

М 46483

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
СССР

Московского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции  
и ордена Трудового Красного Знамени высшего технического  
училища имени Н.Э.Баумана

---

На правах рукописи  
УДК 621.9.015

СЕРГЕЕВ Виктор Валентинович

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ  
ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТИ РАСПОЛОЖЕНИЯ РАСТОЧЕННЫХ ОТВЕРСТИЙ  
КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Специальность 05.02.08 - Технология машиностроения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

---

Москва - 1987

Работа выполнена в Московском ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красного Знамени Высшем Техническом Училище имени Н.Э.Баумана

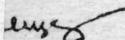
- Научный руководитель - кандидат технических наук,  
доцент О.Ф.Полтавец
- Официальные оппоненты - доктор технических наук,  
профессор П.В.Сыроватченко
- кандидат технических наук,  
доцент С.И.Богомолов
- Ведущее предприятие - МЭКРС, г. Москва

Защита состоится "30" июня 1987г.  
на заседании специализированного совета К 053.15.15 в Московском Высшем Техническом Училище им. Н.Э.Баумана по адресу: 107005, Москва Б-5, 2-я Бауманская ул., дом 5.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ им. Н.Э.Баумана.

Ваш отзыв на автореферат в одном экземпляре, заверенный печатью, просим направлять по указанному адресу.

" — " \_\_\_\_\_ 1987 г.

 Р.К.Мещеряков

---

Подписано к печати 20.05.87г.  
Тир. 100 экз.

Актуальность темы. Необходимость ускорения темпов научно-технического прогресса ставит перед машиностроителями вопрос дальнейшего повышения качества выпускаемых изделий. Одним из важнейших направлений решения этой проблемы является повышение точности механической обработки их основных деталей. К ним относятся, прежде всего, корпусные детали. Они, как правило, имеют значительное число отверстий, выполняющих роль направляющих и базисных поверхностей для различных исполнительных элементов изделий. Поэтому к точности взаимного расположения отверстий предъявляются очень высокие требования. Достаточно сказать, что допуски на многие точностные параметры взаимного расположения отверстий не превышают несколько микрометров. Зачастую такие допуски находятся на пределе технологических возможностей металлообрабатывающего оборудования. Поэтому обеспечение таких требований является сложной технологической задачей.

В формировании точностных параметров обрабатываемых отверстий существенную роль играет податливость станка. Однако ее нередко рассматривают, как некую усредненную его характеристику, а если и пытаются оценить ее непостоянство, то делают это, как правило, лишь в зависимости от угла поворота шпинделя. В то же время очевидно, что у станков, предназначенных для обработки корпусных деталей, податливость не может оставаться постоянной во всех точках их значительных по величине пространственных рабочих зон. А это должно привести к появлению погрешностей взаимного расположения отверстий, обрабатываемых в различных местах рабочей зоны станка.

В настоящее время закономерности изменения податливости в рабочей зоне станка изучены недостаточно. Такое состояние вопроса не позволяет установить взаимосвязь между неравномерностью податливости станка и погрешностью взаимного расположения отверстий, обработанных на нем, и затрудняет разработку эффективных технологических методов повышения точности обработки отверстий.

В связи с этим, установление закономерностей изменения податливости станка во всей его рабочей зоне является актуальной проблемой.

Цель работы. Исследование податливости расточных станков во всей их рабочей зоне и разработка технологических методов



уменьшения ее влияния на точность взаимного расположения обрабатываемых отверстий заготовок корпусных деталей.

Методы исследования. Теоретическое исследование закономерностей изменения податливости станка проводилось на основе методов теории контактной жесткости и теории упругости. При математическом описании податливости станков использовались элементы метода координатных систем с деформируемыми связями, разработанного Базровым Б.М.

При экспериментальных исследованиях податливости станка использовались специально разработанные устройства для измерения податливости станков расточной группы и современная измерительная аппаратура. При расчетах и обработке экспериментальных данных использовались методы теории вероятности и математической статистики, а также численные методы и ЭЭМ.

Научная новизна. В результате теоретических и экспериментальных исследований установлен комплекс параметров объемной податливости, получены аналитические зависимости для их определения. Установлена взаимосвязь точностных параметров обрабатываемых на станке отверстий с параметрами объемной податливости станка.

Практическая ценность. Результаты работы могут быть использованы для повышения точности обработки основных отверстий высокоточных корпусных деталей. Разработана методика теоретического определения параметров объемной податливости станка. Создано устройство (авторское свидетельство № 1268296) для аттестации расточных станков по параметрам объемной податливости в производственных условиях. Разработаны расточная оправка (авторское свидетельство № 1291294) и накладной стол (положительное решение по заявке № 3991994), позволяющие существенно повысить точность обработки основных отверстий высокоточных корпусных деталей.

Реализация работы. По рабочим чертежам устройства для аттестации податливости расточных станков и гаммы расточных оправок изготовлены их промышленные образцы и составлены инструкции по их эксплуатации.

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на научных семинарах кафедры "Технология металлов" в 1984-1986 гг.; всесоюзно-научно-технической конференции "Проблемы создания гибких производственных систем при внедрении "безлюдной" технологии в промышленности", Днепропетровск, 1983 г.; всесоюзной кон-

ференции "Интенсификация технологических процессов механической обработки", Ленинград, 1986 г.

Публикации. Материал диссертации стражен в 6 публикациях, в том числе, в 2 авторских свидетельствах. Получено положительное решение по заявке на изобретение.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и списка литературы из 93 наименований, приложения, содержит 105 страниц машинописного текста, 78 рисунков, 8 таблиц.

#### КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Во введении обоснована актуальность темы, сформулированы цель и задачи исследования, дана общая характеристика работы.

В первой главе диссертации рассмотрена проблема технологического обеспечения высокой степени точности взаимного расположения основных отверстий высокоточных корпусных деталей. К ним относятся корпуса механизмов с зубчатыми передачами (редукторов, коробок скоростей, коробок подач), детали узлов поступательного перемещения (каретки, суппорты), вспомогательные детали (рычаги, кронштейны, стойки), детали технологической оснастки (кондукторные плиты, кондукторы) и детали листопркатных станков (станины, клетки). Проведен статистический анализ наиболее важных характеристик корпусных деталей указанных групп и точностных параметров расположения их основных отверстий.

На основе анализа компоновок металлорежущих станков для обработки заготовок корпусных деталей и современных технологических процессов обработки их основных отверстий выявлен комплекс технологических факторов, влияющих на точность расположения отверстий. К ним относятся: погрешность установки заготовки на станке, самопроизвольные смещения узлов станка, погрешность настройки, геометрические погрешности станка, его температурные и упругие деформации и другие. Последние три фактора часто объединяют под общим понятием - объемная точность станка. По аналогии с этим податливость станка, вызывающая упругие относительные перемещения инструмента и заготовки, изменяющиеся в трехмерной рабочей зоне станка, в дальнейшем называется объемной податливостью. Рассмотрение методов уменьшения влияния всех указанных выше факторов на точность обработки от-

версии позволило установить, что особый интерес представляет исследование параметров объемной податливости и их связи с погрешностью обработки. В этом направлении исследования ведутся многими учеными. Решению этого вопроса способствуют такие фундаментальные разработки, как метод координатных систем с деформируемыми связями, разработанный Б.М.Базровым, метод представления несущей системы станка, как упруго-фрикционной системы, разработанный П.М.Черныдским и др. Однако связь объемной податливости станка с вызываемыми ею погрешностями обработки пока не установлена с необходимой для практического использования полнотой, не разработана стройная система показателей и методов их определения. А это затрудняет разработку эффективных методов стабильного получения высокой точности расположения отверстий.

На основании проведенного анализа и в соответствии с целью исследований в диссертации поставлены следующие задачи: 1) теоретически и экспериментально исследовать параметры объемной податливости станков вертикальной и горизонтальной компоновок и установить закономерности их изменения в рабочих зонах этих станков; 2) выявить влияние параметров объемной податливости на погрешность расположения обрабатываемых отверстий; 3) разработать технологические методы уменьшения влияния объемной податливости станков на точность расположения обрабатываемых отверстий.

Вторая глава посвящена теоретическому исследованию параметров объемной податливости и установлению их влияния на погрешности обработки отверстий.

На первом этапе из рассматриваемых расточных станков были выделены элементы, которые за счет собственных упругих деформаций и контактных перемещений в стыках между ними оказывают влияние на точность обработки отверстий. Такими элементами в станке вертикальной компоновки являются шпиндель, гильза, шпиндельная коробка, блок направляющих, колонна, стол и салазки, а в станке горизонтальной компоновки - шпиндель, полый шпиндель, шпиндельная коробка, колонна, поворотный стол, стол и салазки. Для каждого из этих элементов были составлены расчетные схемы нагружения силой резания и определены податливости, приведенные к произвольной точке ( $x, y, z$ ) рабочей зоны и к произвольному направлению ( $\alpha$ ) нормальной составляющей силы резания. Так, например, для стола станка вертикальной компоновки его приведен-

ная податливость  $W_{CT}^A$  описывается выражением

$$\begin{aligned}
 W_{CT}^A = & \left[ \frac{C_{CT} t_{CT}}{l_{CT} b_{уст}} + \frac{C_{CT} t_{CT} (x + h_{CT})^2}{J_{CTx}} + \frac{C_{CT} t_{CT} x^2}{J_{CTz}} \right] (\sin^2 \alpha - \\
 & - \frac{K_T}{K_n} \sin \alpha \cos \alpha) + \left[ \frac{k_{CT}^T}{2 F_{CT}} + \frac{C_{CT} t_{CT} (x + h_{CT})^2}{J_{CTy}} + \frac{C_{CT} t_{CT} y^2}{J_{CTz}} \right] (\cos^2 \alpha + \\
 & + \frac{K_T}{K_n} \sin \alpha \cos \alpha) + \frac{C_{CT} t_{CT} x y}{J_{CTz}} \left( \frac{K_T}{K_n} \cos 2\alpha - \sin 2\alpha \right) + \\
 & + \frac{C_{CT} t_{CT} K_0 y (x + h_{CT})}{J_{CTx} K_n} \sin \alpha + \frac{C_{CT} t_{CT} x K_0 (x + h_{CT})}{J_{CTy} K_n} \cos \alpha,
 \end{aligned} \quad (1)$$

где  $C_{CT} t_{CT}$  - условный коэффициент контактной податливости направляющих стола;

$l_{CT}$  - длина направляющих стола;

$b_{уст}$  - приведенная ширина граней направляющих стола в направлении оси координат  $Y$ ;

$k_{CT}^T$  - коэффициент касательной контактной податливости стыка "стол - тормозная планка";

$F_{CT}$  - площадь стыка "стол - тормозная планка";

$J_{CTx}, J_{CTy}, J_{CTz}$  - моменты инерции направляющих стола вокруг осей  $X, Y$  и  $Z$ , соответственно;

$K_T, K_n, K_0$  - коэффициенты соотношения составляющих силы резания  $P_T, P_n$  и  $P_0$ , соответственно;

$h_{CT}$  - высота стола (размер стола вдоль оси  $Z$ ).

Аналогичную структуру имеют выражения для определения приведенной податливости и других элементов как этого станка, так и станка горизонтальной компоновки.

Вектор податливости станка  $\bar{W}_C$  в произвольной точке его рабочей зоны является векторной суммой приведенных податливостей  $\bar{W}_i$  указанных элементов:

$$\bar{W}_C = \sum_{i=1}^n \bar{W}_i(x, y, z, \alpha). \quad (2)$$

Для каждой точки рабочей зоны  $(x, y, z)$  геометрическое место концов векторов податливости  $\bar{W}_C$  ( $\alpha = \text{var}$ ) представляет плоскую замкнутую кривую, в дальнейшем называемую эпокрой податливости станка в точке. Далее, изменяя координату  $Z$ , получим

семейство эпюр податливости, образующее "поверхность податливости" станка для точки рабочей зоны с координатами  $(x, y)$ . Геометрическое место центров поперечных сечений "поверхности податливости" (эпюр податливости) представляет собой "ось податливости" этой же точки рабочей зоны станка.

Анализ показал, что форма эпюры и "поверхности податливости", а также пространственная ориентация "оси податливости" не остаются постоянными в рабочей зоне станка. В результате исследований было установлено, что для однозначной оценки законов изменения податливости станка во всей его рабочей зоне необходим комплекс параметров. Его состав был определен по аналогии с основными стандартными точностными показателями формы и расположения поверхности вращения. Основными параметрами объемной податливости являются (табл. I): отклонение от круглости эпюры податливости  $\delta_F$ , отклонение от цилиндричности "поверхности податливости"  $\Delta W_{ср}$ , угловое отклонение "оси податливости"  $\gamma$ , ориентация "оси податливости"  $\beta$ , смещение начальной точки "оси податливости"  $e_0$  относительно номинального положения, направление смещения начальной точки "оси податливости"  $\psi$ . Для каждого параметра объемной податливости выведены аналитические зависимости, позволяющие определить их величину в любой точке рабочей зоны станков.

Ниже в качестве примера приведено аналитическое выражение для определения углового отклонения "оси податливости"  $\gamma^B$ , как наиболее важного параметра объемной податливости, обуславливающего погрешности взаимного расположения осей отверстия, расточенных на станке вертикальной компоновки:

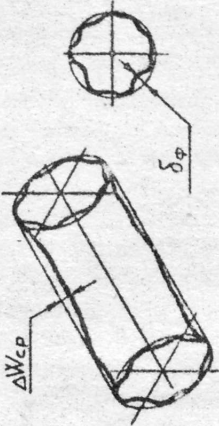
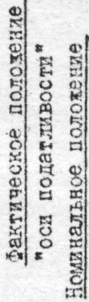
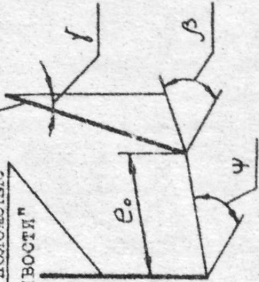
$$\gamma^B = \sqrt{\left(\frac{C_{сттст} K_0 x}{J_{стx} K_n}\right)^2 + \left(\frac{\delta_{кш} l_{шк} K_0}{\sqrt{2} a_{шк} l_{шк}^3 K_n} + \frac{\delta_{кн} l_{нк} K_0}{a_{кн} l_{нк}^3 K_n} + \frac{10^4 h_{кш} l_{шк} K_0}{E_k J_{кш} K_n} + \frac{\delta_{кн} l_{нк} K_0}{a_{кн} l_{нк}^3 K_n} - \frac{C_{сттст} K_0 y}{J_{стx} K_n} - \frac{C_{сттст} K_0 y}{J_{стx} K_n}\right)^2}. \quad (3)$$

где  $k_{шк}, k_{кн}, k_k$  - коэффициенты контактной податливости соответственно стыков "шпиндельная коробка - блок направляющих", "блок направляющих - колонна", "колонна - основание";

$a_{шк}, a_{кн}, a_k$  - ширина граней направляющих соответственно шпиндельной коробки, блока направляющих, колонны;

$l_{шк}, l_{кн}, l_{нк}$  - длина направляющих соответственно шпиндель-

Таблица I

| Параметр                                                              | Обозначение                                                                                      | Изображение                                                                       | Диапазон изменения                              |
|-----------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| Параметр<br>объемной подательности                                    |                                                                                                  |                                                                                   |                                                 |
| Отклонение от круглости<br>звезда подательности, мкм/Н                | $\delta_{\varphi}^B$<br>$\delta_{\varphi}^{TC}$<br>$\delta_{\varphi}^{TW}$<br>$\delta_{\varphi}$ |  | 0,011...0,041<br>0,032...0,058<br>0,012...0,056 |
| Отклонение от цилиндричности<br>"поверхности подательности",<br>мкм/Н | $\Delta W_{cp}^B$<br>$\Delta W_{cp}^{TC}$<br>$\Delta W_{cp}^{TW}$<br>$\Delta W_{cp}$             |                                                                                   | 0...0,054<br>0...0,003<br>0...0,63              |
| Угловое отклонение "оси<br>подательности", 10 <sup>7</sup> рад/Н      | $\gamma^B$<br>$\gamma^{TC}$<br>$\gamma^{TW}$<br>$\gamma$                                         |  | 0,060...0,65<br>0,254...2,02<br>0,686...2,94    |
| Ориентация "оси подательности",<br>град.                              | $\beta^B$<br>$\beta^{TC}$<br>$\beta^{TW}$<br>$\beta$                                             |  | 0°...180°<br>180°...360°<br>180°...360°         |
| Смещение начальной точки<br>"оси подательности", мкм/Н                | $e^B$<br>$e^{TC}$<br>$e^{TW}$<br>$e$                                                             |                                                                                   | 0...0,022<br>0,026...0,190<br>0,006...0,102     |
| Направление смещения начальной<br>точки "оси подательности",<br>град. | $\psi^B$<br>$\psi^{TC}$<br>$\psi^{TW}$<br>$\psi$                                                 |                                                                                   | 0°...360°<br>90°...136°<br>90°...136°           |

Индексы: В - станок вертикальной компоновки, Г - станок горизонтальной компоновки, С - подача  
 столом, Ш - подача шпинделем.

ной коробки, блока направляющих, колонны;

$L_{шк}, L_{бл}$  - расстояние от оси шпинделя до направляющих соответственно шпиндельной коробки и блока направляющих;

$L_k$  - расстояние от оси шпинделя до оси колонны;

$J_{лх}$  - момент инерции направляющих салазок вокруг оси

X ;

$J_{кх}$  - момент инерции среднего сечения колонны вокруг

оси X ;

$E_k$  - модуль упругости первого рода материала колонны;

$h_k$  - деформируемая длина колонны.

Установленное соответствие параметров объемной податливости и точностных показателей отверстий позволяет определять ожидаемую погрешность обработки отверстий с учетом параметров технологического процесса. К этим параметрам следует отнести, прежде всего, режимы резания, определяющие уровень силового воздействия на станок. Учитывая то, что режимы обработки отверстий на рассматриваемых станках позволяют принимать коэффициент динамичности близким к 1, процесс растачивания отверстий в корпусах приближенно можно считать статическим. В связи с этим ожидаемую погрешность обработки отверстий можно определить по зависимостям типа (3) путем умножения величины конкретного параметра объемной податливости на величину нормальной составляющей силы резания.

Расчеты на ЭЕМ показали, что параметры объемной податливости станков оказывают существенное влияние на ряд погрешностей обработки отверстий. В качестве примера на рис. 1-3 представлены расчетные погрешности, обусловленные угловым отклонением "оси податливости"  $\gamma$ . Отсюда видно, что такие погрешности как отклонение от параллельности осей отверстий и отклонение от перпендикулярности и параллельности осей отверстий к базе соизмеримы с требованиями, предъявляемыми к точности их изготовления.

В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований параметров объемной податливости станков и их влияния на точность обработки отверстий. Исследования проводились в два этапа: сначала определялись параметры податливости, а затем устанавливалось их влияние на точность обработки отверстий при растачивании.

Для экспериментального определения параметров объемной по-

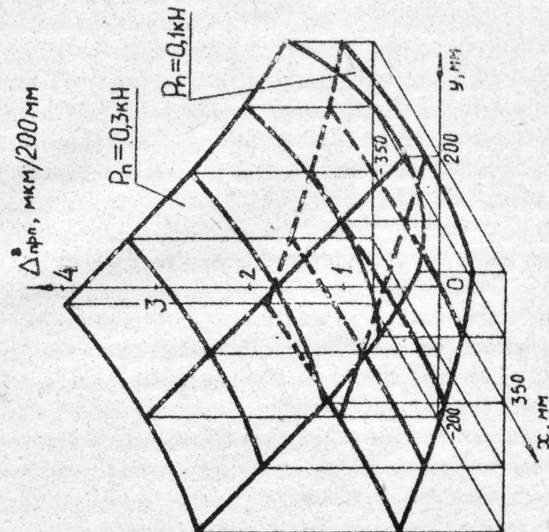


Рис.1. Отклонение от перпендикулярности оси отверстия к базе при его обработке на станке мод. 2В440А

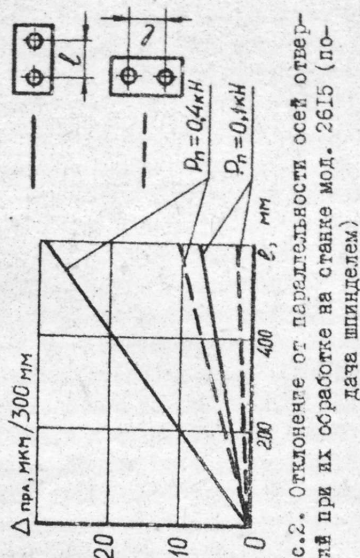


Рис.2. Отклонение от параллельности осей отверстий при их обработке на станке мод. 2В15 (подача шпинделем)

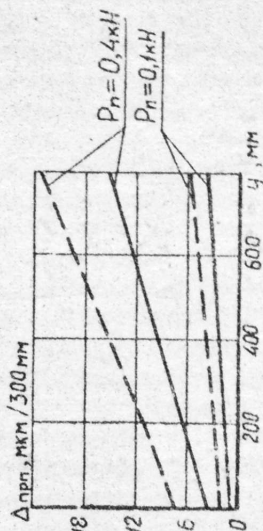


Рис.3. Отклонение от параллельности оси отверстия к базе при его обработке на станке мод. 2В15: — подача столом, --- подача шпинделем

датливости было спроектировано и изготовлено специальное устройство для измерения податливости станков (авторское свидетельство № 1268296). Оно позволяет производить нагружение станка в любой точке его рабочей зоны в диапазоне от 0 до 1000 Н. Взаимные отжаты элементов, несущих инструмент и заготовку, контролируются с высокой точностью с помощью датчика перемещений. Причем, измерение и запись нагрузки и перемещений производится непрерывным способом при вращении шпинделя.

По замерам перемещений и нагрузки для каждой контрольной точки строилась экспериментальная эпюра податливости, которая затем подвергалась гармоническому анализу. При этом нулевой член аппроксимирующего многочлена Фурье позволял определить размер эпюры податливости, его первая гармоника — смещение центра эпюры податливости, а последующие гармоники — отклонение от круглости. Несовпадение теоретических и экспериментальных параметров податливости в основном не превышало 15%. Экспериментальное исследование влияния параметров объемной податливости на погрешности обработки проводилось путем растачивания на станках обеих компоновок высокоточных образцов. Они представляли собой изготовленные из чугуна СЧ20 кольца: отклонение формы внутренней и наружной поверхностей и отклонение их от соосности не превышали 0,5 мкм. Кольца устанавливались в различные контрольные точки рабочей зоны, производилось центрирование шпинделя по внутренней их поверхности и растачивание. По круглограммам внутренней и наружной поверхностей кольца определялись отклонение формы его внутренней поверхности и смещение ее центра относительно наружной поверхности. Сопоставляя величины смещений центров расточенных отверстий, имеющих одинаковые координаты  $X$ , определяли пространственное расположение их общей оси и ее угловое отклонение относительно номинального расположения. Полученные таким образом погрешности обработки сравнивались с теоретическими. Несовпадение результатов этого эксперимента с теоретическими данными не превышало 16%.

Четвертая глава посвящена разработке и исследованию методов уменьшения влияния параметров объемной податливости станка на точность обработки отверстий.

В соответствии с целью работы основное внимание было уделено разработке технологических методов. В результате анализа выделены следующие основные технологические методы: компенсация неравномерности податливости станка, выбор рациональных зон об-

10

работки, стабилизация упругих перемещений, программная коррекция упругих перемещений, управление силой резания. В данной работе основное внимание было уделено первым трем методам.

Как было установлено в ходе теоретических исследований, податливость станка вертикальной компоновки при действии на него веса заготовки и приспособления приводит к появлению отклонения от перпендикулярности оси расточенного отверстия к плоскости стола. Это отклонение непосредственно и изменяется при изменении координаты  $X$  точки резания. Аналогичное отклонение возникает и при действии на станок осевой составляющей  $P_z$  силы резания. Однако наклон оси отверстия под действием этих факторов противоположен по направлению. Это обстоятельство позволило разработать метод компенсации неравномерности податливости станка с помощью специального накладного стола (положительное решение по заявке на изобретение). Испытание модели накладного стола показало, что таким способом можно до 70% уменьшить отклонение от перпендикулярности оси отверстия относительно базовой поверхности заготовки и практически полностью исключить отклонение от параллельности осей отверстий, имеющих общую плоскость, параллельную плоскости  $XOZ$ .

Следует отметить, что данная конструкция накладного стола не является переналаживаемой. Поэтому его применение эффективно лишь в том случае, если вес обрабатываемых заготовок не превышает 10% от веса той заготовки, для которой стол предназначен.

Метод выбора рациональных зон обработки основан на том, что параметры объемной податливости формируют соответствующие погрешности обработки. Следовательно, зная закономерности изменения параметров податливости, можно определить точки рабочей зоны, в которых соответствующие погрешности обработки будут минимальны.

Для реализации этого метода необходимо создавать своего рода "Паспорта податливости" станков. Их наличие позволит технологу и расточнику осознанно располагать заготовку в рабочей зоне станка и добиваться, тем самым, существенного уменьшения погрешностей обработки отверстий. Кроме того, такой "Паспорт" позволяет создавать эффективные корректирующие программы для станков с ЧПУ. Для создания такого "Паспорта" был разработан производственный вариант устройства для измерения объемной податливости станков. Его рабочие чертежи и инструкция по эксплуатации были

переданы в производство.

Для реализации метода стабилизации упругих перемещений станка была разработана специальная расточная оправка с быстро-вращающимся ротором (авторское свидетельство № 1291294). Ротор приводится во вращение при помощи сжатого воздуха, подаваемого на его лопасти. Интенсивное воздушное охлаждение высокооборотных подшипников качения и предохранительное устройство, отстреливающее подводной штуцер пневмомагистрали от коллектора в аварийных ситуациях, делают оправку высоконадежным устройством. Принцип действия расточной оправки основан на создании быстро-вращающимся ротором гироскопического момента, возникающего при отжатии рабочего конца оправки. В связи с этим данная расточная оправка уменьшает такие погрешности, как отклонение от круглости и цилиндричности растачиваемых отверстий. Однако в условиях неравномерности припуска, вызванной погрешностями предыдущих операций, применение оправки может существенно снизить коэффициент наследования для всех, рассмотренных выше погрешностей обработки отверстий. Проведенные в цеховых условиях испытания опытных и промышленного образцов расточной оправки показали ее высокую эффективность. Такая оправка имеет более высокую виброустойчивость, что позволило в 1,5 раза увеличить режимы резания. Шероховатость поверхности, обработанной этой оправкой уменьшилась по сравнению с обработанной стандартными оправками с  $R_z 20 + R_z 30$  до  $R_z 5 + R_z 6,3$ . При полустиховых режимах резания влияние гироскопического момента уменьшило упругие отжатия рабочего конца оправки в среднем на 35%. Растачивание заготовок корпусных деталей с исходным отклонением от соосности отверстий до 0,2 мм показало, что с помощью разработанной оправки удастся уменьшить отклонение от соосности обработанных отверстий в 2,5 раза по сравнению с растачиванием стандартными оправками.

#### ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Теоретически разработана и экспериментально подтверждена методика оценки объемной податливости станков, имеющих значительную по величине трехмерную рабочую зону и предназначенных для обработки заготовок корпусных деталей.

2. Разработан и исследован комплекс параметров, однозначно определяющих закономерности изменения объемной податливости

станков вертикальной и горизонтальной компоновок. Получены аналитические зависимости для основных параметров объемной податливости.

3. Установлено, что все параметры объемной податливости изменяются в рабочей зоне станка. Доказано, что главная причина непостоянства параметров объемной податливости заключена в самой компоновке станков — сложное пространственное расположение стыков, воспринимающих нагрузки, анизотропия их контактной податливости.

4. Предложены аналитические зависимости для расчета ожидаемых погрешностей обработки, обусловленных соответствующими параметрами объемной податливости. Результаты расчетов по подтвержденным экспериментально предложенным зависимостям показали существенное влияние параметров объемной податливости на точность обработки. Так, например, при обработке заготовок корпусных деталей на станках горизонтальной компоновки исследуемого типоразмера отклонение от параллельности осей отверстий достигает 30 мкм/300 мм при предварительном растачивании и 7 мкм/300 мм при окончательном растачивании.

5. Разработан промышленный образец устройства для аттестации параметров объемной податливости станков. Его рекомендуется применять для аттестации как вновь выпускаемых, так и находящихся в эксплуатации станков. Результаты аттестации следует использовать для выбора рациональных зон обработки и разработки корректирующих программ для станков с ЧПУ. Это дает возможность повысить и стабилизировать точность обработки отверстий корпусов в различных точках рабочей зоны станков и интенсифицировать режимы резания.

6. Предложена принципиальная схема технологической оснастки для станков вертикальной компоновки в виде накладных столов, позволяющая при обработке заготовок корпусных деталей стабилизировать объемную податливость и, тем самым, существенно (на 70%) снизить отклонение от перпендикулярности осей отверстий к базе и практически полностью исключить отклонение от параллельности осей отверстий при расположении их общей плоскости параллельно направлению координатного перемещения стола станка.

7. Разработана расточная оправка с быстровращающимся ротором (авторское свидетельство № 1291294), позволяющая уменьшить влияние объемной податливости на погрешность обработки отверс-

тий. Ее применение на горизонтально-расточных станках позволяет в 1,5 раза увеличить режимы резания, снизить шероховатость обработанной поверхности до  $R_z$  5 и в 2,5 раза уменьшить отклонение расположения обрабатываемых отверстий. Ожидаемый экономический эффект от внедрения расточных оправок на одном предприятии - 8347 руб.

Основные результаты диссертации отражены в следующих работах:

1. Сергеев В.В. Объемная точность станка и выбор рациональных заготовок для обработки корпусных деталей //Проблемы создания гибких производственных систем при внедрении "безлюдной" технологии в промышленности: Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. - М.: 1983. - С. 44.

2. Сергеев В.В. Закономерности изменения податливости расточных станков в их рабочей зоне /МВТУ. - М.: 1986. - 10 с. - Деп. во ВНИИТЭМР 17.03.86, № 117-мш.

3. Сергеев В.В. Технологическая оснастка для повышения объемной точности станков /МВТУ. - М.: 1986. - 10 с. - Деп. во ВНИИТЭМР 17.02.86, № 128-мш.

4. Сергеев В.В. Объемная податливость станка и ее связь с точностью обработки //Интенсификация технологических процессов механической обработки: Тезисы докладов Всесоюзной конференции, - Л.: 1986. - С. 110-111.

5. А.с. № 1268296 СССР, МКП<sup>3</sup> В23 В25/06. Устройство для измерения жесткости станков /В.В.Сергеев, В.В.Гудков, В.В.Зимин (СССР). - №3882862/31-08. Опубл. 07.11.86. Бюл. № 41 //Открытия. Изобретения. - 1986. - № 41. - С.36.

6. А.с. № 1291294 СССР, МКП<sup>3</sup> В23 В29 /03. Расточная оправка. /В.В.Сергеев, В.В.Гудков (СССР). - № 3906189/31-08. Опубл. 23.02.87. Бюл. № 7 //Открытия.Изобретения. - 1987. - № 7. - С.57.