8, 11, 8.1, 6.3, 5.2, 4.8, 4.7, 5.5, 7.1, 10, 12.9, 14.4, 12.1, 10, 8, 7, 6.7, 6.1, 6, 6.2, 7.1, 9.8, 11.8, 13, 11.9, 10, 8, 7, 6.3, 5.2, 5, 5, 6.6, 9.8, 11.9, 13; U2[7, 12]=12.8, 12.5, 10.4, 8.6, 9, 11, 11, 8.1, 7.2, 8.7, 11, 11.7, 14, 12.4, 9.4, 7.1, 7, 8.2, 8.1, 7.4, 7.7, 10.1, 12.2, 13.8, 13.9, 11.3, 8.6, 6.2, 6, 7, 7.2, 7, 8, 10, 12.8, 14.3, 13.8, 11.3, 8.9, 6.9, 6.2, 6.2, 6.3, 6.8, 8, 10.1, 13, 14.2, 13.8, 11, 8.1, 6.3, 5.2, 4.8, 4.7, 5.5, 7.1, 10, 12.9, 14.4, 12.1, 10, 8, 7, 6.7, 6.1, 6, 6.2, 7.1, 9.8, 11.8, 13, 11.9, 10, 8, 7, 6.3, 5.2, 5, 5, 6.6, 9.8, 11.9, 13; C[12]; H[12]"KO"
```

НЕЦИЛИНДРИЧНОСТЬ СЦ.MAX=$.06472_{10}3$ CA=$.10252_{10}3$ CK=$12762_{10}2$
DR=$.9175_{10}2$ MAX=$.04288_{10}3$ J=1 I=7
MIN=$-.21836_{10}2$ J=7 I=9 U[7, 12]

$.01163_{10}3$	$.01484_{10}3$	$.005_{10}3$	$.0095_{10}1$
$.15631_{10}2$	$.04251_{10}3$	$.04288_{10}3$	$.7665_{10}1$
$-.1249_{10}2$	$-.1059_{10}2$	$.08764_{10}1$	$.09928_{10}1$
$.02102_{10}3$	$.01267_{10}3$	$-.44474_{10}1$	$-.12755_{10}2$
$-.12035_{10}1$	$.17842_{10}2$	$.16492_{10}2$	$.1848_{10}1$
$-.08048_{10}2$	$.1261_{10}1$	$.00971_{10}3$	$.01866_{10}3$
$.01741_{10}3$	$.00048_{10}3$	$-.11889_{10}2$	$-.19605_{10}2$
$-.08037_{10}2$	$.09175_{10}2$	$.101_{10}2$	$-.00968_{10}2$
$-.05606_{10}2$	$-.18886_{10}1$	$.01254_{10}3$	$.02033_{10}3$
$.01382_{10}3$	$-.69683$	$-.08329_{10}2$	$-.10461_{10}2$
$-.28827_{10}1$	$.44956_{10}1$	$.36972_{10}1$	$.01792_{10}2$
$-.06164_{10}2$	$-.30318_{10}1$	$.01139_{10}3$	$.01601_{10}3$
$-.01121_{10}3$	$-.48806_{10}1$	$-.15772_{10}2$	$-.14314_{10}2$
$-.09722_{10}2$	$-.06175_{10}2$	$-.09701_{10}2$	$-.1361_{10}2$
$-.15721_{10}2$	$-.06178_{10}2$	$.72307_{10}1$	$.01468_{10}3$
$-.84043_{10}1$	$-.16063_{10}2$	$-.16213_{10}2$	$-.51635_{10}1$
$.08444_{10}2$	$.10158_{10}2$	$.59073_{10}1$	$-.05427_{10}2$
$-.16279_{10}2$	$-.10328_{10}2$	$-.06935_{10}2$	$-.26566_{10}1$
$-.13004_{10}2$	$-.1724_{10}2$	$-.15655_{10}2$	$-.30173_{10}1$
$.07602_{10}2$	$.44826_{10}1$	$-.01493_{10}2$	$-.16247_{10}2$
$-.21836_{10}2$	$-.12473_{10}2$	$-.09093_{10}2$	$-.59818_{10}1$

Примечание: С целью проверки алгоритма программы (приложение 2) и сопоставления результатов обработки с программой (приложение 1) массивы U1 и U2 взяты одинаковыми.

ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ И КООРДИНАТ ОСИ РЕАЛЬНОЙ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПОВЕРХНОСТИ

```
""'5.1.PP=ARCSIN(1)×2; L=2×PP/N; Г= Σ(J=1, M, J); И=Σ(J=1, M,
J×J); Ф=M×И—Г×Г; "ДЛ"I=1"Ш"1"ДО"N"ВЫП"(C[I]=COS(I×L); H[I]=
=SIN(I×L)); LLX=2×MV×(И×Σ(J=1, M, Σ (I=1, N, U[J, I]×C[I]))—Г×
×Σ(J=1, M, Σ (I=1, N, J×U[J, I]×C[I])))/(N×Ф); BBX=2×MV×(M×Σ
(J=1, M, Σ (I=1, N, J×U[J, I]×C[I]))—Г×Σ (J=1, M, Σ(I=1, N, U[J, I]×C
[I])))/(MZ×N×Ф); LLУ=2×MV×(И×Σ(J=1, M, Σ (I=1, N, U[J, I]×H[I]))
—Г×Σ (J=1, M, Σ (I=1, N, J×U[J, I]×H[I])))/(N×Ф); BBУ=2×MV×(M×
×Σ(J=1, M, Σ (I=1, N, J×U[J, I]×H[I]))—Г×Σ(J=1, M, Σ(I=1, N, U[J,
I]×H[I])))/(MZ×N×Ф); "ДЛ"J=1"Ш"1"ДО"M"ВЫП"(X[J]=LLX+BBX×J×
×MZ; У[J]=LLУ+BBУ×J×MZ);"ВЫВ""ЗН"[LLX=], LLX,"ПР"2, [BBX=], BBX,
"ПР"2, [LLУ=], LLУ, "ПР"2, [BBУ=], BBУ; "ВЫВ""МАСС"X; "ВЫВ""МАСС"У"
"ГДЕ"MZ=10000; MV=10; M=7; N=12; U[7, 12]=12.8, 12.5, 10.4, 8.6, 9, 11, 11,
8.1, 7.2, 8.7, 11, 11.7, 14, 12.4, 9.4, 7.1, 7, 8.2, 8.1, 7.4, 7.7, 10.1, 12.2, 13.8, 13.9, 11.3,
8.6, 6.2, 6, 7, 7.2, 7, 8, 10, 12.8, 14.3, 13.8, 11.3, 8.9, 6.9, 6.2, 6.2, 6.3, 6.8, 8, 10.1, 13, 14.2,
13.8, 11, 8.1, 6.3, 5.2, 4.8, 4.7, 5.5, 7.1, 10, 12.9, 14.4, 12.1, 10, 8, 7, 6.7, 6.1, 6,
6.2, 7.1, 9.8, 11.8, 13, 11.9, 10, 8, 7, 6.3, 5.2, 5, 5, 6.6, 9.8, 11.9, 13; C[12]; H[12];
X[7]; У[7]"KO"
```

LLX=$2.09268_{10}1$	BBX=$3.32908_{10}{-4}$	LLУ=$.78095_{10}1$	BBУ=$-.55892_{10}{-4}$

X[7]

$.24255_{10}2$	$.27584_{10}2$	$.30913_{10}2$	$.34242_{10}2$
$.37571_{10}2$	$.409_{10}2$	$.44229_{10}2$	

У[7]

$.72506_{10}1$	$.66917_{10}1$	$.61328_{10}1$	$.55739_{10}1$
$.50149_{10}1$	$.4456_{10}1$	$.38971_{10}1$	

ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ИЗОГНУТОСТИ

```
""5.1.PP=ARCSIN(1)×2; L=2×PP/N; Г=Σ(J=1, M, J); И=Σ(J=1, M,
J×J); Ф=M×И—Г×Г; "ДЛ"I=1"Ш"1"ДО"N"ВЫП"(C[I]=COS(I×L); H[I]=
=SIN(I×L)); LLX=2×MV×(И×Σ(J=1, M, Σ (I=1, N, U[J, I]×C[I]))—Г×
×Σ(J=1, M, Σ (I=1, N, J×U[J, I]×C[I])))/(N×Ф); BBX=2×MV×(M× Σ
(J=1, M, Σ (I=1, N, J×U[J, I]×C[I]))—Г×Σ (J=1, M, Σ (I=1, N, U[J, I]×
×C[I])))/(MZ×N×Ф); LLУ=2×MV×(И× Σ(J=1, M, Σ(I=1, N, U[J, I]× H[I]))
—Г×Σ(J=1, M, Σ (I=1, N, J×U[J, I]×H[I])))/(N×Ф); BBУ=2×MV×(M×Σ
(J=1, M, Σ (I=1, N, J×U[J, I]×H[I]))—Г×Σ(J=1, M, Σ (I=1, N, U[J, I]×H
[I])))/MZ×N×Ф); Б1=0; "ДЛ"J=1"Ш"1"ДО"M"ВЫП"(A=2×MV×Σ(I=1, N,
U[J, I]×C[I]/N)—LLX—BBX×J×MZ; B=2MV×Σ(I=1, N, U[J, I]×H[I]/N)—
—LLУ—BBУ×J×MZ; S[J]=√ (A×A+B×B); "E"B=0"TO" ("E"A≥0"TO"("F=0)
"ИН"(F = PP))"ИН"("E"B>0"TO"("E"A = 0"TO" (F=PP/2)"ИН"("E"
A>0"TO" (F=ARCTG(B/A))"ИН" (F=PP+ARCTG(B/A))))"ИН"("E"A=0"TO"
(F=3/2×PP)"ИН"("E"A>0"TO"(F=2×PP+ARCTG(B/A))"ИН"(F=PP+AR
CTG(B/A))))); GG[J]=F×180/PP; "E"S[J]>Б1"TO"(Б1=S[J]; Ы=J; Ц=GG
[J])); ИA= Σ(J=1, M, S[J]),/M; ИQ=√Σ (J=1, M, S[J]↑2)/M); "ВЫВ""ЗН"
[ИЗОГНУТОСТЬ], "ПР"2, [И.MAX1=], Б1×2, "ПР"2, [J=], Ы, "ПР"2, [GG=],
Ц, "СТР", "ПР"13, [И.A=], ИA, "ПР"2,[И.Q=], ИQ; "ВЫВ" "МАСС"S; "ВЫВ"
"МАСС"GG"ГДЕ"MZ=10000; MV=10; M=7; N=12; U[7, 12]=12.8, 12.5, 10.4,
8.6, 9, 11, 11, 8.1, 7.2, 8.7, 11, 11.7, 14, 12.4, 9.4, 7.1, 7, 8.2, 8.1, 7.4, 7.7, 10.1,
12.2, 13.8, 13.9, 11.3, 8.6, 6.2, 6, 7, 7.2, 7, 8, 10, 12.8, 14.3, 13.8, 11.3, 8.9, 6.9, 6.2,
6.2, 6.3, 6.8, 8, 10.1, 13, 14.2, 13.8, 11, 8.1, 6.3, 5.2, 4.8, 4.7, 5.5, 7.1, 10, 12.9,
14.4, 12.1, 10, 8, 7, 6.7, 6.1, 6, 6.2, 7.1, 9.8, 11.8, 13, 11.9, 10, 8, 7, 6.3, 5.2, 5,
5, 6.6, 9.8, 11.9, 13; C[12]; H[12]; S[7]; GG[7]"КО"
```

ИЗОГНУТОСТЬ И.MAX1=$.2893_{10}2$ J=1 GG=$1.63458_{10}2$
И.A=$.847_{10}1$ И.Q=$.89802_{10}1$

S[7]

$.14465_{10}2$	$.44339_{10}1$	$.87195_{10}1$	$.63427_{10}1$
$.10334_{10}2$	$.77792_{10}1$	$.72187_{10}1$	

GG[7]

$1.63458_{10}2$	$.35480_{10}3$	$.32889_{10}3$	$.34519_{10}3$
2.24657	$1.85134_{10}2$	$1.58181_{10}2$	

ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОНУСНОСТИ

```
""5.1.PP=ARCSIN(1)×2; L=2×PP/N; Г=Σ(J=1, M, J); И=Σ(J=1, M,
J×J); Ф=M×И—Г×Г; "ДЛ"I=1"Ш"1"ДО"N"ВЫП"(C[I]=COS(I×L); H[I]=
=SIN(I×L)); Д=0; Л=0; П=0; Я=0; "ДЛ"J=1"Ш"1ДО"M"ВЫП"(A=Σ
(I=1, N, U[J, I]×C[I])/N×2; B=Σ(I=1, N, U[J, I]×H[I])/N×2; Д=Д+A;
Л=Л+A×J; П=П+B; Я=Я+B×J); R=Σ(J=1, M, Σ(I=1, N, U[J, I]))/
(N×M); "ДЛ"J=1"Ш" 1"ДО"M"ВЫП"(F=И—J×Г; T=Г—J×M; "ДЛ"I=1"Ш"
1"ДО"N"ВЫП"U[J, I]=U[J, I]—((Д×F—Л×T)×C[I]×(П×F—Я×T)×H[I])/
Ф—R); S=Σ(J=1, M, Σ(I=1, N, U[J, I]×MV×(J—(M+1)/2)))/(MZ×N×Σ
(J=1, M,(J—(M+1)/2)↑2)); LL=ARCTG(S); "ВЫВ""ЗН"[КОНУСНОСТЬ],
"ПР"2, [LL=], LL×180×3600/PP, "ПР"2, [PR=], S×(M—1)×MZ, "ПР"2,
[DR=], R×MV"ГДЕ"MZ=10000; MV=10; M=7; N=12; U[7, 12]=12.8, 12.5,
10.4, 8.6, 9, 11, 11, 8.1, 7.2, 8.7, 11, 11.7, 14, 12.4, 9.4, 7.1, 7, 8.2, 8.1, 7.4, 7.7,
10.1, 12.2, 13.8, 13.9, 11.3, 8.6, 6.2, 6, 7, 7.2, 7, 8, 10, 12.8, 14.3, 13.8, 11.3, 8.9,
6.9, 6.2, 6.2, 6.3, 6.8, 8, 10.1, 13, 14.2, 13.8, 11, 8.1, 6.3, 5.2, 4.8, 4.7, 5.5, 7.1, 10, 12.9,
14.4, 12.1, 10, 8, 7, 6.7, 6.1, 6, 6.2, 7.1, 9.8, 11.8, 13, 11.9, 10, 8, 7, 6.3, 5.2, 5, 5,
6.6, 9.8, 11.9, 13; C[12]; H[12]"КО"
```

КОНУСНОСТЬ LL=—.63016$_{10}$2 PR=—.1833$_{10}$2 DR=.9175$_{10}$2

ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ КРУГЛОСТИ

```
""5.1.L=ARCSIN(1)×4/N; "ДЛ"I=1"Ш"1"ДО"N"ВЫП"(C[I]=COS(I×L);
H[I]=SIN(I×L)); C=0; Z=0; G=0; Q=0; T=0; F=0; "ДЛ"J=1"Ш"1"ДО"
"M"ВЫП"(Б=0; Ю=0; R=Σ(I=1, N, U[J, I])/N; A=Σ(I=1, N, U[J, I]×C
[I])/N×2; B=Σ(I=1, N, U[J, I]×H[I])/N×2; "ДЛ"I=1"Ш"1"ДО"N"ВЫП"(U[J,
I]=MV×(U[J, I]—A×C[I]—B×H[I]—R); "Е"U[J, I]>Б"ТО"(Б=U[J, I]; "НА"
2); "Е"U[J, I]<Ю"ТО"(Ю=U[J, I]); 2.); Д=Б—Ю; CA=Σ(I=1, N, ABS(U[J,
I]))/N; CK=√(Σ(I=1, N, U[J, I]↑2)/N); "Е"Д>C"ТО"(C=Д; W=J); "Е"
CA>G"ТО"(G=CA; V=J); "Е"CK>Q"ТО"(Q=CK; S=J); T=T+Д, F=F+CA;
Z=Z+CK); "ВЫВ""ЗН"[НЕКРУГЛОСТЬ], "ПР"2, [HKMAX.MAX=], C, "ПР"
2, [J=], W, "ПР"2, [HKMAX.C=], T/M, "СТР", "ПР"13, [HKA.MAX=], G, "ПР"
2, [J=], V, "ПР"2, [HKA.C=], F/M, "СТР", "ПР"13, [HKQ.MAX=], Q, "ПР"2, [J=],
S, "ПР"2, [HKQ.C=], Z/M"ГДЕ"MV=10; M=7; N=12; U[7, 12]=12.8, 12.5,
10.4, 8.6, 9, 11, 11, 8.1, 7.2, 8.7, 11, 11.7, 14, 12.4, 9.4, 7.1, 7, 8.2, 8.1, 7.4, 7.7,
10.1, 12.2, 13.8, 13.9, 11.3, 8.6, 6.2, 6, 7, 7.2, 7, 8, 10, 12.8, 14.3, 13.8, 11.3, 8.9,
6.9, 6.2, 6.2, 6.3, 6.8, 8, 10.1, 13, 14.2, 13.8, 11, 8.1, 6.3, 5.2, 4.8, 4.7, 5.5, 7.1,
10, 12.9, 14.4, 12.1, 10, 8, 7, 6.7, 6.1, 6, 6.2, 7.1, 9.8, 11.8, 13, 11.9, 10, 8, 7, 6.3,
5.2, 5, 5, 6.6, 9.8, 11.9, 13; C[12]; H[12]"КО"
```

НЕКРУГЛОСТЬ HKMAX.MAX=$.04334_{10}3$ J=1 HKMAX.C=$.26471_{10}2$
HKA.MAX=$1.19425_{10}1$ J=1 HKA.C=$.78457_{10}1$
HKQ.MAX=$.13432_{10}2$ J=1 HKQ.C=$.88562_{10}1$

ПРОГРАММА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОТКЛОНЕНИЙ ОТ ПРЯМОЛИНЕЙНОСТИ

```
""5.1.Г=Σ(J=1, M, J); И= Σ (J=1, M, J×J); Ф=M×И—Г×Г; C=0; G=0;
Q=0; T=0; F=0; Z=0; "ДЛ"I=1"Ш"1"ДО"N"ВЫП"(Б=0; Ю=0; A=Σ(J=1, M,
U[J, I]); B=Σ (J=1, M, U[J, I]×J); "ДЛ"J=1"Ш"1"ДО"M"ВЫП"(U[J, I]=
=MV×(U[J, I]—(И×A—Г×B+M×J×B—J×Г×A)/Ф); "E"U[J, I]>Б"ТО"
(Б=U[J, I]; "НА"Q); "E"U[J, I]<Ю"ТО"(Ю=U[J, I]); Q.); Д=Б—Ю; CA= Σ
(J=1, M, ABS(U[J, I]))/M; CK=√(Σ(J=1, M, U[J, I]↑2)/M); "E"Д>C"ТО"
(C=Д; W=I); "E"CA>G"ТО"(G=CA; V=I); "E"CK>Q"ТО"(Q=CK; S=I);
T=T+Д; F=F+CA; Z=Z+CK); "ВЫВ""ЗН"[НЕПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ],
"ПР"2, [НПMAX.MAX=], C, "ПР"2, [I=], W, "ПР"2, [НПMAX.C=], T/N,
"СТР", "ПР"19, [НПA.MAX=], G, "ПР"2, [I=], V, "ПР"2, [НПA.C=], F/N,
"СТР", "ПР"19, [НПQ.MAX=], Q, "ПР"2, [I=], S, "ПР"2, [НПQ.C=], Z/N
"ГДЕ"MV=10; M=7; N=12; U[7, 12]=12.8, 12.5, 10.4, 8.6, 9, 11, 11, 8.1, 7.2,
8.7, 11, 11.7, 14, 12.4, 9.4, 7.1, 7, 8.2, 8.1, 7.4, 7.7, 10.1, 12.2, 13.8, 13.9, 11.3,
8.6, 6.2, 6, 7, 7.2, 7, 8, 10, 12.8, 14.3, 13.8, 11.3, 8.9, 6.9, 6.2, 6.2, 6.3, 6.8, 8, 10.1,
13, 14.2, 13.8, 11, 8.1, 6.3, 5.2, 4.8, 4.7, 5.5, 7.1, 10, 12.9, 14.4, 12.1, 10, 8, 7, 6.7,
6.1, 6, 6.2, 7.1, 9.8, 11.8, 13, 11.9, 10, 8, 7, 6.3, 5.2, 5, 5, 6.6, 9.8, 11.9, 13"КО"
```

НЕПРЯМОЛИНЕЙНОСТЬ НПMAX.MAX=$.028_{10}3$ I=6 НПMAX.C=$1.801_{10}1$
НПA.MAX=$.91842_{10}1$ I=6 НПA.C=5.5565
НПQ.MAX=$.97886_{10}1$ I=6 НПQ.C=6.16091

МЕТОДИКА

аттестации мер цилиндричности

МИ 145—77

Редактор *С. Я. Рыско*
Технический редактор *В. Ю. Смирнова*
Корректор *Н. Л. Шнайдер*

Сдано в набор 10.04.78 Подп. в печ. 04.07.78 Т—12930 Формат 60×90 1/16 Бумага типографская № 2 Гарнитура литературная Печать высокая 1,5 усл. печ. л. 1,48 уч.-изд. л. Тир. 3000 Зак. 1068
Изд. № 5496/42

Ордена «Знак Почета» Издательство стандартов. Москва, Д-557, Новопресненский пер., 3
Калужская типография стандартов, ул. Московская, 256.