

УДК 621.9.077

В. Е. КАРПУСЬ, д-р техн. наук (Национальный ТУ "Харьковский политехнический институт", Украина, г. Харьков),
В. А. ИВАНОВ, канд. техн. наук (Сумский государственный университет, Украина, г. Сумы)
e-mail: karpus_vladislav@i.ua

Точность базирования валов в призмах

Представлены результаты аналитических и экспериментальных исследований точности базирования ступенчатых валов в призмах на сверлильных и фрезерных станках. Обоснована целесообразность применения предложенной переналаживаемой призмы в комплекте универсально-сборных переналаживаемых приспособлений.

Ключевые слова: переналаживание, призма, погрешность базирования, упругие деформации, точность обработки.

The paper contains the results of analytical and experimental studies of the stepped shafts basing accuracy in the prisms on the boring and milling machines. The advisability use of the proposed re-adjustable prism as a unit of the modular re-adjustable devices has been grounded.

Keywords: re-adjustment, prism, basing error, elastic deformations, processing accuracy.

Система универсально-сборных переналаживаемых приспособлений (УСПП) [1], суть которой состоит в том, что сборные станочные приспособления komponуются из функциональных переналаживаемых элементов, объединяет достоинства сборных и переналаживаемых приспособлений, позволяя значительно сократить затраты на изготовление комплекта элементов УСПП, расширив при этом технологические возможности и гибкость последних. Важное условие эффективного применения системы УСПП — обеспечение требуемой точности обработки деталей.

При обработке валов на сверлильных и фрезерных станках наиболее распространенной является схема базирования по наружным цилиндрическим поверхностям и торцу. Для реализации этой схемы базирования применяют призмы разных конструкций, с углами 60, 90 и 120°. Чаще всего применяют призмы с углом $\alpha = 90^\circ$, обеспечивающие большую устойчивость, чем призмы с углом $\alpha = 120^\circ$, и более широкий диапазон диаметров устанавливаемых заготовок, чем призмы с углом $\alpha = 60^\circ$ [2]. Комплект жестких стандартных призм десяти типоразмеров позволяет базировать валы с базовыми поверхностями диаметром 5÷150 мм, причем призмы каждого типоразмера позволяют базировать валы в небольшом диапазоне диаметров (10÷15 мм). Для установки валов другого типоразмера перекомпо-

новку опорных призм проводят вручную, что значительно увеличивает подготовительно-заключительное время переналадки.

Предлагается конструкция переналаживаемой базирющей призмы, входящей в комплект элементов УСПП [1, 2], с установочными элементами в форме дисков, оси вращения которых смещены относительно осей дисков. Система зубчатых колес позволяет одновременно поворачивать опорные диски в разные стороны на заданный угол, который соответствует диаметру базовой цилиндрической поверхности вала.

Предельные диаметры базовых поверхностей заготовок зависят: от радиуса R опорных дисков; эксцентриситета e , на который смещена ось поворота опорного диска от его центра; расстояния L между осями поворота опорных дисков (рис. 1). С учетом ограничений рабочей зоны станка диапазон радиусов опорных дисков составляет 20÷40 мм, что обеспечивает установку валов диаметром 25÷100 мм и позволяет заменить предлагаемой призмой стандартные жесткие опорные призмы пяти типоразмеров.

Установлено, что эксцентриситет следует принимать в пределах $e = \frac{R}{4} \div \frac{R}{2}$, а максимальное расстояние между осями поворота опорных дисков

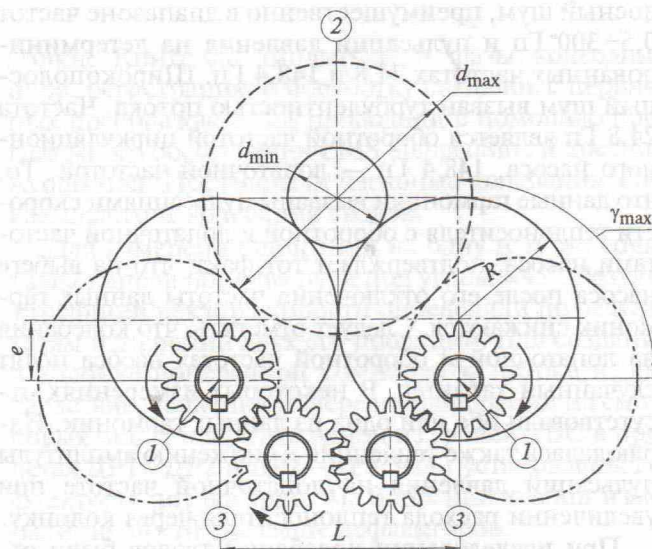


Рис. 1. Кинематическая схема переналаживаемой призмы

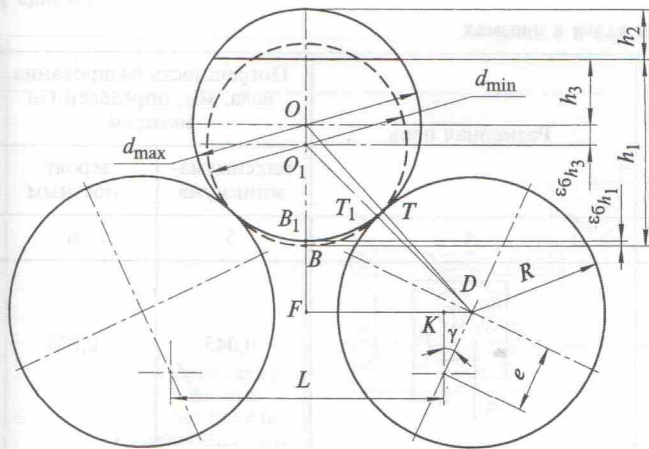


Рис. 2. Схема определения погрешности базирования вала в переналаживаемой призме

$L = 3R$. Положение опорных дисков относительно оси I поворота определяется углом γ , т. е. углом между осями заготовки (2) и опорного диска (3). Иметь угол $\gamma > 90^\circ$ нецелесообразно. На рис. 1 показаны граничные положения опорных дисков (d_{\min} , d_{\max} — наибольший и наименьший диаметры устанавливаемой заготовки).

Анализ погрешности базирования вала (рис. 2) выполнен применительно к обработке лыски на валу на горизонтально-фрезерном станке. Погрешность базирования для размера h_1 определяем из выражения:

$$\varepsilon_{\sigma_{h_1}} = OB - O_1B_1 - OO_1 = \frac{Td}{2} - OO_1,$$

где OO_1 — наибольшее смещение оси вала в результате разброса диаметров заготовок в производственной партии, мм; Td — допуск на диаметр базовой поверхности заготовки, мм.

В свою очередь

$$OO_1 = OF - O_1F = \sqrt{OD^2 - FD^2} - \sqrt{O_1D^2 - FD^2};$$

$$OD = \frac{Td}{2} + \frac{d_{\min}}{2} + R;$$

$$O_1D = O_1T_1 + T_1D = \frac{d_{\min}}{2} + R;$$

$$FD = FK + KD.$$

Учитывая, что $FK = \frac{L}{2}$, $KD = e \sin \gamma$ и выполнив необходимые подстановки, получим:

$$OO_1 = \sqrt{\left(\frac{Td}{2} + \frac{d_{\min}}{2} + R\right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \sin \gamma\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{d_{\min}}{2} + R\right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \sin \gamma\right)^2}.$$

Следовательно, выражения для определения погрешностей базирования имеют вид:

для размера h_1 :

$$\varepsilon_{\sigma_{h_1}} = \frac{Td}{2} - \left(\sqrt{\left(\frac{Td}{2} + \frac{d_{\min}}{2} + R\right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \sin \gamma\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{d_{\min}}{2} + R\right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \sin \gamma\right)^2} \right);$$

для размера h_2 :

$$\varepsilon_{\sigma_{h_2}} = \frac{Td}{2} + \left(\sqrt{\left(\frac{Td}{2} + \frac{d_{\min}}{2} + R\right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \sin \gamma\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{d_{\min}}{2} + R\right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \sin \gamma\right)^2} \right);$$

для размера h_3 :

$$\varepsilon_{\sigma_{h_3}} = \sqrt{\left(\frac{Td}{2} + \frac{d_{\min}}{2} + R\right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \sin \gamma\right)^2} - \sqrt{\left(\frac{d_{\min}}{2} + R\right)^2 - \left(\frac{L}{2} + e \sin \gamma\right)^2}.$$

На рис. 3 показаны зависимости погрешности базирования $\varepsilon_{\sigma_{h_1}}$ от точности базовых поверхностей заготовки и угла γ поворота опорных дисков, подтверждающие приоритетное влияние точности баз на погрешность базирования вала в переналаживаемой призме, а также некоторое возрастание этой погрешности с увеличением угла γ особенно в сочетании с невысокой точностью базовых поверхностей.

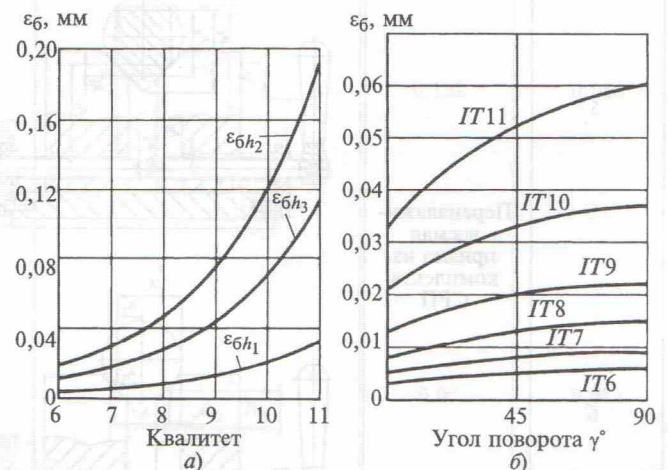
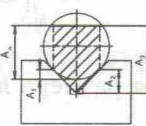
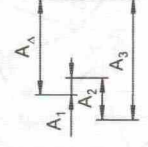
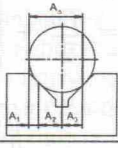
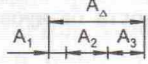
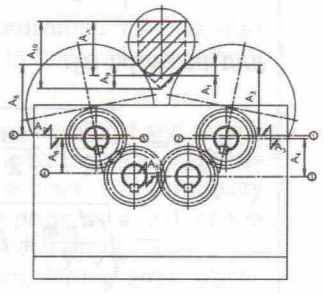
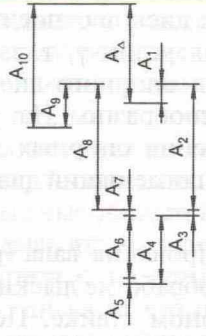
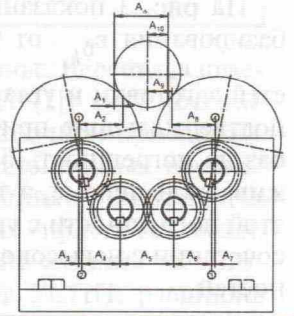
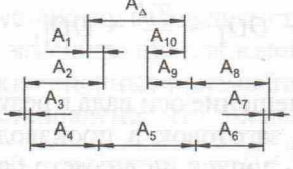
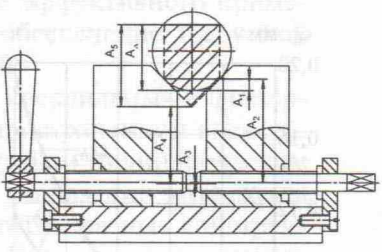
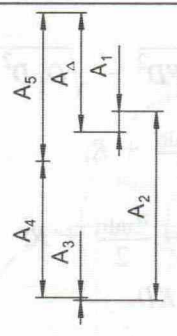
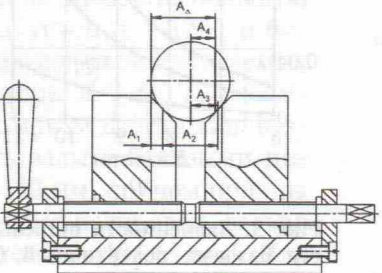
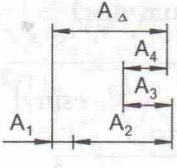
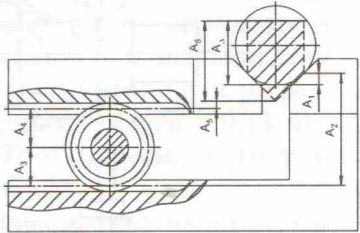
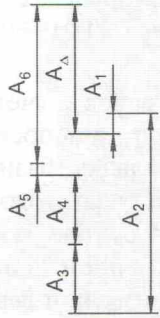
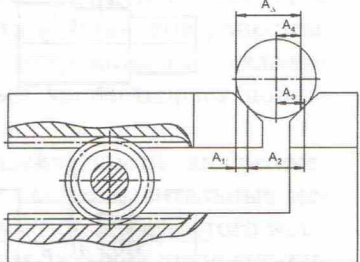
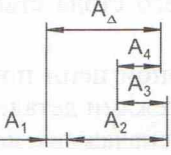
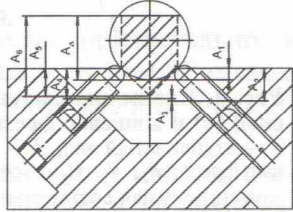
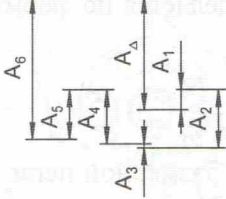
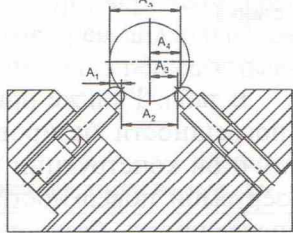
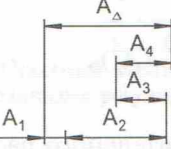
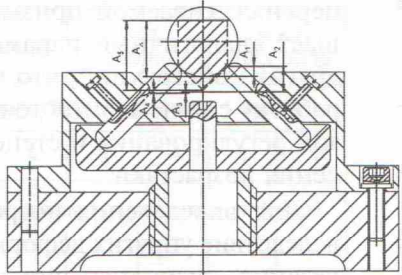
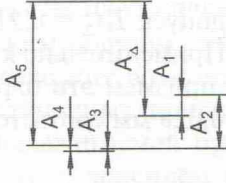
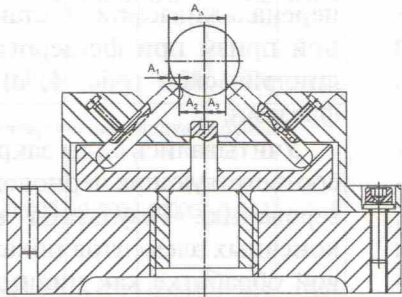
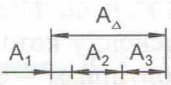


Рис. 3. Зависимости погрешностей базирования от точности базовых поверхностей (а) и угла поворота опорных дисков (б)

Погрешности базирования валов в призмах

Вариант	Базирующий модуль	Схема установки вала	Размерная цепь	Погрешность базирования вала, мм, определенная методом	
				максимума-минимума	вероятностным
1	2	3	4	5	6
1	Жесткая опорная призма			0,045	0,028
2				0,045	0,028
3	Переналаживаемая призма			0,213	0,07
4				0,187	0,067
5	Переналаживаемая призма из комплекта СРП			0,119	0,056
6				0,103	0,063

1	2	3	4	5	6
7	Переналаживаемые специализированные тиски			0,162	0,074
8					
9	Призма регулируемая			0,231	0,118
10					
11	Призма регулируемая			0,152	0,088
12					

Расчеты показали, что при базировании валов диаметром $30 \div 100$ мм с базовыми поверхностями, обработанными с допусками $IT6 \div IT11$, погрешность базирования находится в пределах: для размера $h_1 - 0,003 \div 0,06$ мм; для $h_2 - 0,019 \div 0,266$ мм; для $h_3 - 0,011 \div 0,156$ мм.

Погрешности базирования валов с учетом точности изготовления элементов приспособления, которые обеспечивают переналадку базирующей призмы при переходе к обработке заготовок другого типоразмера, определяют на основе размерного анализа путем построения размерной цепи и расчетов методом максимума-минимума и вероятным методом. Схема формирования размерной цепи базирующей призмы при фрезеровании лыски, параллельной плоскости рабочего стола станка, показана в табл. 1 (вариант 3).

Допуски на звенья размерной цепи приняты в соответствии с рабочими чертежами деталей опытного образца базирующей переналаживаемой призмы, а также с допусками на зубчатые передачи.

Допуск замыкающего звена при расчете методом максимума-минимума определяется по формуле

$$TA_{\Delta} = \sum_{i=1}^{10} TA_i,$$

где TA_i — допуск i -го звена размерной цепи.

При расчете вероятностным методом допуск замыкающего звена определяется по формуле

$$TA_{\Delta} = \sqrt{\sum_{i=1}^{10} (K_i^2 TA_i^2)},$$

где K_i — коэффициент относительного рассеяния, характеризующий степень отличия распределения погрешностей i -го звена размерной цепи от закона нормального распределения, для которого $K = 1$.

В первом случае получен допуск $TA_{\Delta} = 0,213$ мм, во втором — $TA_{\Delta} = 0,07$ мм. Применительно к стандартным жестким опорным призмам эти параметры имеют значения 0,045 и 0,028 мм соответственно (см. табл. 1, вариант 1).

Допуск TA_{Δ} на замыкающее звено при установке вала в призмы, входящие в комплект сборно-разборных приспособлений (СРП), при расчете методом максимума-минимума составляет 0,119 мм, а вероятностным методом — 0,056 мм (см. табл. 1, вариант 5).

Для переналаживаемых тисков, у которых механизм регулирования двух полупризм — зубчатая передача, допуск на замыкающее звено, полученный расчетом размерной цепи методом максимума-минимума составляет 0,162 мм, а вероятностным — 0,074 мм (см. табл. 1, вариант 7).

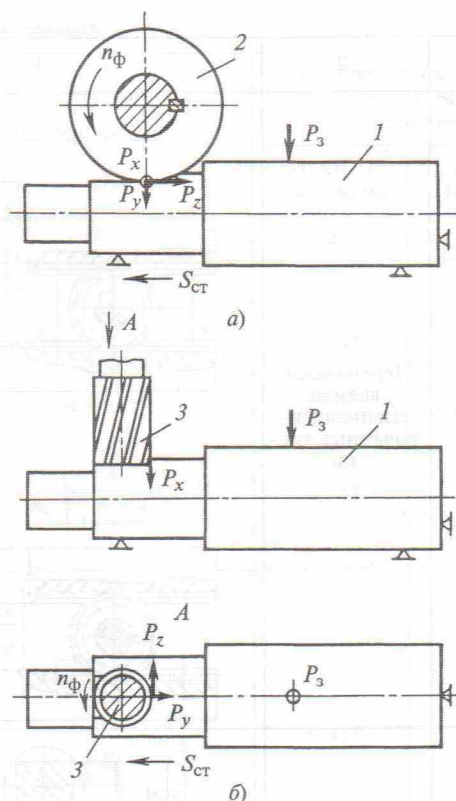


Рис. 4. Схемы сил резания при фрезеровании цилиндрической (а) и концевой фрезями (б):

1 — ступенчатый вал; 2 — цилиндрическая фреза; 3 — концевая фреза; P_x, P_y, P_z — соответственно осевая, радиальная и тангенциальная составляющие силы резания; P_3 — сила закрепления; n_{ϕ} — частота вращения фрезы; $S_{ст}$ — подача стола станка

В табл. 1 также приведены результаты расчетов погрешности базирования валов в призмах различной конструкции при разном положении фрезеруемой поверхности, которые подтвердили, что погрешность базирования валов в предложенной переналаживаемой призме несущественно превышает аналогичный параметр регулируемых призм других конструкций, что позволяет выполнять обработку с приемлемой точностью; при этом диапазон регулирования и степень гибкости приспособления возрастают.

Для определения погрешностей, возникающих вследствие упругих деформаций под действием сил резания, выполнен конечно-элементный анализ переналаживаемой и стандартной жесткой опорной призмы при фрезеровании лыски на валу цилиндрической (рис. 4, а) и концевой (рис. 4, б) фрезями.

Учитывались силы закрепления и силы резания, соответствующие черновому и получистовому фрезерованию. Результаты моделирования методом конечных элементов показали, что при получистовой обработке как цилиндрической, так и концевой фрезой заготовок, установленных на призмах

обоих типов, деформации одинаковы и находятся в диапазоне $0,002 \div 0,008$ мм в зависимости от места обработки лыски (табл. 2).

При черновой обработке заготовок цилиндрической фрезой упругие деформации увеличиваются, но не превышают 0,016 мм для жесткой призмы и 0,024 мм для переналаживаемой призмы. При этом для заготовок диаметром $18 \div 30$ мм допуск на размер после чернового фрезерования $Td = 0,13$ мм, диаметром $30 \div 50$ мм — $Td = 0,16$ мм, диаметром $50 \div 80$ мм — $Td = 0,19$ мм.

Таким образом, погрешности, полученные в результате моделирования напряженно-деформированного состояния, значительно меньше допусков на фрезерование соответствующих поверхностей, поэтому предложенная конструкция переналаживаемой призмы полностью удовлетворяет производственным требованиям.

Для подтверждения адекватности аналитических расчетов проведены экспериментальные исследования точности обработки ступенчатого вала, установленного в опытном образце переналаживаемой призмы (рис. 5, а).

Фрезерование выполняли на горизонтально- и вертикально-фрезерных станках по тем же схемам обработки, которые рассматривались и при аналитических расчетах.

При полувальцовом фрезеровании цилиндрической фрезой погрешности обработки во всех случаях не превышали 0,01 мм, а при черновом фрезеровании увеличивались, но не превышали 0,02 мм для жесткой призмы и 0,03 мм для переналаживаемой призмы.

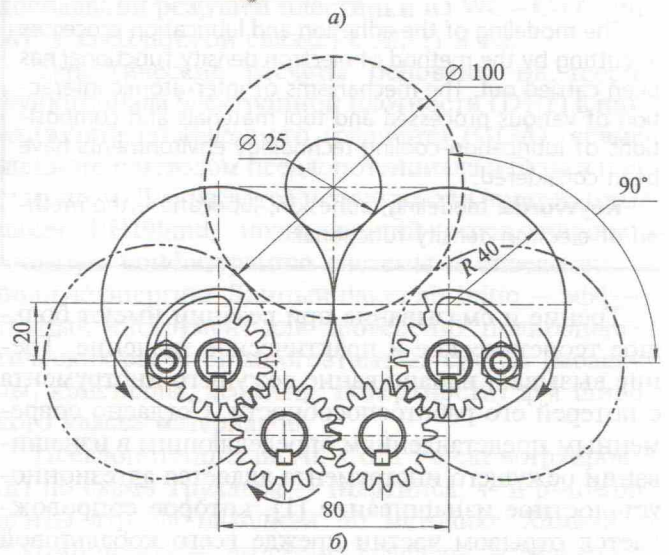
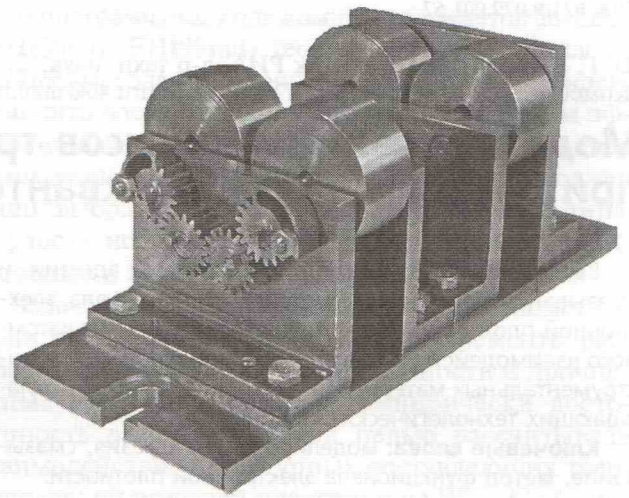


Рис. 5. Опытный образец переналаживаемой призмы (а) и схема механизма регулирования установочных элементов (б)

Таблица 2

Упругие перемещения при фрезеровании лыски на валу, мм

Базирующий модуль	Место обработки вала					
	на консоли		над опорой		между двух опор	
	при глубине резания t , мм					
	1	4	1	4	1	4
Предложенная переналаживаемая призма	Фрезерование цилиндрической фрезой					
	0,008	0,024	0,004	0,014	0,006	0,024
Стандартная жесткая опорная призма	0,008	0,016	0,004	0,008	0,006	0,015
Предложенная переналаживаемая призма	Фрезерование концевой фрезой					
	0,004	0,008	0,002	0,005	0,004	0,008
Стандартная жесткая опорная призма	0,004	0,007	0,002	0,005	0,004	0,007

мой призмы. Погрешности размеров обработки при фрезеровании лысок концевой фрезой во всех случаях не превышали 0,01 мм.

Таким образом, значительное расширение технологических возможностей и повышение гибкости станочных приспособлений с предложенной переналаживаемой призмой не связано с существенным ухудшением их точностных показателей. Выполненные исследования подтверждают целесообразность и эффективность применения призмы данной конструкции в составе УСПП.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Карпусь В. Е., Иванов В. А. Универсально-сборные переналаживаемые приспособления // Вестник машиностроения. 2008. № 11. С. 46–50.
2. Корсаков В. С. Основы конструирования приспособлений. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1983. 277 с.