

ХАРЬКОВСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

Акинсее Огункехин Александр

РАЗРАБОТКА ОБЩЕЙ СТРУКТУРЫ И ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СБОРКИ УНИКАЛЬНОГО АГРЕГАТИРОВАННОГО МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО
ОБОРУДОВАНИЯ

05.02.08 - Технология машиностроения

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков 1993г.



00339960 (U)

21
 Работа выполнена на кафедре
 таллорежущие станки" Харьк

Научный руководитель: доктор технических наук,
 профессор Тимофеев Ю.В.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,
 профессор Арпентьев Б.М.
 кандидат технических наук,
 доцент Цимбал И.Л.

Ведущая организация: Харьковское производственное объединение
 по выпуску агрегатных станков

Защита состоится "16" декабря 1993г. в 18⁰⁰ часов
 на заседании специализированного совета Д 02.09.01 в
 Харьковском политехническом университете по адресу:
 (310001, Харьков, ул.Фрунзе, 21, ХПИ, ауд.____, корп.____).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковского
 политехнического института.

Автореферат разослан "11" ноября 1993г.

Ученый секретарь
 специализированного совета

Узунян М.Д.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблем исследования.

Развитие современного машиностроительного производства, создание новых конструкций высокотехнологичных прецизионных машин и повышение требований к их надежности и качеству делает необходимым неуклонный рост точности обработки на агрегатных станках (АС). Поэтому выполнение АС своего основного функционального назначения нельзя рассматривать в отрыве от его жизненного цикла (проектирование-изготовление-эксплуатация), что в свою очередь выдвигает требование повышения качества принимаемых технических решений и выходной точности агрегатных станков, которая во многом определяется на стадии проектирования и реализуется на этапе окончательной сборки.

Существенной особенностью сборочных процессов АС является значительная их трудоемкость и большая сложность (до 40...50% общей трудоемкости изготовления), причем с увеличением точности возрастает количество высокоточных сопряжений и объем монтажных работ, что вызывает значительные трудности при сборке станка. Это связано с тем, что сборка АС осуществляется по методу индивидуальной подгонки узлов и деталей для обеспечения требуемой выходной точности станка. При этом производится многократная разметка, установка и снятие узлов, что значительно увеличивает трудоемкость этого этапа изготовления АС. Следовательно, наряду с существующими способами достижения заданной точности, необходимо более широко и полно развивать новые перспективные методы, в основе которых будут расчеты, построенные на комплексной математической модели точности формообразования поверхностей при обработке на АС и методах ее обеспечения в процессе создания таких станков.

Таким образом, в сокращении трудоемкости сборочных операций скрыт основной резерв повышения эффективности процесса производства АС, а дальнейшие исследования в этой области являются актуальными.

Цель работы состоит в повышении эффективности процесса сборки и обеспечения возможности варьирования качественными характеристиками АС среднего размера за счет управления параметрами, которые определяют точность и надежность станка, как технологической системы, на различных этапах создания такого оборудования. Повышение эффективности основано на выявлении закономерностей и численных характеристик процесса формирования погрешностей АС с точки зрения точности последующей обработки и использовании полученных закономерностей на всех стадиях проектирования и производства.

Общая методика исследований. Решение поставленных задач основывается на современном представлении о процессах создания и эксплуатации АС и основных положениях технологии машиностроения, теории размерных цепей, теории упругости, аналитической геометрии и теории вероятностей и математической статистики. Теоретические положения работы базируются на методологической основе системного подхода и принципах декомпозиции, построены с использованием методов статистических исследований, теории графов, элементов теории множеств и формальной логики. Необходимые экспериментальные исследования проводились на стендах и непосредственно в процессе производства.

Автор защищает:

1. Общие подходы и принципы управления точностью агрегатных станков среднего размера на различных этапах создания оборудования, построенного по принципу агрегатирования.

2. Математическую модель точности формообразования на АС, которая по сравнению с предшествующими моделями учитывает все основные факторы и особенности создания и эксплуатации агрегатированного оборудования, формирующие геометрическую и динамическую погрешности обработки, что позволяет выбирать способ достижения необходимой точности АС в зависимости от предъявляемых к нему требований.

3. Построенный на основании предлагаемой математической модели комплекс методик расчета допустимых погрешностей формы и размеров нормализованных узлов и элементов, линейных размеров компенсаторов и диаметров крепежных отверстий базовых элементов и настраиваемого размера инструмента по требуемой точности геометрического положения оси инструмента на стадии проектирования, а также методику обеспечения требуемой точности обработки путем варьирования параметрами жесткости оригинальных элементов АС.

4. Разработанный для реализации данных методик на ЭВМ комплекс алгоритмического, программного и информационного обеспечения.

5. Принципы модернизации технологического процесса сборки АС, основанные на включении элементов поточной сборки и направленные на сокращение трудоемкости за счет вынесения механических операций по дообработке станины на более ранние стадии технологического процесса.

Научная новизна. Разработаны общие принципы управления точностью АС на всех этапах его создания, вытекающие из особенностей сборки и позволяющие оптимизировать структуру технологического процесса и сократить трудоемкость сборки станков, которые базируются:

- на установленных закономерностях влияния требуемой точности

АС и методов ее достижения на трудоемкость процесса сборки;

- на формализации, построении и исследовании математической модели формирования геометрической и динамической погрешностей формообразования, базирующейся на учете структурно-компоновочных особенностей АС и установленных статистически и экспериментально закономерностях влияния основных структурно-параметрических характеристик нормализованных узлов на точность станка в целом.

Практическая ценность и реализация результатов работы.

1. Выявлены и классифицированы по степени влияния на геометрическую точность АС основные погрешности формы и взаимного расположения монтируемых узлов, и элементов. Установлены статистические закономерности их проявления в процессе изготовления нормализованных узлов, что позволило выработать рекомендации по изменению требуемых допусков на рассматриваемые погрешности.

2. Построены расчетные схемы для определения эксцентриситета и смещения реальной оси обработки относительно теоретического положения и предложен комбинированный метод расчета размерной цепи позиции АС, что позволяет в условиях неопределенности проявления погрешностей режущего инструмента получить более точные результаты по сравнению с традиционными методами расчета.

3. Разработана и реализована на ЭВМ методика расчета линейных размеров компенсатора и проверки размеров крепежных отверстий базовых элементов по требуемой точности геометрического положения оси обрабатываемого отверстия на стадии проектирования общего вида АС, что позволяет сократить трудоемкость последующей операции сборки рассматриваемой позиции обработки.

4. Разработана общая схема и структура сборочного процесса, в основу которой положен принцип минимизации трудоемкости механической обработки непосредственно на сборочной позиции, что позволило сократить трудоемкость сборки, а также использовать методы поточной стационарной сборки для повышения точности АС.

5. Создан комплект вспомогательной оснастки, позволяющей повысить точность механической обработки станины под установку основных компоновочных элементов и сократить трудоемкость за счет применения прогрессивных методов многоинструментальной обработки.

6. Теоретические положения работы легли в основу комплекса методик оптимизации элементов процесса проектирования и сборки АС и используются на Харьковском производственном объединении по выпуску агрегатных станков (ХПО АС) с экономическим эффектом 1664000 крб.

Апробация работы. Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались, обсуждались и были одобрены на научно-технических семинарах кафедры "Технология машиностроения и металлообрабатывающие станки" Харьковского политехнического института в 1989-1993 гг.; республиканской научно-практической конференции "САПР конструкторской и технологической подготовки автоматизированного производства", г. Харьков, 1990г.; конференции "Повышение эффективности и качества механообрабатывающего производства", г. Евпатория, 1993г.; международной конференции "Компьютер: наука, техника, технология, здоровье", гг. Харьков, Мишкольц, 1993; и др.

Публикации результатов работы. По результатам проведенных исследований опубликовано 7 печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти разделов, общих выводов и рекомендаций, списка литературы и приложений. Основной объем работы составляет 127 страниц машинописного текста, 50 рисунков, 16 таблиц, 129 наименований использованных источников на 11 страницах, приложений на 65 страницах. Общий объем работы составляет 265 страниц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследований и кратко сформулированы основные положения и научные результаты диссертации, приведены сведения об апробации и практической ценности работы, результаты внедрения в промышленность.

В первой главе рассматривается основное функциональное назначение агрегатированного оборудования, его структура и процесс создания, анализируются факторы, определяющие трудоемкость его производства, и проводится обзор исследований по рассматриваемой проблеме на основании чего формулируются цели и задачи исследования.

Изготовление АС состоит из двух этапов: первый включает процесс изготовления и сборку оригинальных элементов, а также механическую обработку базовых деталей; второй охватывает непосредственно сборку АС с доработкой отдельных базовых элементов.

Трудоемкость механосборочного производства (основного) составляет доминирующую часть в общем цикле создания АС (50...55% всей трудоемкости изготовления), что выше, чем в целом для единичного и мелкосерийного машиностроения (около 40%). Существенной особенностью сборочных процессов АС является значительная трудоемкость и большая сложность. Это связано с тем, что сборка АС осуществляется по методу индивидуальной подгонки узлов, причем с ужесточением требований к

точности станка увеличиваются количество высокоточных сопряжений и объем пригоночных и монтажных работ и, следовательно, время сборки.

Научными основами и методами повышения эффективности металлорежущего оборудования за счет повышения выходных параметров точности и оптимизации сборочных процессов занимались такие видные ученые, как Арпентьев Б.М., Базров Б.М., Балакшин Б.С., Волчкович Л.И., Гавриш А.П., Корсаков В.С., Косилова А.Г., Портман В.Т., Тимофеев Ю.В. и др.

Однако вопросам взаимовлияния точности и трудоемкости сборки агрегатированного оборудования уделялось недостаточное внимание. Проведенные исследования носят либо общерекомендательный характер и не учитывают специфику создания АС, либо результаты их распространяются на узкую конкретную область проектирования и изготовления отдельных элементов станков.

Комплексный анализ функциональной структуры и процесса создания АС среднего размера, а также обзор исследований и публикаций по основным вопросам данной предметной области показал, что одной из первоочередных задач, подлежащих решению, является проблема сокращения трудоемкости сборки и повышения качества выпускаемых станков.

Для достижения поставленной цели в работе выполнены:

1. Исследование структуры, параметров и компоновочных особенностей технологии сборки АС и установлены закономерности влияния и соотношения параметров собираемых элементов на точность и трудоемкость процесса сборки.

2. Разработка математической модели прогнозирования точности АС средних размеров, исследование ее и установление аналитических зависимостей между точностью и жесткостью составляющих звеньев и АС.

3. Разработка комплекса методик расчета и управления параметрами точности и трудоемкости сборки агрегатированного оборудования, обладающих достаточной для реализации на ЭВМ степенью формализации.

4. Реализация предложенных расчетных методик в виде комплекса алгоритмического, программного и информационного обеспечения и внедрение их в практику проектирования СКБ АС и на рабочих местах в механосборочных цехах ХПО АС.

Во второй главе рассматриваются основные компоновочные особенности АС среднего размера и приведены результаты анализа их влияния на трудоемкость процесса сборки, которые послужили теоретической основой формализации и постановки в общем виде задачи сокращения трудоемкости процесса сборки АС, где в качестве целевой функции выступает зависимость трудоемкости сборки от требуемой точности станка.

Компоновки АС среднего размера имеют ряд особенностей, связанных с основным функциональным назначением таких станков, отличающих их от другого металлорежущего оборудования. Это требует создания оригинальных моделей и методов обеспечения точности оборудования, распространяющихся на все этапы производства АС: проектирование, изготовление элементов, сборку.

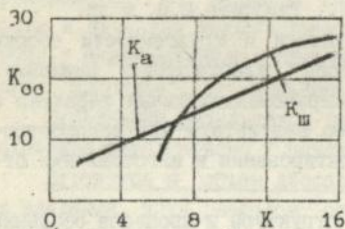


Рис.1 Трудоемкость сборки в зависимости от компоновки АС.

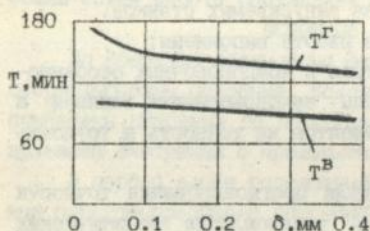


Рис.2 Трудоемкость сборки в зависимости от требуемой точности сборки станка:

$$T = f(K, E_k, \xi_k) \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$E_{ik} \leq E_{sik} \quad \forall i_k = I_k ; k \in K;$$

$$F(K, E_k, \xi_k) = 0,$$

где T — трудоемкость процесса сборки, чел/час; K — число позиций обработки; ξ_k — типоразмер силового агрегата и узлов оснащения на k -ой позиции обработки; E_{sik} — точность i -го размера на k -ой позиции обработки, заданная по чертежу обработки, мм; E_{ik} — точность i -го размера на k -ой позиции обработки, обеспечиваемая станком; I_k — число поверхностей или контролируемых размеров на k -ой позиции обработки.

Очевидно, что сокращение числа позиций обработки невозможно,

Как показал анализ, трудоемкость окончательной сборки АС зависит от числа монтируемых узлов (K_a); степени концентрации операций как на отдельных позициях, так и в целом по станку ($K_{ш}$); точности обработки на каждой позиции и в целом по станку; квалификации рабочих-сборщиков, при усредненной оценке которой введен показатель сборочной сложности ($K_{ср}$). Это позволило установить корреляционные зависимости трудоемкости процесса сборки от основных компоновочных характеристик и точности АС (рисунки 1 и 2), которые позволяют прогнозировать развитие производства и сформулировать в общем виде задачу минимизации трудоемкости процесса

так как этот параметр связан в первую очередь с технологией обработки, и его изменение может привести к снижению эффективности АС в процессе эксплуатации. Поэтому в данной работе анализируются только факторы влияния требуемой точности обработки на трудоемкость процесса сборки и предлагается, сравнив предполагаемую точность обработки с требуемой, еще на стадии проектирования разработать комплекс мероприятий, позволяющих сократить трудоемкость последующего изготовления АС.

Совершенствование процесса сборки АС невозможно без установления и анализа размерной взаимосвязи всех элементов уже на проектной стадии. При этом необходимо установить номинальные размеры и их отклонения, допускаемые погрешности формы и взаимного расположения сопрягаемых при монтаже поверхностей для всех компоновочных элементов, в том числе и для оригинальных. В работе выделены основные погрешности формы и взаимного расположения, влияющие на точность замыкающего звена. Это - различные отклонения от параллельности, перпендикулярности, неплоскостности монтируемых узлов и элементов.

Все эти погрешности определяют суммарное смещение оси инструмента в точке контакта с заготовкой и непараллельность оси инструмента относительно теоретического положения. Обработку каждой поверхности на АС с точки зрения взаиморасположения узлов и элементов целесообразно представить в определенной координатной системе (рис.3.). При условии отсутствия погрешностей внутри абсолютной системы координат (XYZ) положение точки М (точка начала резания на теоретической оси отверстия, определяемая радиус-вектором \vec{r}_D) может быть определено как через систему координат "инструмент", так и через систему координат "деталь" по правилам векторной алгебры:

$$\vec{r}_{abo}(M) = \vec{r}_{aboи} + \vec{r}_и + \vec{D}_и = \vec{r}_{отн} + \vec{r}_{авод} + \vec{r}_д. \quad (2)$$

Однако в общем случае имеются отклонения реальных систем координат "инструмент" и "деталь" по отношению к абсолютной вследствие рассмотренных выше неточностей изготовления, сборки и деформации узлов АС. Следовательно, положение точки М, выраженное через различные системы координат, будет находиться в пределах от $M_д$ до $M_и$. Максимальное смещение оси отверстия наблюдается при условии отклонения оси инструмента и детали в разные стороны.

Таким образом, с учетом поворота систем координат "инструмент" и "деталь" относительно абсолютной на углы $\Delta\phi_и$ и $\Delta\phi_д$ соответственно в результате погрешностей в системе АС

$$\begin{aligned} \bar{E} = & (\bar{r}_{\text{абси}} \pm \Delta \bar{r}_{\text{абси}}) + (\bar{r}_{\text{и}} \pm \Delta \bar{r}_{\text{и}}) + (\bar{D}_{\text{и}} \pm \Delta \bar{D}_{\text{и}}) + \Delta \phi_{\text{и}} (\bar{r}_{\text{и}} \pm \Delta \bar{r}_{\text{и}} + \bar{D}_{\text{и}} \pm \Delta \bar{D}_{\text{и}}) - \\ & - (\bar{r}_{\text{отн}} \pm \Delta \bar{r}_{\text{отн}}) - (\bar{r}_{\text{абсд}} \pm \Delta \bar{r}_{\text{абсд}}) - (\bar{r}_{\text{д}} \pm \Delta \bar{r}_{\text{д}}) - \Delta \phi_{\text{д}} (\bar{r}_{\text{д}} \pm \Delta \bar{r}_{\text{д}}), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\Delta r_{\text{абси}}$ - погрешность положения начала отсчета системы координат "инструмент" (погрешность положения оси шпинделя силовой головки относительно станины), мм; $r_{\text{абси}}$ - радиус-вектор точки $O_{\text{и}}$, мм; $\Delta r_{\text{и}}$ - погрешность положения инструмента относительно оси шпинделя, мм; $r_{\text{и}}$ - радиус-вектор вылета инструмента относительно торца шпинделя, мм; $D_{\text{и}}$ - диаметр инструмента, мм; $\Delta D_{\text{и}}$ - погрешность изготовления инструмента по диаметру, мм; $r_{\text{отн}}$ - радиус-вектор, связывающий абсолютную систему координат с системой координат поворотного-делительного стола, мм; $r_{\text{абсд}}$ - радиус центра тяжести поворотного-делительного стола, мм; $\Delta r_{\text{абсд}}$ - погрешность положения системы координат "деталь" относительно оси поворотного-делительного стола и основания станины, мм; $r_{\text{д}}$ - радиус-вектор положения оси отверстия относительно начала отсчета системы координат "деталь", мм; $\Delta r_{\text{д}}$ - погрешность положения детали в установочно-зажимном приспособлении, мм.

После допущений и упрощений

$$\bar{E} = \pm \Delta \bar{r}_{\text{абси}} \pm \Delta \bar{r}_{\text{и}} \pm \Delta \bar{D}_{\text{и}} \pm \Delta \phi_{\text{и}} \bar{r}_{\text{и}} \pm \Delta \phi_{\text{и}} \bar{D}_{\text{и}} \pm \Delta \bar{r}_{\text{отн}} \pm \Delta \bar{r}_{\text{абсд}} \pm \Delta \phi_{\text{д}} \bar{r}_{\text{д}} \pm \Delta \bar{r}_{\text{д}} \quad (4)$$

Каждая погрешность в общем случае может быть представлена в виде двух составляющих: погрешности изготовления и сборки элементов и узлов (геометрическая или статическая погрешность $\Delta \bar{r}_1^0$) и погрешности, получаемые в результате деформаций узлов под действием нагрузки от усилий резания (динамическая составляющая $\Delta \bar{r}_1^{\text{д}}$): $\pm \Delta \bar{r}_1 = \pm \Delta \bar{r}_1^0 \pm \Delta \bar{r}_1^{\text{д}}$

Направление векторов $\Delta \bar{r}_1^0$ в отличие от $\Delta \bar{r}_1^{\text{д}}$ заранее неизвестно, и поэтому в общем случае рассчитываем вариант наихудший, когда направление всех геометрических погрешностей совпадает. Детальный анализ рассмотренных составляющих погрешности формообразования позволяет наметить пути и методы повышения технологичности и сокращения трудоемкости процесса сборки АС.

В третьей главе рассматриваются погрешности, определяющие геометрическую точность отдельных позиций и всего станка, на основании которых строятся расчетные модели для определения эксцентриситета и смещения реальной оси относительно теоретического положения для компоновочных элементов АС.

Смещение оси шпинделя и оси детали от теоретического положения определяются погрешностями формы и взаиморасположения сопрягаемых

поверхностей, а на эксцентриситет между осями шпинделя и детали дополнительно влияет неточность размеров монтируемых элементов.

Как показал анализ, основными неточностями погрешностей форм и взаимного расположения составляющих звеньев, влияющими на точность замыкающего звена, являются различные отклонения от параллельности, перпендикулярности, неплоскостности и др. При этом степень влияния погрешностей расположения для горизонтальных и вертикальных позиций агрегатного станка различна и, следовательно, различны пути и методы снижения этого влияния. В общем случае число рассматриваемых в процессе расчета погрешностей изменяется в пределах от 15 до 20 в зависимости от того, для какого компоновочного варианта и в какой плоскости абсолютной системы координат производится расчет.

Для всех составляющих угловой и линейной погрешностей положения точки начала координат систем "инструмент" и "деталь" установлены статистические закономерности проявления погрешности как случайной величины. Число этих составляющих достаточно велико, и поэтому для их расчета целесообразно применить вероятностный метод.

$$\Delta r = \frac{1}{\lambda_{\Delta}} \sqrt{\sum_{k=1}^{K-1} \xi_k^2 \lambda_k^2 \delta_k^2}, \quad (5)$$

где ξ_k - передаточное отношение k -го составляющего звена; λ_k - коэффициент относительного рассеивания k -го составляющего звена; δ_k - допуск размера, формы или взаимного расположения k -го составляющего звена, мм; K - число уменьшающих и увеличивающих звеньев размерной цепи; Δr - погрешность замыкающего звена, мм.

Расчет погрешности положения инструмента и детали в приспособлении вероятностным методом затруднителен, так как погрешности, связанные с режущим инструментом, во многом определяются тем, какая фирма его производит, и нет возможности установить статистические закономерности их проявления. С другой стороны, в этом случае число рассматриваемых факторов относительно невелико, и поэтому определять погрешность $\Delta r_{\text{и}}$ целесообразно на основании метода расчета по предельным отклонениям с учетом допускаемых значений погрешностей на угловые и линейные составляющие.

В качестве допуска размера в зависимости от типа погрешности принимается величина

$$\delta_k = \frac{[P_1]}{1_{\text{изм}_1}}, \quad (6)$$

для погрешностей формы и взаиморасположения сопрягаемых поверхностей при расчете смещения оси шпинделя $\Delta\phi_{\text{и}}$ и детали $\Delta\phi_{\text{д}}$; для погрешностей формы и взаимного расположения сопрягаемых поверхностей и допуска линейного размера соответственно при расчете эксцентриситета оси шпинделя $\Delta\Gamma_{\text{abc}}$ и детали (приспособления) $\Delta\Gamma_{\text{abc}}$

$$\delta_k = \frac{[P_i] l_i}{l_{\text{изм}_i}} \cdot \delta_k = [P_j], \quad (7)$$

где $[P_i]$, $[P_j]$ – допускаемое по ГОСТ или отраслевым нормалам значение погрешности формы или размера соответственно, мм.

Погрешностями замыкающего звена в каждом конкретном расчете являются углы смещения оси шпинделя (инструмента) $\Delta\phi_{\text{и}}$ или детали $\Delta\phi_{\text{д}}$, погрешность точки начала координат шпинделя и детали (приспособления) в проекциях на соответствующие плоскости (оси) в зависимости от схемы расположения силового агрегата.

Проведенный по предлагаемой модели расчет на ЭВМ показал, что доминирующее влияние на общую погрешность оказывают погрешности положения оси шпинделя. Уменьшение вылета инструмента и радиуса расположения центра тяжести установочно-зажимного приспособления ведет к увеличению точности АС, однако в недостаточных для обеспечения требуемой точности пределах: на АС среднего размера может достигаться 11-ая степень точности формы ($\delta_t = 50 \text{ мкм}$) без каких-либо дополнительных конструкторско-технологических мероприятий. Для этого необходимо ужесточить допуск на непараллельность оси шпинделя направлению перемещения корпуса и пиноли, радиальное биение оси шпинделя силовой головки на 20...30%, что не превышает математического ожидания проявления данных величин.

В четвертой главе рассматриваются составляющие погрешности формообразования на АС, вызванные действием нагрузок в процессе резания и предлагаются расчетные модели и методы управления жесткостью оригинальных элементов станка для обеспечения требуемой точности.

Рассматриваемые составляющие погрешности обработки связаны с изменением положения системы координат "инструмент" и "деталь" под действием усилия резания из-за деформации в стыках элементов, изменения зазора в подвижных частях узлов, упругих деформаций различных элементов АС. В общем случае можно выделить погрешности систем координат "инструмент" и "деталь", деформации инструмента относительно торца и оси шпинделя, деформации детали в приспособлении:

$$\bar{E}^D = \Delta \bar{\Gamma}_{\text{абси}}^D + \Delta \bar{\Gamma}_{\text{и}}^D + \Delta \bar{\Gamma}_{\text{абсд}}^D + \Delta \bar{\Gamma}_{\text{д}}^D + \Delta \bar{\Psi}^D (\bar{\Gamma}_{\text{и}} + D_{\text{и}}) . \quad (8)$$

В свою очередь

$$\begin{aligned} \Delta \bar{\Gamma}_{\text{абси}}^D &= \bar{\Delta}_{\text{н}} + \bar{\Delta}_{\text{стк}} + \bar{\Delta}_{\text{прш}} + \bar{\Delta}_{\text{про}} + \bar{\Delta}_{\text{у}} + \bar{\Delta}_{\text{п}} ; \\ \Delta \bar{\Gamma}_{\text{и}}^D &= \bar{\Delta}_{\text{и}} ; \\ \Delta \bar{\Gamma}_{\text{абсд}}^D &= \bar{\Delta}_{\text{до}} + \bar{\Delta}_{\text{ст}} + \bar{\Delta}_{\text{стк}} ; \\ \Delta \bar{\Gamma}_{\text{д}}^D &= \bar{\Delta}_{\text{кр}} + \bar{\Delta}_{\text{стк}} + \bar{\Delta}_{\text{эл}} , \end{aligned} \quad (9)$$

где $\Delta_{\text{н}}$ - контактные деформации в направляющих, мм; $\Delta_{\text{стк}}$ - контактные деформации стыков узлов и элементов, мм; $\Delta_{\text{прш}}$ - упругие деформации прогиба шпинделя под нагрузкой, мм; $\Delta_{\text{про}}$ - упругие деформации прогиба шпинделя в опорах, мм; $\Delta_{\text{у}}$ - упругие деформации прогиба и сдвига силовых агрегатов, мм; $\Delta_{\text{п}}$ - контактные деформации пиноли, мм; $\Delta_{\text{и}}$ - контактные деформации инструмента, мм; $\Delta_{\text{ст}}$ - упругие деформации стола под нагрузкой, мм; $\Delta_{\text{до}}$ - упругие деформации опоры стола, мм; $\Delta_{\text{кр}}$ - упругие деформации корпуса приспособления, мм; $\Delta_{\text{эл}}$ - упругие деформации элементов приспособления, мм.

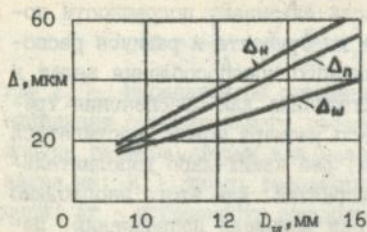


Рис.4 Деформации основных элементов АС

Жесткость оригинальных элементов АС нельзя установить до момента их окончательной проработки и целесообразно рассчитать допустимые для них значения жесткости или податливости:

$$\gamma_{\text{ор}} \leq \frac{K \delta}{(\alpha - \beta) P_{\text{ор}}} \sum_{k=1}^{K-1} \nu_k \quad (10)$$

где $\sum \nu_k$ - суммарная приведенная податливость нормализованных элементов АС (без оригинальных), мм Н^{-1} ; $\gamma_{\text{ор}}$ - податливость оригинальной части АС, мм Н^{-1} ; K - коэффициент, учитывающий размерный износ инструмента, температурные деформации, кинематические погрешности цепи подачи и др. ($K=0.7 \dots 0.8$); δ - допуск на размер обрабатываемой поверхности по чертежу, мм; $P_{\text{ор}}$ - расчетное значение силы резания на

к-ую инструментальную ось, Н; α , β - поправочные коэффициенты изменения силы резания, установленные экспериментально.

Предлагаемая математическая модель легла в основу методики расчета требуемой жесткости оригинальной компоновочной части АС, установочно-зажимного приспособления, инструмента и детали (рис.5).

В пятой главе приведены описание методики и результаты экспериментальной проверки рассмотренных моделей и предложена общая структура организации сборочного процесса с элементами поточной сборки, разработанная на основании изложенного подхода.

Промышленный эксперимент для анализа геометрической точности и трудоемкости процесса сборки АС проводился непосредственно в сборочном цехе и показал, что предварительный расчет компенсатора по вероятностно-статистическому методу и его обработка до начала монтажа позволяет сократить трудоемкость сборки горизонтальной позиции в среднем на 15...20 минут, что составляет 8...12% общей трудоемкости сборки такой позиции. При этом вероятность получения бракованного компенсатора не превышает 1.5%.

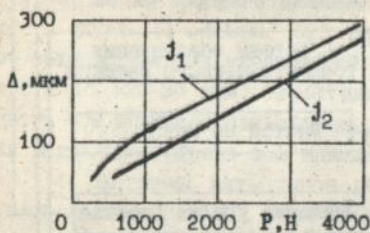


Рис.6 Расчетные и реальные значения деформации шпинделя

Для экспериментальной проверки допущений, положенных в основу расчета упругих деформаций, оценки жесткости отдельных элементов, упрощения и уточнения расчетных моделей был проведен стендовый эксперимент, который показал, что реальная жесткость (J_1) ниже расчетной (J_2) на 30...40% (рис.6). Однако в реальных

условиях обработки под действием динамических составляющих сил резания жесткость узлов на 20...30% выше, чем при статическом нагружении. При этом жесткость в осевом направлении (соответствует основной схеме нагружения для АС) в 4...6 раз выше, чем в радиальном.

Проведенные исследования позволили так реорганизовать сборочный процесс, чтобы в его основу был положен принцип минимизации механической обработки непосредственно на сборочной позиции: это позволило сократить трудоемкость сборки на 30...35%, увеличив трудоемкость механической обработки базовых элементов на подготовительном этапе на 10...15%, а также организовать поточную стационарную сборку и повысить точность агрегатных станков.

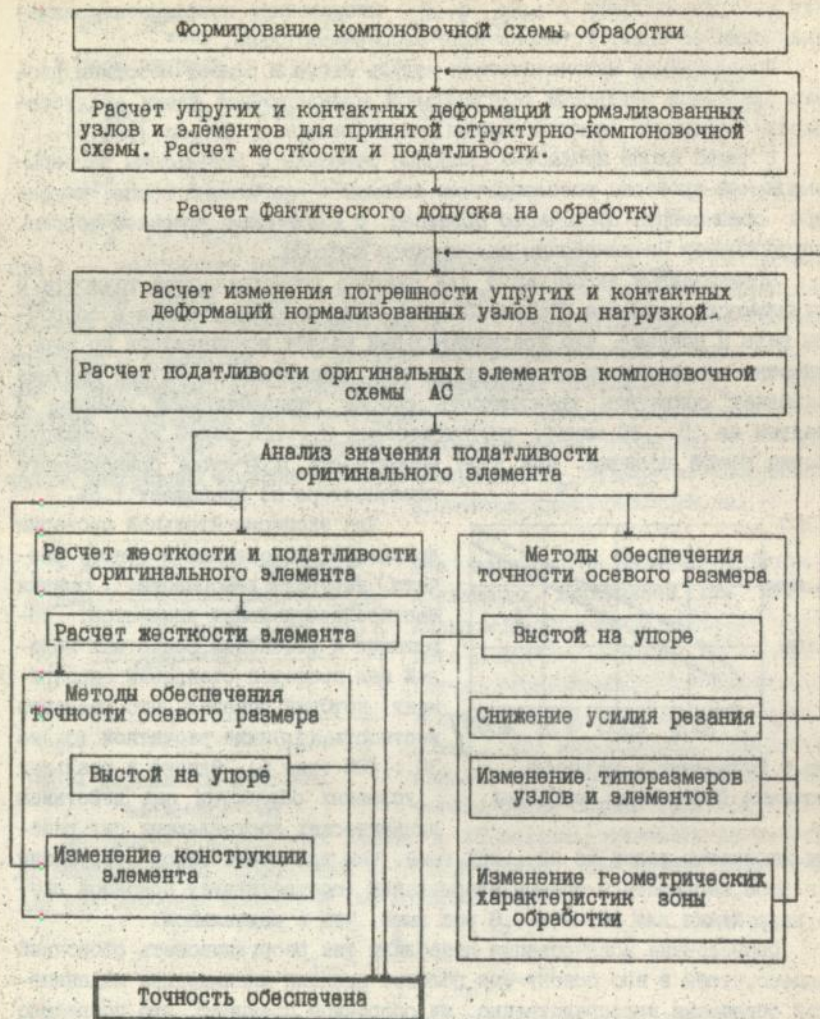


Рис.5

Блок-схема расчета жесткости АС и обеспечения требуемой точности

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.

1. Трудоемкость окончательной сборки АС зависит в основном от его компоновочных характеристик (уровня концентрации операций на отдельных позициях и в целом по станку), а для отдельной позиции обработки - от требуемой точности формообразования обрабатываемой поверхности. Основная доля трудоемкости приходится непосредственно на сборку (35%) и пригоночные операции (30%), связанные с обеспечением точности. Следовательно, можно минимизировать трудозатраты, управляя выбором методов обеспечения требуемой точности.

2. Установлены погрешности формы, размеров и взаимного расположения сопрягаемых в процессе сборки АС поверхностей узлов и элементов, которые определяют геометрическую точность станка. Получены зависимости их статистического распределения, что позволило применить комбинированный метод расчета размерных цепей, основанный на вероятностно-статистическом и по предельным отклонениям методах, а также получить более точные результаты по сравнению с известными ранее.

3. На АС среднего размера может достигаться 11-ая степень точности формы ($\delta = 50 \text{ мкм}$) без каких-либо дополнительных конструкторско-технологических мероприятий. Для достижения 9-10-ой степеней точности ($\delta = 20-30 \text{ мкм}$) необходимо ужесточить допуск на непараллельность оси шпинделя направлению перемещения корпуса и пиноли, а также на радиальное биение оси шпинделя до значений $12...8 \text{ мкм}$ на 100 мм .

4. Выявлены пять типов погрешностей, связанных с деформацией узлов и элементов АС, которые оказывают наибольшее влияние на погрешность формообразования, и установлены аналитические зависимости для их расчета. Доминирующее влияние на величину погрешности формообразования при вертикальном расположении силового агрегата оказывает жесткость стоек. В случае горизонтального расположения силового агрегата ярко выраженного доминирующего фактора нет. Установлены аналитически и подтверждены экспериментально численные значения жесткости и податливости основных нормализованных узлов и элементов.

5. Разработана математическая модель управления точностью обработки за счет варьирования параметрами жесткости и податливости оригинальных элементов, что позволяет осуществить комплекс конструкторских мероприятий обеспечения точности формообразования на ранних стадиях проектирования, а также учитывать погрешности формообразования, вызванные упругими и контактными деформациями нормализованных узлов при расчете размеров и допусков компенсатора.

6. Разработан ориентированный на реализацию с использованием

ПЭЕМ комплексе методик расчета и управления точностью формообразования на всех этапах создания АС, базирующийся на предлагаемой математической модели.

7. Результаты диссертационной работы внедрены на ХПО АС с общим годовым экономическим эффектом 1666000 карбованцев в ценах 1992 года. Методологические основы, изложенные в работе, предполагается использовать в учебном процессе на кафедре "Технология машиностроения и металлорежущие станки" Харьковского политехнического института.

Основное содержание диссертации отражено в работах:

1. Акинсейе А. Автоматизация расчетов сборочных размерных цепей агрегатных станков. // Республиканская научно-практическая конференция - САПР конструкторской и технологической подготовки автоматизированного производства. Харьков: ХПИ, 1990. - С.91-92

2. Акинсейе А. Расчет гесметрической точности агрегатных станков. // Автоматизированные станочные системы и роботизация производства. /Сб. научных трудов. Тула: ТулПИ, 1992. - С.41-48

3. Яковенко И.Э., Акинсейе А., Мельниченко А.А. Управление точностью и трудоемкостью сборки агрегатных станков. //Сб. Повышение эффективности и качества механобработывающего производства. - Киев: УДНТЗ, 1993.- С.101.

4. Яковенко И.Э., Акинсейе А., Заплавский О.С., Рацимбазафи Ц. Управление точностью формообразования в интегрированной системе автоматизированного проектирования и производства агрегатных станков. //Материалы международной научно-технической конференции "Компьютер: наука, техника, технология, здоровье", часть 2. - Харьков-Мищюльц: ХПИ,МУ, 1993. - С. 5-7.

5. Тимофеев Ю.В., Захаров Н.В., Акинсейе А.О., Рацимбазафи Ц. Управление структурой и параметрами сборочных технологических систем // Материалы научно-технической конференции преподавателей сотрудников и студентов: Сумы, 1993. - С.215-216.

6. Захаров Н.В., Акинсейе А.О., Рацимбазафи Ц. Выбор рациональных организационных форм сборки специального металлорежущего оборудования. // Материалы научно-технической конференции преподавателей сотрудников и студентов: Сумы, 1993. - С.217-218.

7. Яковенко И.Э., Акинсейе А., Тимофеев Ю.В. Управление точностью формообразования в интегрированной системе автоматизированного проектирования и производства агрегатных станков. // - Резание и инструмент. 1983, N48. - С.118-120.

AAK-ice

AB 28.967
AB 28.967

Подп. к печ. *28.10.95* · Формат 60×84¹/₁₆. Бумага тип. Печать офсетная. Усл. печ. л. 60
Вч.-изд. л. 60 Тираж 100 экз. Зак. № *МЧК*. Бесплатно.

Харьковское межвузовское арендное полиграфическое предприятие.
310093, Харьков, ул. Свердлова, 115.