

$$Z_{3max} = S_{1min} - S_{2max} + S_{3min} - Z_{5min} = 130,68 - 128,38 + 25,9 - 2,3 = 25,9 \text{ мм.}$$

Принимаем допуск и предельные отклонения на размер заготовки по ГОСТ 2590-88

$$TZ_{3max} = 0,5 \text{ мм, } ES_{32} = +0,1 \text{ мм; } EI_{32} = -0,4 \text{ мм.}$$

$$\text{Номинальный размер: } Z_3 = Z_{3max} - ES_{33} = 25,9 - 0,1 = 25,8 \text{ мм.}$$

На эскизе заготовки будет проставлен размер: $Z_3 = 25,8^{+0,1}_{-0,4}$ мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска

$$Z_5 = S_1 - Z_3 - S_2 + S_3 = 131,68_{-1,0} - 25,8^{+0,1}_{-0,4} - 128,38_{-0,63} + 26,11_{-0,21} = 3,61^{+1,03}_{-1,31} \text{ мм.}$$

Цепь №15.

$$-S_8 + S_5 - S_4 + S_2 - S_1 + Z_2 - Z_1 - Z_{11} = 0 = 0; \quad Z_{11min} = S_{5min} - S_{8max} - S_{4max} + S_{2min} - S_{1max} + Z_{2min} - Z_{1max};$$

$$Z_{1max} = -S_{8max} + S_{5min} - S_{4max} + S_{2min} - S_{1max} + Z_{2min} - Z_{11min} = -52,6 + 125,5 - 126,95 + 127,75 -$$

$$-131,68 + 133,98 - 2,3 = 73,7 \text{ мм.}$$

Принимаем допуск и предельные отклонения на размер заготовки по ГОСТ 2590-88

$$TZ_{1max} = 1,0 \text{ мм, } ES_{31} = +0,1 \text{ мм; } EI_{31} = -0,9 \text{ мм.}$$

$$\text{Номинальный размер: } Z_1 = Z_{1max} - ES_{31} = 73,7 - 0,1 = 73,6 \text{ мм.}$$

На эскизе заготовки будет проставлен размер: $Z_1 = 73,6^{+0,1}_{-0,9}$ мм.

Номинальный размер и предельные отклонения припуска: $Z_{11min} = S_5 - S_8 - S_4 + S_2 - S_1 + Z_2 - Z_1 =$

$$= 125,75_{-0,25} - 52,6_{-0,46} - 126,95_{-0,4} + 128,38_{-0,63} - 131,68_{-1,0} + 135,98^{+0,6}_{-2,0} - 73,6^{+0,1}_{-0,9} = 5,28^{+3,36}_{-2,98} \text{ мм.}$$

После определения номинальных размеров и предельных отклонений всех звеньев технологических размерных цепей все расчетные данные сводят в таблицу [1, с.61].

ЛИТЕРАТУРА

1. Размерный анализ технологических процессов: сборник практических работ/ сост.: Г.Я.Беляев [и др.]. – Минск: БНТУ, 2010.–351 с.

УДК 6.21.81:658.512

Беляев Г.Я., Ошурек М.П., Лаптева Ю.П., Зуенок О.П.

РАЗМЕРНЫЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБРАБОТКИ ВАЛА ПО ЭКСЦЕНТРИСИТЕТАМ

БНТУ, ОАО «БЗА», ОАО «Амкодор-Белвар»

Беларусь

Целью статьи является рассмотрение основных положений теории размерного анализа технологического процесса по эксцентриситетам. Приведен пример расчета эксцентриситетов с помощью теории графов. Несмотря на свою сложность и трудоемкость, размерный анализ технологического процесса позволяет еще на стадии технологического проектирования решить весьма обширный круг технических задач и позволяет значительно снизить затраты на внедрение технологических разработок в производство.

Технологические задачи и их особенности.

Для поверхностей вращения необходимо рассчитать:

1. Величину допусков и диаметральных размеров на всех переходах обработки и для заготовок.

2. Величину допустимых радиальных биений – в соответствии с техническими, условиями, заданными в чертеже детали.

Решение перечисленных задач требует выявления размерных связей между осями обрабатываемых поверхностей. В качестве размерных связей выступают эксцентриситеты. Номинальная величина эксцентриситета принимается равной нулю. Собственно эксцентриситет представляет собой величину отклонения от номинального значения (удвоенная величина эксцентриситета – это радиальное биение).

Построение схемы обработки вала.

В произвольном масштабе утолщенными линиями вычерчивается контур одной из симметричных половин заготовки. Находится исходная база, которая обозначается индексом 0, 0. Далее на схему обработки наносятся эксцентриситеты механической обработки в порядке выполнения операций и переходов. Между осями поверхности заготовки и обрабатываемой поверхности образуется эксцентриситет припуска. Он заштриховывается и обозначается e_z с индексом образовавшего его эксцентриситета.

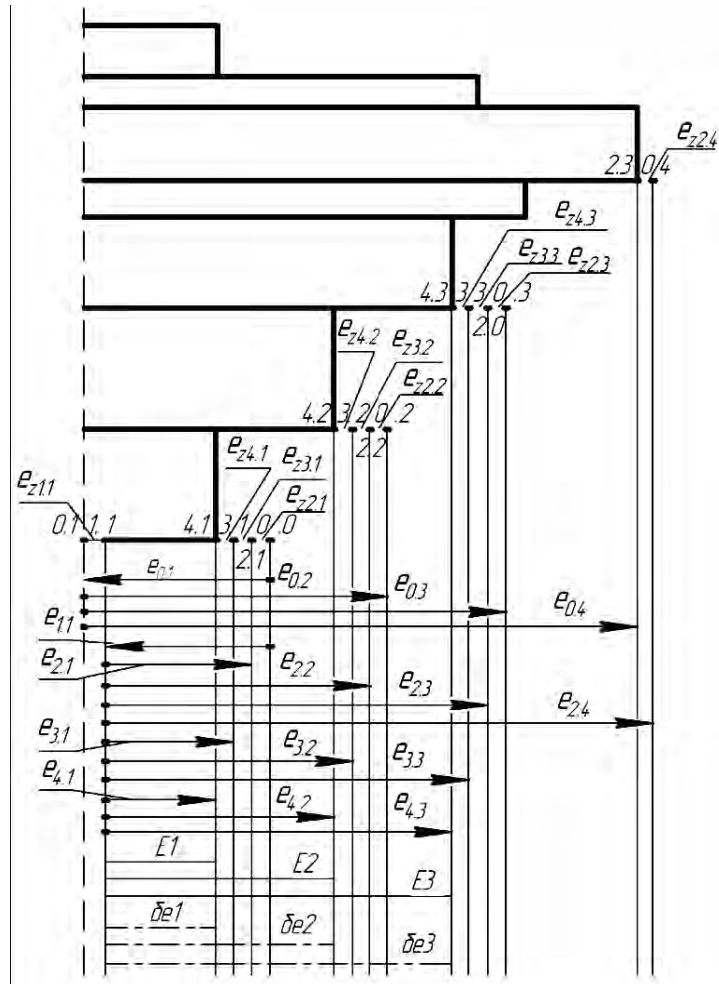


Рис. 1. Расчетная схема обработки вала для определения эксцентриситетов припуска

В такой последовательности наносятся на схему эксцентриситеты и обозначаются эксцентриситеты припусков остальных позиций и операций обработки вала (рис. 1.).

Построение графа эксцентриситетов.

Для построения графа эксцентриситетов всей механической обработки дерева отдельных операций объединяются вместе (рис. 2.).

Кружком с номером оси поверхности 0, 0 обозначается ось исходной базы. От нее проводятся прямые односторонние стрелки эксцентриситетов, которые отходят от оси поверхности 0, 0. У концов стрелок проводятся кружки – вершины графа – с номерами осей поверхностей, к которым на схеме обработки подходят соответствующие стрелки эксцентриситетов.

На стрелках (ребрах графа) записываются индексы соответствующих им эксцентриситетов. Количество вершин графа должно быть равно количеству осей на схеме обработки.

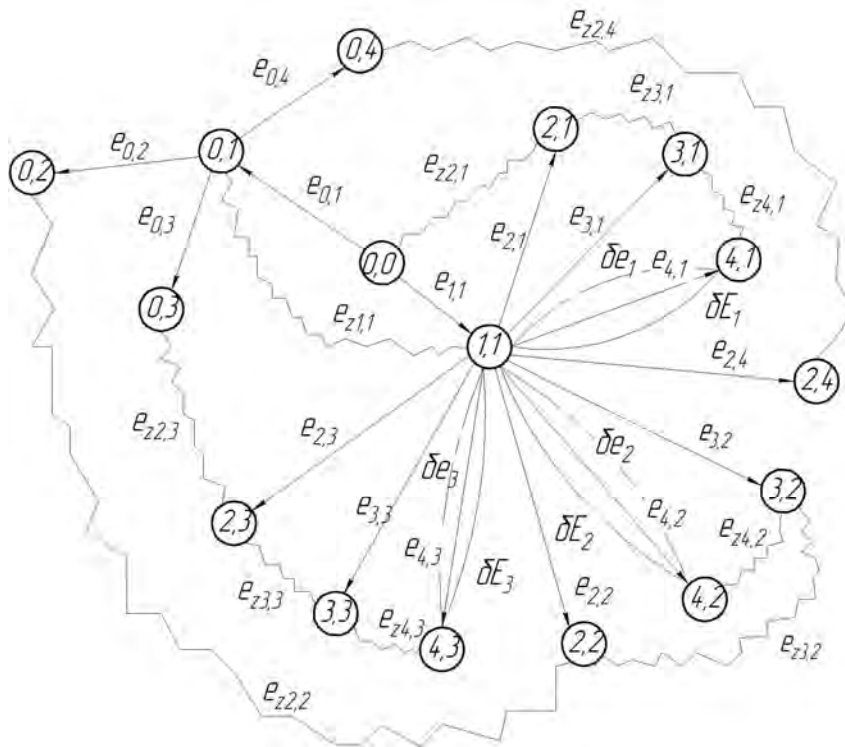


Рис. 2. Совмещённый граф

Затем вершины графа соединяются: а) утолщенными линиями эксцентриситетов δE_i – технических условий чертежа детали; б) пунктирными линиями эксцентриситетов δe_i , участвующих в обеспечении технических условий чертежа; в) волнистыми линиями эксцентриситетов припусков e_{-i} и т.д.

На построенном графе не должно быть висячих вершин. Они не потребуются в расчетах. По графу выявляют технологические размерные цепи (рис. 3.), [1].

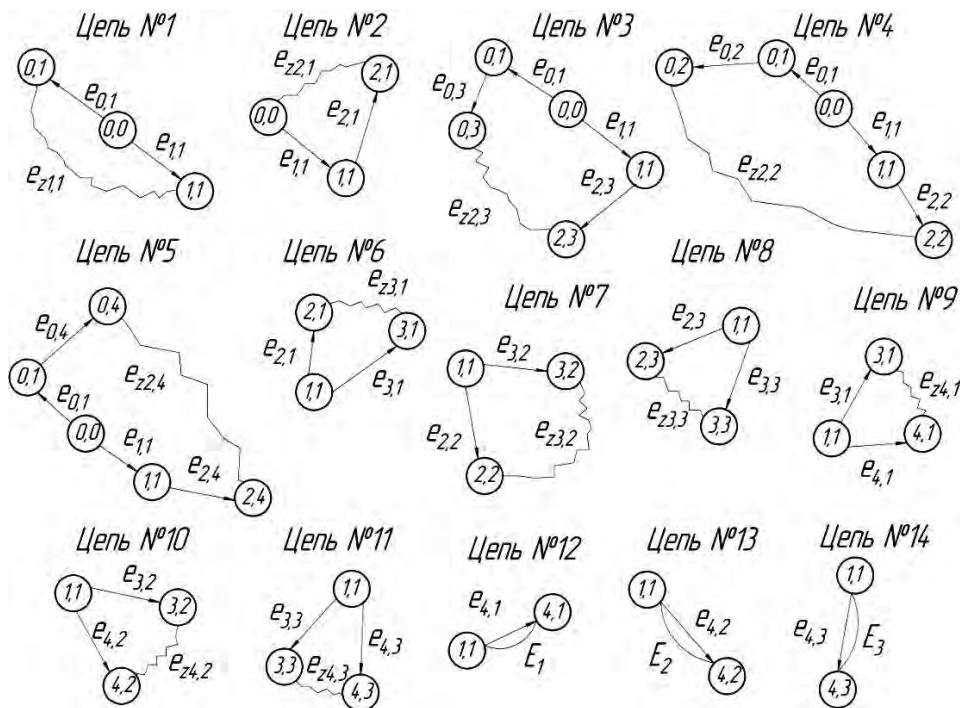


Рис. 3. Технологические размерные цепи

Составляем уравнения выявленных размерных цепей.

$$\text{Цепь №1: } e_{z1,1} = \sqrt{e_{1,1}^2 + e_{0,1}^2 + \rho_{\phi 0,1}^2} = \sqrt{0,4^2 + 0,084^2 + 0,3^2} = 0,507$$

$$\text{Цепь №2: } e_{z2,1} = \sqrt{e_{2,1}^2 + e_{1,1}^2 + \rho_{\phi 0,1}^2} = \sqrt{0,06^2 + 0,425^2 + 0,311^2} = 0,53$$

$$\text{Цепь №3: } e_{z2,3} = \sqrt{e_{2,3}^2 + e_{1,1}^2 + e_{0,1}^2 + e_{0,3}^2 + \rho_{\phi 0,3}^2} + \sqrt{0^2 + 0,425^2 + 0,084^2 + 0 + 0,3^2} = 0,52$$

$$\text{Цепь №4: } e_{z2,2} = \sqrt{e_{2,2}^2 + e_{1,1}^2 + e_{0,1}^2 + e_{0,2}^2 + \rho_{\phi 0,2}^2} = \sqrt{0^2 + 0,425^2 + 0,084^2 + 0 + 0,311^2} = 0,527$$

$$\text{Цепь №5: } e_{z2,4} = \sqrt{e_{2,4}^2 + e_{1,1}^2 + e_{0,1}^2 + e_{0,4}^2 + \rho_{\phi 0,4}^2} = \sqrt{0^2 + 0,425^2 + 0,084^2 + 0 + 0,3^2} = 0,52$$

$$\text{Цепь №6: } e_{z3,1} = \sqrt{e_{3,1}^2 + e_{2,1}^2 + \rho_{\phi 2,1}^2} = \sqrt{0^2 + 0,087^2 + 0,016^2} = 0,088$$

$$\text{Цепь №7: } e_{z3,2} = \sqrt{e_{3,2}^2 + e_{2,2}^2 + \rho_{\phi 2,2}^2} = \sqrt{0^2 + 0,026^2 + 0,015^2} = 0,003$$

$$\text{Цепь №8: } e_{z3,3} = \sqrt{e_{3,3}^2 + e_{2,3}^2 + \rho_{\phi 2,3}^2} = \sqrt{0^2 + 0,026^2 + 0,015^2} = 0,003$$

$$\text{Цепь №9: } e_{z4,1} = \sqrt{e_{4,1}^2 + e_{3,1}^2 + \rho_{\phi 3,1}^2} = \sqrt{0^2 + 0,004^2 + 0^2} = 0,004$$

$$\text{Цепь №10: } e_{z4,2} = \sqrt{e_{4,2}^2 + e_{3,2}^2 + \rho_{\phi 3,1}^2} = \sqrt{0^2 + 0,0015^2 + 0^2} = 0,0015$$

$$\text{Цепь №11: } e_{z4,3} = \sqrt{e_{4,3}^2 + e_{3,3}^2 + \rho_{\phi 3,3}^2} = \sqrt{0^2 + 0,0015^2 + 0^2} = 0,0015$$

$$\text{Цепь №12: } Te_1 = \sqrt{e_{4,1}^2 + \rho_{1,1}^2 + \rho_{4,1}^2} = \sqrt{0^2 + 0,0015^2 + 0^2} = 0,0015$$

$$\text{Цепь №13: } Te_2 = \sqrt{e_{4,2}^2 + \rho_{1,1}^2 + \rho_{4,2}^2} = \sqrt{0^2 + 0,015^2 + 0^2} = 0,0015$$

$$\text{Цепь №14: } Te_3 = \sqrt{e_{4,3}^2 + \rho_{1,1}^2 + \rho_{4,3}^2} = \sqrt{0^2 + 0,015^2 + 0^2} = 0,0015$$

Все расчеты сводим в таблицы 1 и 2, [2].

Таблица 1 –Расчёт погрешности формы и расположения поверхностей вала

Индексы поверхностей	Погрешность формы		Эксцентриситеты						От упругих деформаций системы СПИД $\Delta y = k_{ym} \cdot \epsilon$
	Формула	Величина	От погрешности установки		Расчетная величина e_i		Расчет $e_{zi}; \rho_{ei}; \rho_{Ei}$		
			Формула	Величина	Формула	Величина	Формула	Величина	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,0	$\sqrt{\rho_{см}^2 + \rho_{кор}^2}$	$\sqrt{84^2 + 300^2} = 311$	-	-	-	-	-	-	-
0,1	$\rho_{ср}$	0,3	-	-	$\rho_{ср}$	0,084	-	-	-
0,2	$\rho_{ср}$	0,3	-	-	-	0	-	-	-
0,3	$\rho_{ср}$	0,3	-	-	-	0	-	-	-
0,4	$\rho_{ср}$	0,3	-	-	-	0	-	-	-
1,1	$\rho_{\phi 1,1} = \kappa_{ym} \rho_{\phi 0,1}$	0,05 0,3 = 0,015	E_y	0,4	$E_y + \Delta y$	0,425	$e_{z1,1} = \sqrt{e_{1,1}^2 + e_{0,1}^2 + \rho_{\phi 0,1}^2} = \sqrt{0,4^2 + 0,084^2 + 0,3^2}$	0,507	0,05·0,507=0,025
2,1	$\rho_{\phi 2,1} = \kappa_{ym} \rho_{\phi 0,0}$	0,05 0,311=0,016	E_y	0,06	$E_y + \Delta y$	0,087	$e_{z2,1} = \sqrt{e_{2,1}^2 + e_{1,1}^2 + \rho_{\phi 0,1}^2} = \sqrt{0,06^2 + 0,425^2 + 0,311^2}$	0,53	0,05·0,53=0,027
2,2	$\rho_{\phi 2,2} = \kappa_{ym} \rho_{\phi 0,2}$	0,05 0,3 = 0,015	-	-	Δy	0,026	$e_{z2,2} = \sqrt{e_{2,2}^2 + e_{1,1}^2 + e_{0,1}^2 + e_{0,2}^2 + \rho_{\phi 0,2}^2} = \sqrt{0^2 + 0,425^2 + 0,084^2 + 0 + 0,311^2}$	0,527	0,05·0,527=0,026
2,3	$\rho_{\phi 2,3} = \kappa_{ym} \rho_{\phi 0,3}$	0,05 0,3 = 0,015	-	-	Δy	0,026	$e_{z2,3} = \sqrt{e_{2,3}^2 + e_{1,1}^2 + e_{0,1}^2 + e_{0,3}^2 + \rho_{\phi 0,3}^2} = \sqrt{0^2 + 0,425^2 + 0,084^2 + 0 + 0,3^2}$	0,527	0,05·0,527=0,026

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2, 4	$\rho_{\phi 2,4} = \kappa_{ym} \rho_{\phi 0,4}$	0,05 0,3 = 0,015	-	-	Δy	0,026	$e_{z2,4} = \sqrt{e_{2,4}^2 + e_{1,1}^2 + e_{0,1}^2 + e_{0,4}^2 + \rho_{\phi 0,4}^2} = \sqrt{0^2 + 0,425^2 + 0,084^2 + 0 + 0,3^2}$	0,527	0,05·0,527=0,025
3, 1	$\rho_{\phi 3,1} = \kappa_{ym} \rho_{\phi 2,1}$	0,05 0,016 ≈ 0	-	-	Δy	0,004	$e_{z3,1} = \sqrt{e_{3,1}^2 + e_{2,1}^2 + \rho_{\phi 2,1}^2} = \sqrt{0^2 + 0,087^2 + 0,016^2}$	0,088	0,05·0,088=0,004
3, 2	$\rho_{\phi 3,2} = \kappa_{ym} \rho_{\phi 2,2}$	0,05 0,015 ≈ 0	-	-	Δy	0,0015	$e_{z3,2} = \sqrt{e_{3,2}^2 + e_{2,2}^2 + \rho_{\phi 2,2}^2} = \sqrt{0^2 + 0,026^2 + 0,015^2}$	0,03	0,05·0,03=0,0015
3, 3	$\rho_{\phi 3,3} = \kappa_{ym} \rho_{\phi 2,3}$	0,05 0,015 ≈ 0	-	-	Δy	0,0015	$e_{z3,3} = \sqrt{e_{3,3}^2 + e_{2,3}^2 + \rho_{\phi 2,3}^2} = \sqrt{0^2 + 0,026^2 + 0,015^2}$	0,03	0,05·0,03=0,0015
4, 1	$\rho_{\phi 4,1} = \kappa_{ym} \rho_{\phi 3,1}$	0,05 0,015 ≈ 0	-	-	Δy	0	$e_{z4,1} = \sqrt{e_{4,1}^2 + e_{3,1}^2 + \rho_{\phi 3,1}^2} = \sqrt{0^2 + 0,004^2 + 0^2}$	0,004	0,05 0,004=0,0002
4, 2	$\rho_{\phi 4,2} = \kappa_{ym} \rho_{\phi 3,2}$	0,05 0,015 ≈ 0	-	-	Δy	0	$e_{z4,2} = \sqrt{e_{4,2}^2 + e_{3,2}^2 + \rho_{\phi 3,2}^2} = \sqrt{0^2 + 0,0015^2 + 0^2}$	0,0015	0,05 0,001=0,00001
4 03	$\rho_{\phi 4,3} = \kappa_{ym} \rho_{\phi 3,3}$	0,05 0,015 ≈ 0	-	-	Δy	0	$e_{z4,3} = \sqrt{e_{4,3}^2 + e_{3,3}^2 + \rho_{\phi 3,3}^2} = \sqrt{0^2 + 0,0015^2 + 0^2}$	0,0015	0,05 0,001=0,00001
δ_{e1}		-	-		$\rho_{e1} \leq \delta_{e1}$	0,0015	$Te_1 = \sqrt{e_{4,1}^2 + \rho_{1,1}^2 + \rho_{4,1}^2} = \sqrt{0^2 + 0,0015^2 + 0^2}$	0,0015	-

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
δ_{e2}		-	-		$\rho_{e2} \leq \delta_{e2}$	0,0015	$Te2 = \sqrt{e_{4,2}^2 + \rho_{1,1}^2 + \rho_{4,2}^2} =$ $= \sqrt{0^2 + 0,015^2 + 0^2}$	0,0015	-
δ_{e3}		-	-		$\rho_{e3} \leq \delta_{e3}$	0,0015	$Te3 = \sqrt{e_{4,3}^2 + \rho_{1,1}^2 + \rho_{4,3}^2} =$ $= \sqrt{0^2 + 0,015^2 + 0^2}$	0,0015	-
δ_{E1}		-	-		$\rho_{E1} \leq \delta_{E1}$	0,0015	$\rho_{E1} = \delta_{e1}$	0,0015	-
δ_{E2}		-	-		$\rho_{E2} \leq \delta_{E2}$	0,0015	$\rho_{E2} = \delta_{e2}$	0,0015	-
δ_{E3}		-	-		$\rho_{E3} \leq \delta_{E3}$	0,0015	$\rho_{E3} = \delta_{e3}$	0,0015	-

Таблица 2 – Расчёт диаметральных размеров вала

Диаметр					Расчётный припуск					
Индекс	Метод обработки	Класс точности	Отклонение	Величина		Индекс	$Z_{min} = R_{zi,l} + T_{i,l}$	e_{zi}	$2(Z_{min} + e_{zi})$	Величина
				До корректировки	После корректировки					
4,1	Шлифование	6	-0,011	$12_{-0,034}^{-0,016}$	$11,966_{0,011}$	Z _{4,1}	0,03	0,004	0,068	0,138
3,1	Точен. чистовое	10	-0,07	12,02	$12,02_{-0,07}$	Z _{3,1}	0,1	0,087	0,374	0,554
2,1	Точен. черновое	12	-0,18	12,05	$12,05_{-0,18}$	Z _{2,1}	0,2	0,53	1,46	1,56
0,0	ПКП		$+0,54_{-0,1}$	13	$13_{-0,1}^{+0,54}$	Z _{0,0}	-	-	-	-
4,2	Шлифование	6	-0,011	$15_{-0,043}^{-0,016}$	$14,957_{0,011}$	Z _{4,2}	0,03	0,0015	0,063	0,133
3,2	Точен. чистовое	10	-0,07	15,02	$15,02_{-0,07}$	Z _{3,2}	0,1	0,03	0,26	0,44
2,2	Точен. черновое	12	-0,18	15,05	$15,05_{-0,18}$	Z _{2,2}	0,2	0,527	1,454	1,554
0,2	ПКП		$+0,54_{-0,1}$	16	$16_{-0,1}^{+0,54}$	Z _{0,2}	-	-	-	-
4,3	Шлифование	6	-0,011	$20_{-0,06}^{-0,03}$	$19,94_{-0,011}$	Z _{4,3}	0,03	0,0015	0,63	0,174
3,3	Точен. чистовое	10	-0,07	20,02	$20,02_{-0,07}$	Z _{3,3}	0,1	0,03	0,26	0,47
2,3	Точен. черновое	12	-0,18	20,05	$20,05_{-0,18}$	Z _{2,3}	0,2	0,527	1,514	1,614
0,3	ПКП		$+0,54_{-0,1}$	21	$21_{-0,1}^{+0,54}$	Z _{0,3}	-	-	-	-
2,4	Точен. черновое	12	-0,25	$41,6_{-0,39}$	$41,6_{-0,25}$	Z _{2,4}	0,1	0,527	1,054	1,154
0,4	ПКП		$+0,54_{-0,1}$	42,5	$42,5_{-0,1}^{+0,54}$	Z _{0,4}	-	-	-	-
1,1	Фрезерно-центров.	12	+0,12	3,15	3,15	Z _{1,1}	0,1	0,507	1,214	1,214
0,1	ПКП			-		Z _{0,1}	-	-	-	--

ЛИТЕРАТУРА

1. Размерный анализ технологических процессов: сборник практических работ / сост.: Г.Я. Беляев [и др.]. – Минск: БНТУ, 2010. – 351с.
2. Беляев, Г.Я. Размерный анализ технологических процессов: курс лекций / Г.Я. Беляев. – Минск: БНТУ, 2010. – 164 с.