

Таким образом, созданная компьютерная модель цепного привода позволяет в полной мере симулировать динамические процессы, происходящие в нем, и учитывая все параметры, влияющие на его работоспособность, подобрать оптимальные режимы работы, применяя детали из полимерных композитов.

#### Список использованной литературы

1. Чиликин М.Г. Теория автоматизированного электропривода / Чиликин М.Г., Ключев В.И., Сандлер А.С. – М.: Энергия, 1982.– 616 с., ил.
2. Пилипенко О.И. Научные основы и синтез цепных передач. Дисс.докт.техн.наук., ХПГУ, Харьков, 1996, 467с.

УДК 621.9.06-8

В.М.Пестунов, канд.техн.наук, проф., А.В.Лысенко, канд.техн.наук,  
Кировоградский национальный технический университет, г.Кировоград, Украина

### ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ АДАПТИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТАНОЧНОЙ СИСТЕМЫ

*В статье рассмотрены локализованные в одной подсистеме (станка, зажимного приспособления или инструмента) технологической станочной системы адаптивные механизмы. Реализация таких механизмов позволит в условиях гибкого переналаживаемого производства повысить точность обработки.*

Требования, выдвигаемые современной рыночной экономикой к производству сводятся к следующему: производить товары качественней, быстрее, больше, дешевле и новее. Удовлетворять этим требованиям промышленное производство может только повышая качество и производительность с одновременным снижением себестоимости производства, что входит в противоречие с известными методами проектирования гибкого технологического оборудования. Таким образом, актуальна проблема создания технологического оборудования, разрешающего противоречивые требования современной экономики.

Известно [1-3], что переменные параметры процесса обработки оказывают значительное влияние на ход технологического процесса и в конечном счете на качество выпускаемой продукции.

Применение систем адаптивного (автоматического) управления позволяет снизить это влияние на

качество обработки [4, 5]. Поскольку одним из основных показателей качества металлообработки является точность, то и большинство известных систем автоматического регулирования связаны с точностью [6]. В свою очередь точность, как итоговый показатель процесса формообразования, характеризуется погрешностью обработки  $\Delta$ , которую можно представить в векторной форме:

$$\bar{\Delta} = \bar{r}_z \pm \bar{r}_\phi, \quad (1)$$

где  $\bar{r}_z$  – заданный размер обработки;  $\bar{r}_\phi$  – фактический размер обработки.

Результат обработки не характеризуется только одним показателем. Однако подобное упрощение оправдано сложностью задачи обеспечения автоматического управления технологической станочной системой (ТСС) для осуществления заданной технологии. Обычно принимают один

показатель качества обработки, который в значительной степени решает задачу заданной технологии обработки.

Рассматривая проблему, связанную с образованием погрешности обработки в системе универсальной схемы обработки [7] необходимо отметить, что процесс обработки возможно представить как результат взаимодействия в системе координат технологической станочной системы (ТСС)  $XOYZ$  подсистем  $X_1O_1Y_1Z_1$  и  $X_2O_2Y_2Z_2$ , связанных соответственно с инструментом и заготовкой (рис. 1).

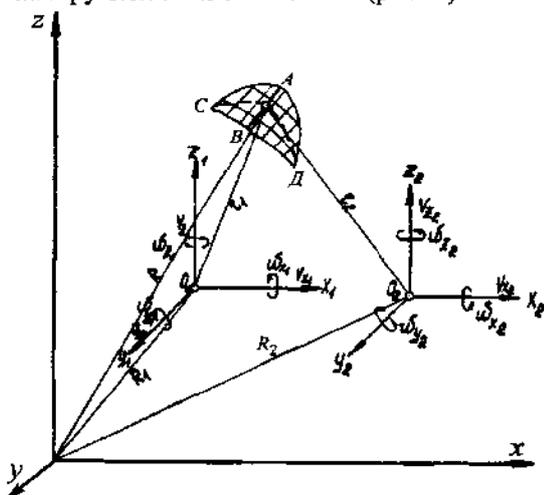


Рис. 1 Универсальная схема обработки в системе координат ТСС

Поскольку в системе координат  $XOYZ$  подсистемы инструмент и заготовка имеют по шесть степеней свободы, то и соответствующая погрешность их относительного положения может быть представлена как векторная сумма отклонений по соответствующим координатам. На практике такую сложную пространственную задачу определения погрешности решить трудно, тем более что нередко частные ее решения удовлетворяют требованиям технологии.

Фактически получаемые координаты  $(X_\phi Y_\phi Z_\phi)$  размера обработки зависят от многих факторов, характеризующих ТСС, состоящей из следующих подсистем: станка, приспособления, инструмента, детали (заготовки). Каждая из перечисленных подсистем состоит из собственных элементов (узлов, деталей), оказывающих влияние на процесс обработки.

Составляющие ТСС элементы деформируются под нагрузкой, дополнительно увеличивают технологическую погрешность обработки  $\Delta_T$ , которую с учетом этого можно представить в виде:

$$\Delta_T = r_3 - r_\phi + \sum_{i=1}^n \Delta_i, \quad (2)$$

где  $\Delta_i$  – упругая деформация  $i$ -того элемента ТСС, меняющая размер настройки.

Для частичного или полного устранения погрешности обработки, вызванной упругой деформацией, предлагается в технологическую станочную систему включить элементы обратного изменения координаты процесса обработки под нагрузкой. С учетом таких элементов, погрешность обработки может быть представлена в виде:

$$\Delta_T = r_3 - r_\phi + \sum_i^n \Delta_i - \sum_i^m \delta_i, \quad (3)$$

где  $\delta_i$  – элемент технологической системы станка, уменьшающий размер настройки под нагрузкой. Из равенства (3) следует, что при  $\Delta_T = 0$ :

$$r_3 + \sum_i^n \Delta_i = r_\phi + \sum_i^m \delta_i. \quad (4)$$

Из равенства (4) следует, что для существенного снижения погрешности обработки достаточно иметь хотя бы один элемент ТСС, который бы имел "отрицательную" жесткость [5] (т.е. элемент, который деформируется под действием силы в направлении ее действия компенсирует упругую деформацию). Решить данную проблему можно конструктивными средствами.

Задача состоит в том, чтобы создать механизм, который в процессе обработки под действием технологической нагрузки перемещал бы конечные элементы размерной цепи ТСС инструмент-заготовка в направлении образования размера обработки в сторону, обратную упругой деформации ТСС под действием этой же нагрузки на величину максимально приближенную к величине упругой деформации ТСС.

Локализация такого механизма в одной подсистеме ТСС (станке, зажимном приспособлении, инструменте) или узле (например, резцедержателя, суппорте, столе и т.д. станка) позволит сделать их сменными и использовать в условиях гибкого переналаживаемого производства, характерного для современной промышленности.

Решение поставленной задачи, применительно к токарной обработке, состоит в создании механизма, который бы под действием тангенциальной составляющей силы резания  $P_z$  или осевой –  $P_x$ , деформировал бы технологическую систему в направлении образования размера обработки (ось  $y$ ) на величину упругой деформации ТСС под действием технологической нагрузки в направлении образования размера обработки (радиальной составляющей силы резания  $P_y$ ) и встраивания этого механизма в одну определенную подсистему ТСС: станка (резцедержатель, рис. 2; направляющих, рис. 3, 4, 5); зажимного приспособления (рис. 6); инструмента, рис. 7, 8, 9.

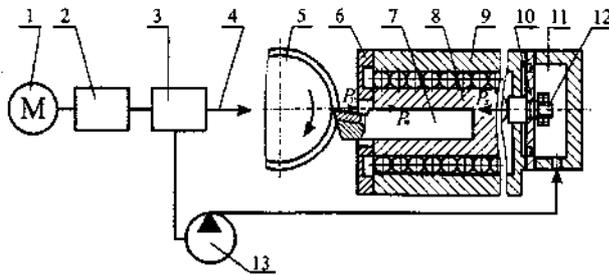


Рис. 2 Механизм резцедержателя, стабилизирующий положения инструмента

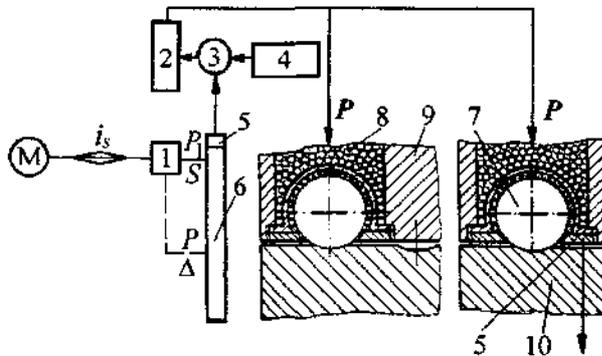


Рис. 3 Механизм, стабилизирующий положение направляющих ТСС

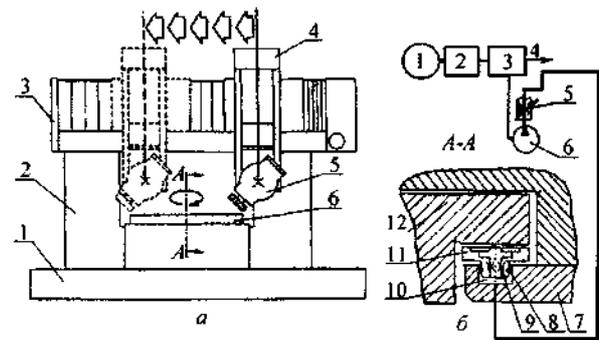


Рис. 4 Механизм адаптивного управления упругой деформацией направляющих в функции технологической нагрузки

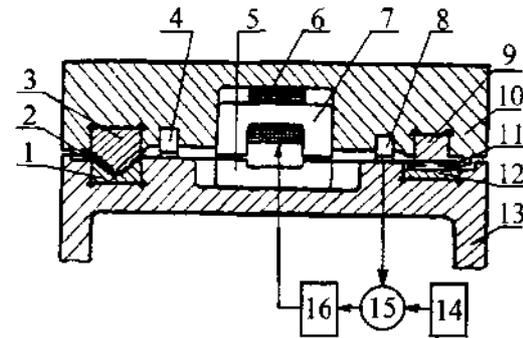


Рис. 5 Механизм направляющих с системой автоматического регулирования зазора в функции технологической нагрузки

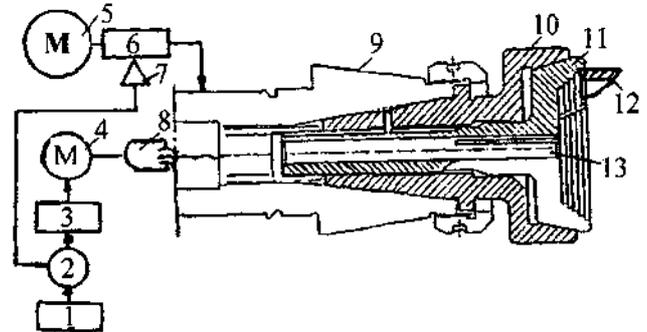


Рис. 6 Механизм зажимного приспособления с автоматическим управлением усилием закрепления заготовки

### Конструктивные решения в подсистеме станка.

На рис. 2 показана схема разомкнутой системы адаптивного управления размером статической настройки при токарной обработке.

В процессе обработки заготовки 5 резцом 7 вращение от электродвигателя 1 через передаточный механизм 2, механизм 3 с избыточной степенью свободы передается шпинделю 4 с заготовкой 5.

Движение подачи осуществляется отдельным приводом. Механизм 3 кинематически связан с насосом 13, масло под давлением от которого подается в камеру 11. В камере 11 расположена мембрана 10, которая через винт 12 связана с кареткой 8 с резцом 7. Каретка на опорах качения установлена внутри суппорта 9, закрытого крышкой 6.

Такое соединение обеспечивает изменение давления в полости 11 пропорционально технологической нагрузке. Это обеспечивает автоматическое управление величиной статической настройки технологической системы станка в направлении образования размера обработки, что повышает точность.

На рис. 3 показана структурная схема автоматического управления упругой деформацией направляющих в функции технологической нагрузки.

От электродвигателя ( $M$ ) через передаточный механизм ( $i$ ) и дифференциальный механизм 1 движение передается исполнительному органу, осуществляющему процесс формообразования 6. ( $P_1, S$ ). Одновременно через гидравлическую связь механизм соединен с гидравлической полостью заполненной шариками 8 подвижной направляющей 9. Подвижная направляющая 9 перемещается по неподвижной 10 и шарики 7 перекачиваются по профильной ее дорожке.

Датчик 5 контролирует упругую деформацию направляющих и с помощью сравнивающего 3, программного 4 и управляющего 2 устройств изменяет давление  $P$  в полости шариков 8.

Таким образом, осуществляется управление упругой деформацией в функции технологической нагрузки и повышение точности обработки.

На рис. 4 показана разомкнутая схема адаптивного управления упругой деформацией направляющих в функции технологической нагрузки. На станине 1 (рис. 4, а) установлены стойки 2 с траверсой 3, по которой перемещается суппорт 4. На суппорте 4 установлена шлифовальная бабка 5. На поворотном столе 6 закрепляются обрабатываемые заготовки.

В процессе обработки от электродвигателя 1 (рис. 4, б) через передаточный механизм 2, механизм 3 с избыточной степенью свободы вращение передается шпинделю 4 и насосу 6. Насос 6 с помощью дросселя 5 создает гидравлическое давление в камере 10 самоустанавливающейся опоры 11 планшайбы 12, опирающейся на станину 7. Камера 10 имеет уплотнения 8 и дроссели 9.

Таким образом, обеспечивается автоматическое управление величиной гидравлического давления в направляющих в функции технологической нагрузки. Это в свою очередь повышает точность обработки.

На рис. 5 показана конструкция направляющих с автоматической системой регулирования зазора в функции технологической нагрузки. Суппорт 10 через планки 3-9, ролики 2-11, планки 1-12 опирается на станину 13. В полости суппорта 10 установлен электромагнит 6, составной магнитопровод которого 5-7 закреплен на суппорте и станине.

В процессе работы датчики 4-8 контролируют зазор в направляющих и с помощью сравнивающего 15, программного 14 и управляющего 16 устройств изменяют ток питания катушки электромагнита 6, обеспечивая стабилизацию зазора и повышение точности.

#### **Конструктивные решения в подсистеме зажимного приспособления.**

На рис. 6 показана система автоматического управления усилием закрепления заготовки в функции контролируемого параметра процесса обработки. В качестве такого параметра процесса обработки принята частота вращения шпинделя. Известно, что с изменением частоты вращения шпинделя 9 меняется центробежная сила лепестков зажимной цанги 11. Это сила при взаимодействии с патроном 10 меняет силу закрепления тонкостенной заготовки 12. В то же время избыточная сила закрепления вызывает дополнительную деформацию заготовки, что снижает точность. Отсюда следует, что усилие закрепления заготовки 12 должно быть

минимально-необходимым для ее удержания в процессе обработки не зависимо от частоты вращения. Такого коррекцию усилия закрепления обеспечивает система автоматического регулирования.

От электродвигателя 5 через передаточный механизм 6 вращение получает шпindelь 9. Датчик 7 контролирует частоту вращения шпинделя и через сравнивающее 2, программное 1 и управляющее 3 устройства управляет двигателем 4, который через винтовую передачу 8 и тягу 13 изменяет усилие закрепления заготовки 12.

### Конструктивные решения в подсистеме инструмента.

На рис. 7 представлена схема инструмента для токарной обработки, с возможностью управления положением режущей пластины в функции составляющей силы резания  $P_z$  по направлению образования размера обработки.

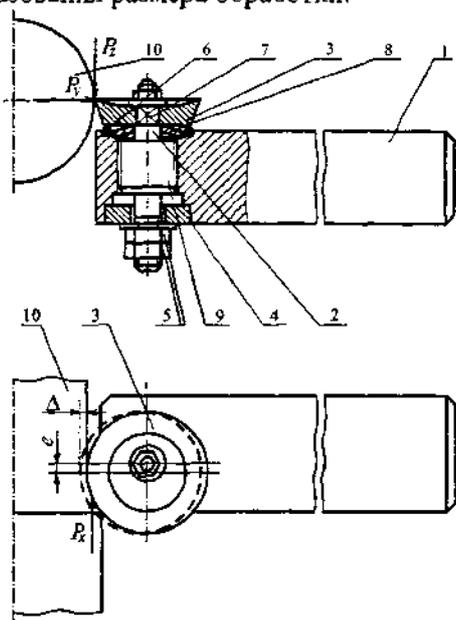


Рис. 7 Механизм токарного резца с возможностью компенсации упругой деформации ТСС

В корпусе 1 резца установленная ось 2 пластины 3. Ось 2 с пластиной 3 фиксируется в корпусе 1 втулкой 4 и гайками 5. Пластина 3 изолирована от корпуса 1 резиновой прокладкой круглого сечения 6. Ось 2 с пластиной 3 соединена с помощью квадратного отверстия, хвостовика 7 и

гайки и поджимается пружиной 8. Предварительное сжатие пружины 8 регулируется гайками 5. На оси расположен выступ, на котором нарезаны шлицы 9, которые с шлицами нарезанными в корпусе образуют несамотормозящую винтовую передачу. В процессе обработки детали 10 составляющие силы резания  $P_z$ ,  $P_x$  и  $P_y$  вызывают упругую деформацию ТСС в направлении образования размера обработки.

Для компенсации упругого смещения ТСС в пределах возможного изменения составляющей  $P_y$  в функции  $P_z$  пластина 3 установлена эксцентрично и закреплена на оси, которая является винтом несамотормозящей винтовой пары. Поэтому при увеличении силы резания происходит вертикальное смещение и поворот пластины 3. В результате ее режущая кромка смещается в направлении обрабатываемой поверхности, компенсируя упругое смещение технологической системы в противоположном направлении, повышая таким образом точность обработки.

Схема инструмента для токарной обработки с механизмом компенсации упругого перемещения ТСС, представлена на рис. 8.

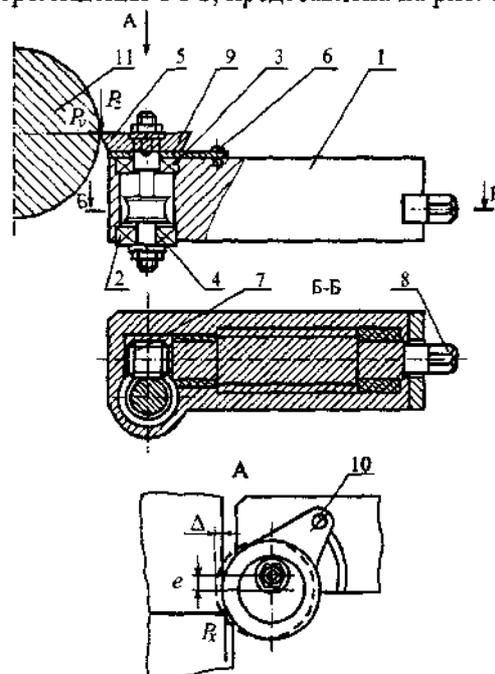


Рис. 8 Инструмент с адаптивно-управляемым положением режущей пластины

В корпусе 1 на опорах 2 и 3 установлена ось 4 режущей пластины 5. Ось 4 жестко соединена с режущей пластиной 5 с помощью лыски. На оси 4 нарезаны зубья, которые с зубьями вала 7 образуют самотормозящую винтовую передачу. Ограничитель предварительного натяжения упругого поворота оси 4 содержит пластину 9, жестко соединенную с ограничивающим винтом 6. Предварительное натяжение режущей пластины 5 регулируется поворотом хвостовика 8.

При обработке установленной на станке детали 11 составляющие силы резания  $P_Z$ ,  $P_X$  и  $P_Y$  вызывают разброс величины упругой деформации технологической системы станка в направлении образования размера обработки.

Для компенсации упругого смещения технологической системы  $\delta$  в пределах возможного изменения составляющей  $P_Y$  в функции  $P_Z$  пластина 5 установлена эксцентрично и закреплена на оси  $Y$ , которая кинематически связана посредством самотормозящей винтовой передачи с приводным валом 7, расположенном в корпусе 1. Поэтому при возрастании силы резания и ее составляющих происходит поворот режущей пластины 5 силой  $P_X$ . В результате ее режущая кромка смещается в направлении обрабатываемой поверхности на величину меньшую  $\delta$ , что частично или полностью компенсирует смещение технологической системы в направлении размера обработки, и позволяет повысить точность обработки.

На рис. 9 приведена схема инструмента для токарной обработки с автоматической одноконтурной системой управления положением вершины резца в функции технологической нагрузки.

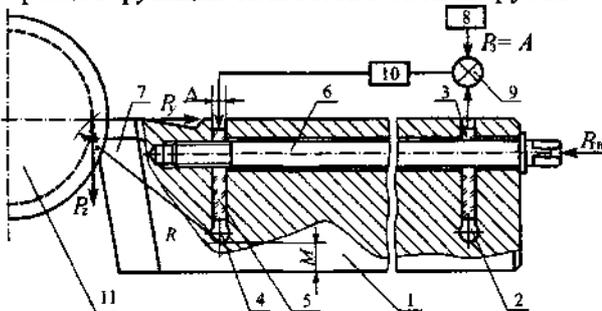


Рис. 9 Резец с системой автоматического управления положением вершины

Резец состоит из корпуса 1, имеющего поперечный паз 2, в котором установлен датчик 3, например пьезоэлектрический, который измеряет величину радиальной ( $P_Y$ ) составляющей силы резания. В корпусе резца выполнен также поперечный паз 4, в котором установлен механизм малых перемещений, выполненный в виде пьезоэлемента 5, обеспечивающий поворот головки резца в плоскости действия составляющих усилий резания  $P_Z$  и  $P_Y$ , возникающих при обработке детали 11. В продольном отверстии, выполненном в теле резца, находится регулировочный винт 6, соединяющий головку резца 7 с корпусом 1. Система управления включает в себя задающее устройство 8, сравнивающее устройство 9, преобразователь 10 и механизм малых перемещений 5 (пьезоэлемент).

Перед началом обработки сравнивающее устройство 9 балансируется совместно с датчиком 3 и задающим устройством 8, а на пьезоэлемент 5 подается первичный сигнал от преобразователя 10. Значение составляющих сил резания  $P_Z = P_Y = 0$  и они не оказывают действия на датчик 3. Предварительное усилие  $P_B$ , регистрируемое датчиком 3, регулируется с помощью регулировочного винта 6. В сравнивающее устройство поступают сигналы от действия исходной силы нагружения корпуса 1 резца  $P_{ИСХ} = P_B$  и сигнал постоянной величины, выдаваемый задающим устройством 9 —  $P_3 = A$ .

В процессе обработки детали 11 возникают силы резания, в том числе  $P_Y$ , которая действует на датчик 3, посылающий сигнал на сравнивающее устройство 9. Возникающие силы резания (в том числе  $P_Y$ ) деформируют технологическую систему станка. Одновременно в сравнивающее устройство продолжает поступать сигнал от задающего устройства 8 ( $P_3 = A$ ). В том случае если, сила  $P_Y$  и деформации технологической системы станка превышают допустимое значение, устанавливаемое с помощью задающего устройства 8, суммарное усилие на датчик 3 падает ( $P_\Sigma \neq P_{ИСХ}$ ;  $P_\Sigma = P_B - P_Y$ ) и

датчик через сравнивающее устройство 9 посылает сигнал на преобразователь 10, который в свою очередь посылает сигнал на механизм малых перемещений пьезоэлемент 5, который путем увеличения размера  $\Delta$  разворачивает головку инструмента 7 относительно упругого элемента  $M$  по радиусу  $R$  и производит компенсацию упругой деформации технологической системы станка и стабилизацию размера обработки.

При включении механизма малых перемещений 5 одновременно с увеличением размера  $\Delta$  происходит увеличение силы  $P_B$ , до тех пор, пока суммарное усилие  $P_{\Sigma}$ , воздействующее на датчик 3, не становится равным исходному  $P_{ИСХ}$ :

$$P_{\Sigma} = P_B - P_Y = P_{ИСХ}. \quad (5)$$

Если в процессе обработки детали 11, значение силы резания изменится (увеличится или уменьшится), а соответственно изменится и значение составляющей силы резания  $P_Y$ , а значит изменится и деформация технологической системы станка, то перестанет выполняться условие (1). Изменение усилия  $P_{\Sigma}$  зафиксирует датчик 3, сигнал с которого через сравнивающее устройство 9 и преобразователь 10 попадет в механизм малых перемещений 5, а он в свою очередь соответственно (в сторону уменьшения или увеличения) начнет корректировать величину  $\Delta$ , до тех пор, пока не будет выполняться условие (5). Таким образом, будет справедливо следующее выражение:

$$P_{\Sigma} = P_B - P_Y = \text{const} = A. \quad (6)$$

При этом происходит стабилизация упругой деформации технологической системы станка ( $\Delta_{PEZ} = \text{const}$ ), а это приводит к повышению точности обработки.

**Выводы:** 1. Переменные параметры процесса обработки ведут к увеличению погрешности, и снижают точность. 2. На точность поверхности оказывают влияние преимущественно упругие

деформации ТСС в направлении образования размера обработки. Повысить ее, можно с помощью новых механизмов подсистем ТСС, которые под действием технологической нагрузки в направлении образования размера обработки компенсируют указанные погрешности. 3. Локализация такого механизма в одной подсистеме ТСС позволяет выполнять их сменными и использовать в условиях гибкого переналаживаемого производства. 4. Приведенные механизмы не охватывают всего спектра возможных решений, а лишь указывают направления дальнейшего их развития.

#### Список использованной литературы

1. Решетов Д.Н, Портман В.Т. Точность металлорежущих станков – М.: Машиностроение, 1986. – 336 с.
2. Точность, надежность и производительность металлорежущих станков / Г.Д.Григорян, С.А.Зелинский, Г.А.Оборский. – К.: Техніка, 1991.– 221 с.
3. Юркевич В.В. Прогнозирование точности изготовления деталей // Техника машиностроения. – 2000, № 4.– С. 46-52.
4. Петраков Ю.В. Теорія автоматичного управління в металообробці: Навч. посібник – К.: ІЗМН, 1999. – 212 с.
5. Медведев Д.Д. Автоматизированное управление процессом обработки резанием.– М.: Машиностроение, 1980 г.– 143 с.
6. Невельсон М.С. Автоматическое управление точностью обработки на металлорежущих станках. – Л.: Машиностроение, Ленингр. от-ние, 1982. – 184 с.
7. Пестунов В.М. Повышение точности обработки на станках.– Машиностроитель.– 1999. – № 2-3.– С. 24-28.