

**ПЕННЕР ВИКТОР АНДРЕЕВИЧ**

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ЭТАПЕ  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАВИНЧИВАНИЯ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ  
СБОРКЕ СОЕДИНЕНИЯ "МУФТА – НАСОСНО- КОМПРЕССОРНАЯ ТРУБА"**

**05.02.08 – Технология машиностроения**

**АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**



2006-4  
14516

На правах рукописи

УДК 621.787.4

ПЕННЕР ВИКТОР АНДРЕЕВИЧ

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЛОЖЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ НА ЭТАПЕ  
ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАВИНЧИВАНИЯ ПРИ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СБОРКЕ  
СОЕДИНЕНИЯ "МУФТА – НАСОСНО- КОМПРЕССОРНАЯ ТРУБА"

05.02.08 – Технология машиностроения

АВТОРЕФЕРАТ  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук



Омск – 2005

2176924

Работа выполнена на кафедре "Технология машиностроения" Омского государственного технического университета.

Научный руководитель: доктор технических наук,  
профессор А.П. Моргунов

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
профессор В.И. Леун  
кандидат технических наук,  
доцент А.А. Ражковский

Ведущее предприятие: ГУП Центр внедрения новой техники и технологий  
"Транспорт", г. Омск

Защита состоится "27" октября 2005 г. в 15-00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.178.05 в Омском государственном техническом университете по адресу: 644050, г. Омск-50, проспект Мира, 11.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ОмГТУ.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные гербовой печатью организации, просим направлять в адрес диссертационного совета.

Автореферат разослан "24" сентября 2005 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



В.Б. Масягин

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Одним из основных направлений развития технологии машиностроения является обеспечение роста производительности и эффективности производства.

Базовым средством реализации этого направления служит механизация и автоматизация производства. При этом механизация и автоматизация сборочных работ в массовом и серийном производстве отстает от оснащения процессов в механообрабатывающих цехах. В то же время наблюдается рост трудоемкости сборки в общих затратах труда на производство изделий. Главной технической причиной трудности применения сборочных автоматов является их малая эффективность.

Препятствием на пути автоматизации сборочных работ являются технологическая неотработанность конструкций собираемых изделий, недостаточная унификация и малая серийность выпуска изделий, недостаток или отсутствие типового автоматического сборочного специализированного или переналаживаемого оборудования, недостаточно высокое качество деталей собираемых изделий, необеспеченность технологов и конструкторов сборочного оборудования необходимыми нормативными, расчетными и справочными материалами, а также ограниченное количество хорошо проверенных на производстве примеров решений (В.С. Корсаков).

В связи с этим актуальной задачей является выявление закономерностей процесса обеспечения точности относительного положения собираемых деталей при автоматической сборке, дающих возможность выявить и количественно оценить влияние доминирующих факторов, характеризующих точностные характеристики оборудования и собираемых деталей. Решение этой задачи для конкретного узла – резьбового конического соединения "муфта - насосно-компрессорная труба" на этапе предварительного навинчивания связано с исследованием схем базирования с установкой на роликовые приспособления, размерных связей, условий собираемости и разработкой методики назначения параметров точности и компенсации погрешностей установочных элементов сборочных приспособлений, обеспечивающих автоматическую сборку.

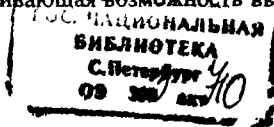
Диссертационная работа связана с выполнением госбюджетной НИР по тематическому плану фундаментальных исследований Минобрнауки РФ «Исследование динамических процессов и прочности механических систем с учетом особенностей реальных связей», руководитель темы д.т.н., проф. Ю.А. Бурьян.

**Цель работы.** Целью работы является повышение качества и производительности сборки соединений с конусной резьбой на этапе предварительного навинчивания путем применения роликовых установочных приспособлений и обеспечения точности положения деталей компенсацией погрешностей сборочных приспособлений.

**Методы исследований.** Теоретические исследования проведены на основе положений теории расчета точности процесса автоматической сборки и размерного анализа. Экспериментальные исследования проведены с применением лабораторной контрольно-измерительной аппаратуры и оборудования. Теоретические расчеты и обработка экспериментальных данных производилась с применением ЭВМ.

**Научная новизна** разработанных моделей, алгоритмов, программ и экспериментальных исследований заключается в том что:

- впервые разработана математическая модель процесса обеспечения точности относительного положения собираемых деталей конического резьбового соединения при автоматической сборке, обеспечивающая возможность выявить и ко-



личественно оценить влияние большего числа факторов, характеризующих точностные характеристики оборудования и собираемых деталей;

- впервые выведена и экспериментально подтверждена зависимость для определения допустимых взаимных угловых и радиальных отклонений относительно положения деталей резьбовых конических соединений с учетом погрешностей деталей при автоматической сборке;

- впервые разработана математическая модель, алгоритм и программа для реализации управляемой выверки собираемых деталей.

#### Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты теоретического анализа условий собираемости на этапе предварительного навинчивания муфты на насосно-компрессорную трубу (НКТ).

2. Методика и результаты экспериментальных исследований условий собираемости резьбовых конических соединений на базе приспособления для управляемой выверки соединяемых деталей.

3. Методика компенсации погрешностей станка-автомата по предварительному навинчиванию муфты на НКТ.

#### Практическая ценность работы заключена

- в разработке методики назначения параметров точности и компенсации погрешностей установочных элементов сборочных приспособлений, обеспечивающих автоматическую сборку;

- в разработке рекомендаций по конструированию оборудования для автоматической сборки резьбовых конических соединений;

- в создании станка-автомата для автоматической сборки предварительного навинчивания муфты на насосно-компрессорную трубу.

Реализация результатов работы. Разработан и используется на производстве станок-автомат для автоматической сборки предварительного навинчивания муфты на насосно-компрессорную трубу в нефтегазодобывающем управлении «Лянтор-нефть». Результаты исследования внедрены и в учебном процессе при изучении курса технологии сборки на кафедре «Технология машиностроения» ОмГТУ. Результаты исследований используются в учебном процессе при подготовке инженеров по специальностям 151001 - «Технология машиностроения», 151002 - «Металлорежущие станки и инструменты»; при изучении технологии сборки в курсе «Технология машиностроения» на кафедре технологии машиностроения Омского государственного технического университета.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались и обсуждались на интернет-конференции «Новые материалы и технологии в машиностроении», г. Брянск, 2004 г.; на III международном технологическом конгрессе «Военная техника, вооружение и технологии двойного применения», г. Омск, 2005 г.; на III заочной Всероссийской научно-технической конференции (Computer-Based Conferences) Академии технических наук РФ «Современные промышленные технологии», г. Нижний Новгород, 2005 г.; на Международной научно-технической электронной интернет-конференции «Технология машиностроения 2005», г. Тула, 2005 г.

Публикации. По результатам выполненных исследований опубликовано 6 работ.

Объем и структура диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка литературы.

## КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** сформулированы цель работы, научная новизна, положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** приведены результаты изучения состояния проблемы обеспечения точности положения деталей при автоматической сборке.

Основам теории и практики обеспечения точности относительного положения собираемых деталей на сборочной позиции посвящены работы исследователей Б.С. Балакшина, А.П. Белоусова, В.Л. Вейца, А.П. Владзиевского, М.Л. Гельфанда, В.Е. Головащенко, А.А. Гусева, В.К. Замятина, В.С. Корсакова, В.В. Косилова, М.С. Лебедовского, К.Я. Муценека, М.П. Новикова, А.Н. Рабиновича, Я.И. Ципенюка, В.И. Чаннова, А.И. Федотова, А.С. Храброва, В.А. Яхимовича и других.

Анализ литературных источников показал, что исследования в области обеспечения точности положения деталей охватывают все стороны проблемы:

- методы оценки влияния точностных параметров на результаты автоматизированного процесса сборки, построения схем образования суммарной погрешности относительного положения деталей на сборочной позиции с применением теории размерных цепей, влияния перекосов на вероятность наживления;

- зависимости для условий собираемости резьбовых соединений, допустимых значений угла перекоса, условий гарантированного сопряжения при совместном параллельном смещении и угловом смещении оси и при наличии фасок, допустимого угла скрещивания осей сопрягаемых конических поверхностей деталей в первоначальный момент сборки, допуск на относительное смещение и координату поворота устанавливаемой детали в момент центрирования деталей,

- величин погрешностей схемы базирования на роликовые установочные приспособления при контроле точности деталей;

- экспериментальные исследования зависимости глубины ввода от угла перекоса осей собираемых деталей с метрической резьбой;

- алгоритмы и моделирующие программы для определения предельно допустимых углов перекоса.

Однако приведенные в этих работах теоретические и экспериментальные исследования учитывают общие технологические условия выполнения сборочных операций при определенных схемах и в отдельных областях параметров и требуют проведения дополнительных исследований в конкретных случаях, не охватываемых приведенными данными. Известны теоретические и экспериментальные исследования процесса наживления резьбовых соединений для метрических резьб малого диаметра при различных схемах базирования, однако не исследован процесс сборки конических резьб большого диаметра (более 50 мм) при базировании на вращающихся роликах. При этом схема базирования на вращающиеся ролики применяется при контроле точности деталей, но при этом учитываются не все погрешности изготовления роликового приспособления, влияющие на погрешность установки. Зависимость для определения допустимого угла скрещивания осей сопрягаемых конических поверхностей деталей в первоначальный момент сборки составлена при допущении о малости угла скрещивания.

Учитывая вышеизложенное и результаты проведенного анализа, были сформулированы основные задачи исследования:

1. Разработать математическую модель положения деталей процесса сборки соединения "муфта – НКТ" на этапе предварительного навинчивания.

2. Теоретически исследовать влияние погрешностей относительного положения собираемых деталей конического резьбового соединения на процесс сборки.

3. Разработать методику эксперимента, экспериментальную установку, провести экспериментальные исследования влияния погрешностей относительного положения собираемых деталей конического резьбового соединения на процесс сборки.

4. Разработать методику компенсации погрешностей сборочных приспособлений.

**Во второй главе** изложены результаты теоретических исследований точности ориентирования деталей при сборке конических резьбовых соединений.

Схема этапа предварительного навинчивания при сборке конического резьбового соединения "муфта – НКТ" (рис 1): 1) Сопряжение цилиндрическая выточка муфты – конусная резьба трубы; 2) Наживление и навинчивание конусной резьбы муфты на конусную резьбу трубы.

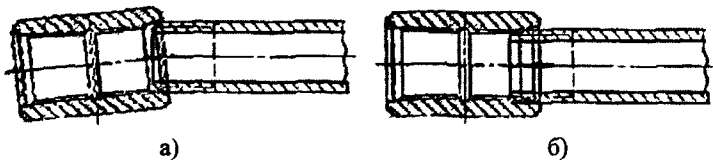


Рис. 1. Схема этапа предварительного навинчивания:  
а – сопряжение; б – наживление и навинчивание

Технологическое обеспечение автоматической сборки конического резьбового соединения муфта – труба требует анализа факторов, влияющих на относительное положение муфты и трубы, выявления и учета соответствующих погрешностей.

Условия собираемости получаются из рассмотрения положения деталей в момент наживления, определяемых конструкцией соединения. Анализ конструкции соединения показал (рис. 2), что допустимое смещение в радиальном направлении равно высоте профиля резьбы  $\delta_{\Sigma} = 2,5$  мм.

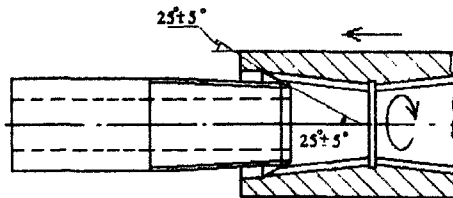


Рис. 2. Положение деталей в момент начала сборки

Допустимый перекосяк зависит от допустимого смещения и при нулевом допустимом смещении равен 0,07 рад, а при наибольшем допустимом смещении – 0,035 рад, т. е. не более  $\gamma_{\Sigma} = 0,035$  рад.



На рис. 3 показаны схемы размерных цепей по горизонтальной и вертикальной осям.

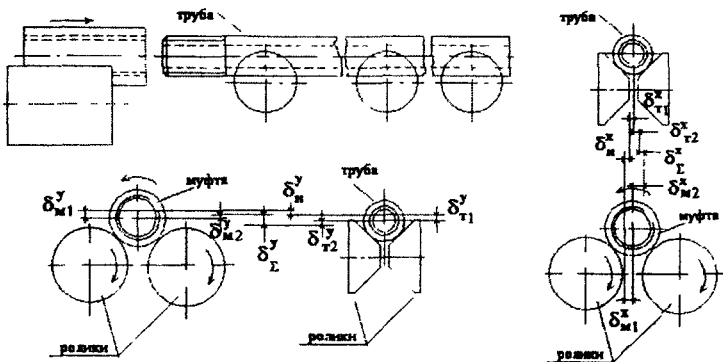


Рис. 3. Схемы размерных цепей сборочного оборудования

Обозначены:  $\delta_{\Sigma}^y$  - погрешность относительного смещения резьбы муфты и резьбы трубы по вертикальной оси  $y$ ;  $\delta_{1M}^y$  - погрешность отклонения от соосности резьбы муфты и базовой поверхности муфты;  $\delta_{2M}^y$  - погрешность относительного смещения базовой поверхности муфты относительно оси настоечного эталона муфты;  $\delta_{1T}^y$  - погрешность отклонения от соосности резьбы трубы и базовой поверхности трубы;  $\delta_{2T}^y$  - погрешность относительного смещения базовой поверхности трубы относительно оси настоечного эталона трубы;  $\delta_H^y$  - погрешность относительного смещения эталонов муфты и трубы при регулировке сборочной технологической оснастки. Величины с верхним индексом  $x$  означают аналогичные погрешности по горизонтальной оси.

Уравнения размерных цепей смещений собираемых деталей в двух направлениях по методу максимума-минимума:

$$\delta_{\Sigma}^y = \delta_{1M}^y + \delta_{2M}^y + \delta_{1T}^y + \delta_{2T}^y + \delta_H^y, \quad (1)$$

$$\delta_{\Sigma}^x = \delta_{1M}^x + \delta_{2M}^x + \delta_{1T}^x + \delta_{2T}^x + \delta_H^x. \quad (2)$$

Уравнения размерных цепей перекосов собираемых деталей в двух направлениях по методу максимума-минимума аналогичны уравнениям смещений:

$$\gamma_{\Sigma}^y = \gamma_{1M}^y + \gamma_{2M}^y + \gamma_{1T}^y + \gamma_{2T}^y + \gamma_H^y, \quad (3)$$

$$\gamma_{\Sigma}^x = \gamma_{1M}^x + \gamma_{2M}^x + \gamma_{1T}^x + \gamma_{2T}^x + \gamma_H^x, \quad (4)$$

где  $\gamma_{\Sigma}^y, \gamma_{1M}^y, \gamma_{2M}^y, \gamma_{1T}^y, \gamma_{2T}^y, \gamma_H^y, \gamma_{\Sigma}^x, \gamma_{1M}^x, \gamma_{2M}^x, \gamma_{1T}^x, \gamma_{2T}^x, \gamma_H^x$  - соответствующие обозначенным выше смещениям перекосы горизонтальных и вертикальных осей. Перекос муфты и трубы на сборочной оснастке или приспособлении возникает в результате искривления трубы; из-за не одинакового расположения по высоте поддерживающих трубу роликов; перекоса и неточностей изготовления роликов, на которые устанавливается муфта, перекоса осей резьбы и базовой поверхности муфты; при наличии заусенцев на деталях, а также при попадании посторонних частиц на установочные элементы сборочных устройств.

Суммарные погрешности смещений и перекосов собираемых деталей определяются по следующим формулам:

$$\delta_z = \sqrt{(\delta_z^y)^2 + (\delta_z^x)^2}, \quad (5)$$

$$\gamma_z = \sqrt{(\gamma_z^y)^2 + (\gamma_z^x)^2}. \quad (6)$$

Отдельные составляющие, входящие в представленные выше формулы, определяются по известным данным. Например, погрешность базирования трубы при угле призмы  $120^\circ$  и допуске на наружный диаметр 1,5 мм равна 0,87 мм; в результате отладки и регулировки сборочного автомата погрешность регулировки может быть сведена к 0,01—0,03 мм по данным К.Я. Муценека. Погрешность базирования муфты на вращающиеся ролики определяется при помощи выведенных зависимостей для погрешности базирования в общем случае, когда радиусы базовых роликов различны (рис. 4) и в частном случае равенства радиусов роликов.

Введенные обозначения:  $r_1, r_2$  – радиусы роликов (77 мм);  $r_n$  – радиус наружной поверхности детали (44,45 мм);  $h$  – расстояние от оси наружной цилиндрической поверхности до прямой, проходящей через оси роликов;  $l_1, l_2$  – расстояние от осей роликов до точки пересечения перпендикуляра, проведенного от оси наружной цилиндрической поверхности к прямой, проходящей через оси роликов, с прямой, проходящей через оси роликов;  $m$  – расстояние между осями роликов (160 мм).

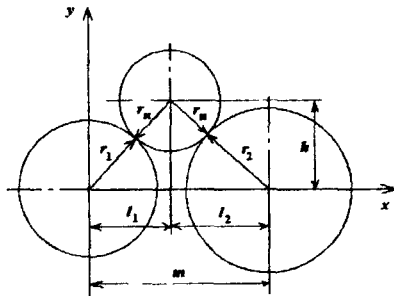


Рис.4. Расчетная схема для определения погрешности базирования

$$l_{1\max} = \frac{m + \frac{\delta_m}{2}}{2} - \frac{\left(r_2 - \frac{\delta_2}{2} - \frac{\delta_{p2}}{2} + r_n - \frac{\delta_n}{2}\right)^2 - \left(r_1 + \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_{p1}}{2} + r_n + \frac{\delta_n}{2}\right)^2}{2\left(m + \frac{\delta_m}{2}\right)} \quad (7)$$

$$l_{1\min} = \frac{m - \frac{\delta_m}{2}}{2} - \frac{\left(r_2 + \frac{\delta_2}{2} + \frac{\delta_{p2}}{2} + r_n + \frac{\delta_n}{2}\right)^2 - \left(r_1 - \frac{\delta_1}{2} - \frac{\delta_{p1}}{2} + r_n - \frac{\delta_n}{2}\right)^2}{2\left(m - \frac{\delta_m}{2}\right)} \quad (8)$$

$$h_{\max} = \sqrt{\left(r_1 + \frac{\delta_1}{2} + \frac{\delta_{p1}}{2} + r_n + \frac{\delta_n}{2}\right)^2 - l_{\min}^2} \quad (9)$$

$$h_{\min} = \sqrt{\left(r_1 - \frac{\delta_1}{2} - \frac{\delta_{p1}}{2} + r_n - \frac{\delta_n}{2}\right)^2 - l_{\min}^2} \quad (10)$$

Полученные формулы позволяют определить погрешность базирования в зависимости не только от допуска на диаметр наружной поверхности муфты ( $\delta_n = 1,8$  мм), но и допусков на все другие конструктивные элементы на диаметры обрезанных роликов ( $\delta_1 = \delta_2 = 0,1$  мм), на межосевое расстояние ( $\delta_m = 0,2$  мм), на величины радиального биения поверхностей роликов при их вращении ( $\delta_{p1} = \delta_{p2} = 0,1$  мм).

Погрешность базирования в вертикальном и горизонтальном направлениях определяется как разность между наибольшим и наименьшим значением величины  $h$  и  $l_1$ .

При равенстве радиусов роликов и требований точности к ним может быть применена упрощенная формула:

$$\epsilon_B = \frac{(r_1 + r_n)(\delta_n + \delta_1 + \delta_{p1})}{m} \quad (11)$$

Для принятых конструктивных размеров и допусков  $\epsilon_B = 1,48$  мм.

На основе сравнения рассчитанных суммарных погрешностей с условиями собираемости сделан вывод о возможности автоматической сборки соединений и разработаны требования к точности изготовления технологической сборочной оснастки и точности настройки и регулировки. Аналогично, на основе полученных зависимостей делается вывод о необходимости компенсации погрешностей положения деталей на сборочной позиции методом регулировки.

Решение задачи назначения допусков на отклонения относительного положения собираемых деталей при автоматической сборке с учетом погрешностей изготовления возможно при применении математической модели геометрической формы деталей, основанной на описании не поверхностей, а кромок - линии пересечения плоских и цилиндрических поверхностей. Для описания кромок, составляющих модель обрабатываемой заготовки, детали и узла применяется аналитическая математическая модель, включающая количественные (теоретические) параметры кромок - радиус ( $R_i$ ), расстояние между кромками ( $S_{ij}$ ), параметры расположения кромок относительно оси (эксцентриситет  $E_i$ , наклон  $\Phi_i$  и их фазовые углы  $\varphi_{ei}$ ,  $\varphi_{pi}$ ). Теоретические параметры определяются на основе измерений параметров поверхностей обрабатываемых заготовок, деталей и узлов - диаметров, расстояний, радиальных и торцовых биений и смещений цилиндрических поверхностей и торцов в непосредственной близости от кромок.

Для упрощения задачи предварительно повернем первую деталь так, чтобы эксцентриситет кромок  $i$  и  $k$  стали равны нулю. Тогда возможные смещения кромок  $j$  и  $k$  для 2-й детали будут ограничены величинами зазоров между кромками  $j$  и  $k$  первой и второй детали, а уравнения кромок  $j$  и  $k$  1 детали примут простейший вид. Отсюда можно будет определить возможный наибольший относительный перекося первой и второй детали и их относительное радиальное смещение. Схема зазора между кромками  $k$  и  $j$  в радиальном направлении показана на рисунке 5.

Если плоскость поворота проходит в плоскости рисунка, то крайние значения углов поворота второй детали относительно первой детали определяются равенством

$$\Phi_1 = \arcsin \frac{d/2 + (S_{\max} - S_{\mu}) \operatorname{tg} \alpha \pm \Delta y}{\sqrt{S_{\mu}^2 + (d/2 + (S_{\max} - S_{\mu}) \operatorname{tg} \alpha \pm \Delta y)^2}} - \arcsin \frac{d/2 + S_{\mu} \operatorname{tg} \alpha}{\sqrt{S_{\mu}^2 + (d/2 + (S_{\max} - S_{\mu}) \operatorname{tg} \alpha \pm \Delta y)^2}} \quad (12)$$

Обозначения в формулах понятны из рисунка 5. Величина  $\Delta y$  – смещение второй детали относительно первой. Вторая деталь может повернуться на угол  $\pm \Phi_2$  в любом направлении  $\Phi_y$ . Обратная зависимость

$$S_{\mu} = \frac{D/2 - d/2 \pm \Delta y}{\operatorname{tg}(\alpha + \Phi_1)} - \frac{d}{2} \sin \Phi_1 \quad (13)$$

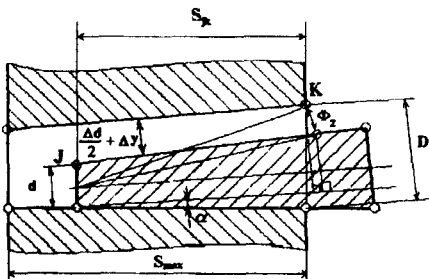


Рис. 5. Схема зазора между деталями

Графики зависимостей угла перекоса осей собираемых деталей от глубины ввода второй детали в первую и смещения оси второй детали относительно оси первой детали представлены на рис. 6 а) и 6 б) для конического соединения ( $d=67,682$ ,  $S_{\max}=33,35$ ,  $2\operatorname{tg} \alpha=0,0625$ ). На рис. 6 а) поворот второй детали происходит в направлении, противоположном смещению детали, а на рис. 6 б) – в направлении смещения.

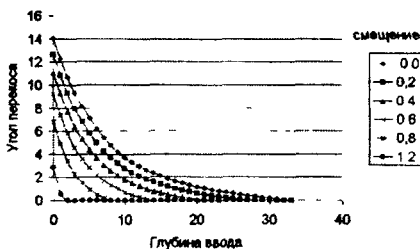
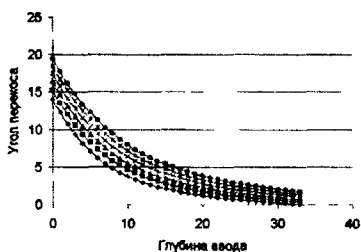


Рис. 6. Зависимости угла перекоса осей собираемых деталей от глубины ввода

Полученные зависимости позволяют решить задачу назначения допусков на отклонения относительного положения базовых поверхностей собираемых деталей при автоматической сборке.

В результате теоретических исследований получены зависимости для суммарных погрешностей смещений и перекосов собираемых деталей, уточнены зависимости угла перекоса осей собираемых деталей от глубины ввода второй детали в первую и смещения оси второй детали относительно оси первой детали представлены, получены формулы для определения погрешности базирования при установке на роликовое приспособление в зависимости не только от допуска на диаметр наружной поверхности детали, но и допусков на другие конструктивные элементы – на диаметры роликов, на межосевое расстояние, на величины радиального биения поверхностей роликов при их вращении.

**В третьей главе** разработаны, алгоритмы и программное обеспечение для управляемой выверки, применяемой при исследовании собираемости деталей

Экспериментальные исследования собираемости деталей предусматривают использование специальных устройств для высокоточной взаимной ориентации сопрягаемых деталей. Подобные устройства должны обеспечивать заданное относительное положение собираемых деталей: смещение и перекос деталей. Однако в случае использования выверки для придания собираемым деталям заданного положения, обычная выверка может обеспечить нулевые отклонения только одной из деталей, и практически непригодна для обеспечения заданных отклонений положения другой детали. В этом случае может быть применена выверка на основе кромочной модели деталей.

С теоретической точки зрения задача выверки сводится к приведению параметров кромок детали к новой оси, если заданы новые требуемые параметры одной или нескольких кромок. При исследовании собираемости одну из деталей, необходимо путем выверки привести в положение, при котором ось ее сопрягаемой поверхности совпадает с осью вращения шпинделя, т.е. будет обеспечено условие  $E_i=0, E_j=0$ . Вторую деталь необходимо привести в заданное положение с параметрами поверхности сопряжения  $E_{i2}=E_{i2зд}, E_{j2}=E_{j2зд}$ .

Задача математического моделирования выверки по варианту  $E_{i1}=0, E_{j1}=0$  и варианту  $E_i=E_{i2зд}, E_j=E_{j2зд}$  ставится и решается следующим образом. Известны для всех кромок значения теоретических параметров, среди которых:  $E_i^1, \varphi_{ei}^1, E_j^1, \varphi_{ej}^1, E_k^1, \varphi_{ek}^1, \Phi_k^1, \varphi_{yk}^1, S_{ij}, S_{ik}$ . Известны требуемые новые значения  $E_i, \varphi_{ei}, E_j, \varphi_{ej}$ . Нужно найти величины  $E_k, \varphi_{ek}, \Phi_k, \varphi_{yk}$ , по которым будет осуществляться выверка. Значения  $S_{ij}, S_{ik}$  не изменяются при переходе к новой оси. Здесь  $i, j$  - номера кромок, ограничивающих сопрягаемую поверхность,  $k$  - номер кромки, по которой производится выверка. Верхний индекс 1 обозначает параметры кромок до выверки.

Подход к определению искомых величин следующий: необходимо так мысленно двигать деталь в пространстве, чтобы сначала параметр  $E_i^1$  стал равным нулю, а затем равным  $E_i$  при  $\varphi_{ei}$  при неизменных  $\Phi_i^1$  и  $\varphi_{yi}^1$  (параллельный перенос детали) при этом изменятся  $E_j^1, \varphi_{ej}^1$  - станут  $E_j^{1n}, \varphi_{ej}^{1n}$ ; затем, чтобы параметр  $E_j^{1n}$  стал равным нулю и, далее, стал равным  $E_j$  при  $\varphi_{ej}$  и при неизменных  $E_i^1, \varphi_{ei}$  (поворот детали). В процессе этих движений будут изменяться значения  $E_k^1, \varphi_{ek}^1, \Phi_k^1, \varphi_{yk}^1$ , так что в результате получим  $E_k, \varphi_{ek}, \Phi_k, \varphi_{yk}$ . Рассмотрим их направленное изменение. При параллельном переносе получают новые значения параметров рассматриваемых кромок  $E_j^{1n}, \varphi_{ej}^{1n}$  и  $E_k^{1n}, \varphi_{ek}^{1n}$ . При повороте детали (рис. 7) (кромка  $i$  левее кромки  $j$ , кромка  $k$  не показана) необходимо определить углы, на которые будет поворачиваться деталь, и направления углов поворота.

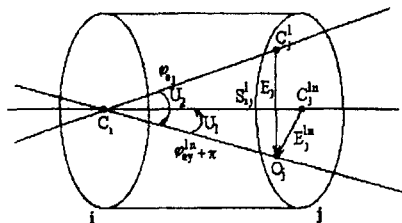


Рис. 7. Направления поворота детали при выверке

Величины и направления углов:

$$U_1 = \frac{E_j^{in}}{S_{ij}^1}, \quad \varphi_{u1} = \varphi_{ej}^{in} + \pi, \quad U_2 = \frac{E_j}{S_{ij}^1}, \quad \varphi_{u2} = \varphi_{ej} \quad (14)$$

После этого задача сводится к случаю изменений теоретических параметров при повороте детали с подстановкой значений параметров

$$\Phi_i^1 = U_i, \quad \Phi_i = U_i, \quad \varphi_{y1}^1 = \varphi_{u1}, \quad \varphi_{y1} = \varphi_{u2}. \quad (15)$$

Интерфейс программы для обеспечения управляемой выверки представлен на рисунке 8. Соответствующая схема измерений показана на рисунке 9.

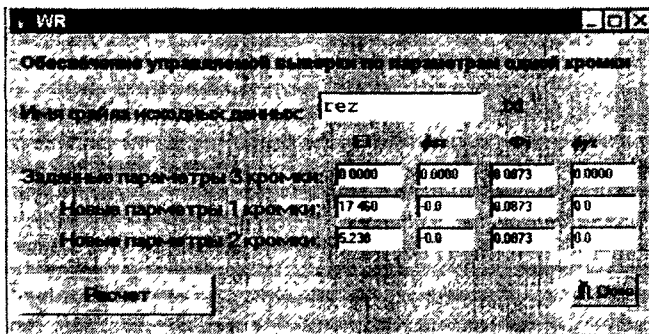


Рис. 8. Интерфейс программы

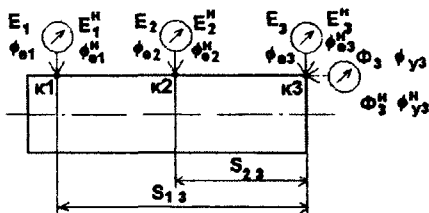


Рис. 9. Схема измерений

Получены соотношения, которые позволяют экспериментально исследовать влияние перекоса и смещения осей на собираемость деталей.

**В четвертой главе** приведены результаты экспериментальные исследования точности ориентирования деталей при сборке конических резьбовых соединений. Исследовалось влияние относительного радиального и углового смещения на величину ввода. Предварительно было проведено исследование точности управляемой выверки при помощи специального приспособления, обеспечивающего раздельный поворот и радиальное смещение деталей. Получены данные о точности установки в заданное положение не менее 0,025 мм. На рисунке 10 показана экспериментальная установка на основе токарного станка и двух приспособлений для управляемой выверки.

Методика проведения исследований включала следующие этапы: выверку исходного положения резьбового элемента НКТ и муфты (рис. 11), выверку заданного положения образцов (рис 12) и измерение глубины ввода (рис.13)

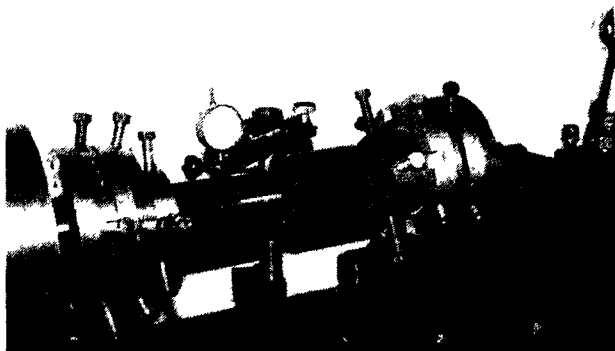


Рис. 10. Экспериментальная установка

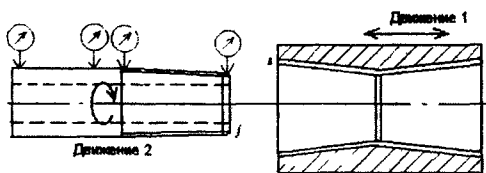


Рис. 11. Выверка исходного положения образцов

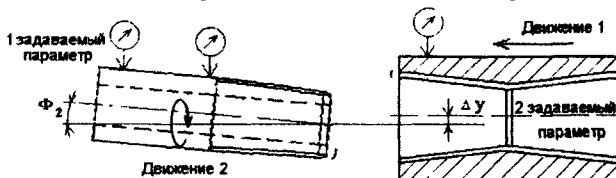


Рис. 12. Выверка заданного положения образцов с параметрами  $\Phi_2$  и  $\Delta y$

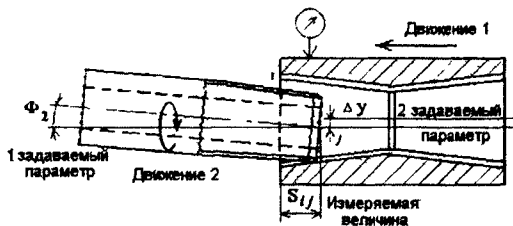


Рис. 3. Измерение глубины ввода  $S$

Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 14.

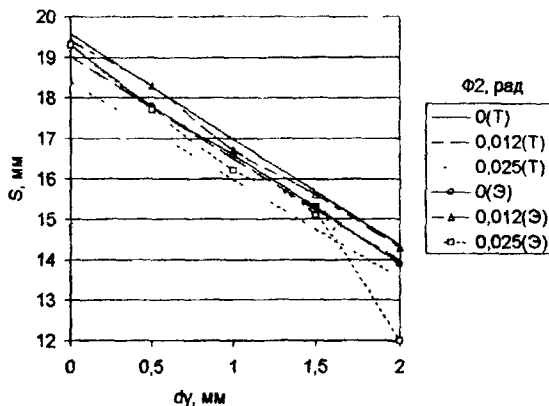


Рис. 14. Зависимости глубины ввода  $S$  от радиального смещения  $du$  и угла перекося осей собираемых деталей  $\Phi_2$ : (Т) – теоретические зависимости – формула (13); (Э) – экспериментальные зависимости

Сравнительный анализ результатов исследований показывает отличие экспериментальных и теоретических зависимостей 5-10 %.

**В пятой главе** представлена разработанная методика компенсации погрешностей сборочных приспособлений методом регулировки положения сборочных приспособлений с использованием эталонов и описание станка автомата (рис. 15) для автоматической сборки соединения "муфта-НКТ" на этапе предварительного навинчивания.

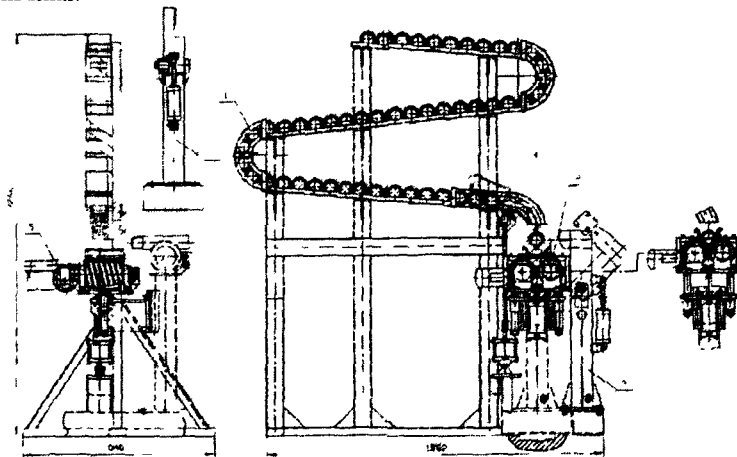


Рис. 15. Станок для автоматической сборки



Методика компенсации погрешностей включает требования к точности изготовления сборочных приспособлений, к точности эталонных деталей и к точности относительного смещения эталонов муфты и трубы при регулировке сборочной технологической оснастки, а также последовательность регулировки сборочных приспособлений.

Станок-автомат для предварительного наворачивания муфт на НКТ состоит из пяти основных частей: 1) магазин-загрузчик для подачи муфты в зону наворачивания; 2) механизм вращения муфты с приводом для обеспечения вращения муфты при наворачивании ее на НКТ; 3) упор отклоняющейся для фиксированной остановки НКТ в зоне наворачивания муфты; 4) прижим для фиксации муфты на вращающихся роликах; 5) толкатель для обеспечения плавной подачи муфты при ее наворачивании на НКТ.

Разработанная методика и оборудование обеспечивают высокую эффективность сборочного производства на этапе предварительного навинчивания муфты на НКТ. Результаты исследований позволили определить пути дальнейшего совершенствования обеспечения точности положения деталей при автоматической сборке.

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Разработана математическая модель, отражающая допустимые отклонения относительного положения собираемых деталей при автоматической сборке с компенсацией погрешностей.

2. Уточнены зависимости для углов перекосов деталей соединения "муфта – НКТ" от глубины ввода и смещения осей.

3. Получены зависимости для определения погрешности базирования при установке на роликовые опоры.

4. Получены зависимости для суммарных погрешностей и перекосов.

5. Определено влияние перекоса и смещения на собираемость соединения муфта - НКТ в автоматическом режиме.

6. Разработана экспериментальная установка для управляемой выверки деталей.

7. Разработана методика компенсации погрешностей сборочных приспособлений путем использования эталонов при наладке демпфирующего элемента.

8. Разработан станок для автоматической сборки сборочной единицы "муфта – НКТ" на этапе предварительного навинчивания.

9. Результаты исследования внедрены в нефтегазодобывающем управлении «Лянторнефть» и в учебном процессе при изучении курса технологии сборки на кафедре «Технология машиностроения» ОмГТУ.

## ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ

1. Масыгин, В. Б. Особенности схемы базирования на вращающихся роликах при автоматической сборке резьбовых соединений / В. Б. Масыгин, В. А. Пеннер // Новые материалы и технологии в машиностроении. Сборник научных трудов/Под ред. Е. А. Памфилова. – Выпуск 3. – Брянск: БГИТА, 2004. – С.64-66.

2. Масыгин, В. Б. Применение выверки при исследовании собираемости деталей / В. Б. Масыгин, В. А. Пеннер // Военная техника, вооружение и технологии двойного применения: материалы III международного технологического конгресса (Омск, 7-10 июня 2005 г.): В 2 ч. – Омск: ОмГУ, 2005. – Ч. I. – С.164-166.

3. Моргунов, А. П. Определение допустимых отклонений относительного положения собираемых деталей при автоматической сборке / А. П. Моргунов, В. А. Пеннер, В. Б. Масыгин // Военная техника, вооружение и технологии двойного применения: материалы III международного технологического конгресса (Омск, 7-10 июня 2005 г.): В 2 ч. – Омск: ОмГУ, 2005. – Ч. I. – С.171-116.

4. Пеннер, В. А. Допустимые отклонения относительного положения собираемых деталей при автоматической сборке / В. А. Пеннер, В. Б. Масыгин // XII ВНТК "Современные проблемы математики и естествознания". III ВНТК "Современные промышленные технологии". XII ВНТК "Методы и средства измерений физических величин". Материалы заочных Всероссийских научно-технических конференций (Computer-Based Conferences). – Н. Новгород: Межрегиональное Верхне-Волжское отделение Академии технологических наук Российской Федерации (МВВО АТН РФ), 2005. – С.20-21.

5. Масыгин, В. Б. Зависимости для определения суммарной погрешности относительного положения муфты и трубы на сборочной позиции при автоматической сборке / В. Б. Масыгин, В. А. Пеннер // XII ВНТК "Современные проблемы математики и естествознания". III ВНТК "Современные промышленные технологии". XII ВНТК "Методы и средства измерений физических величин". Материалы заочных Всероссийских научно-технических конференций (Computer-Based Conferences). – Н. Новгород: Межрегиональное Верхне-Волжское отделение Академии технологических наук Российской Федерации (МВВО АТН РФ), 2005. – С. 18-19.

6. Масыгин, В. Б. Международная научно-техн. электронная интернет-конф. "Технология машиностроения 2005" [Электронный ресурс]: Труды электронных интернет-конференций по технологии машиностроения/ Тульский гос. ун-т. - Электр. журн. - Тула: ТулГУ, 200\_\_\_. - Режим доступа: <http://www.nauka.tula.ru>, свободный. - Загл. с экрана. - № гос. регистрации 0220409933.

Математическое моделирование точности процесса сборки на основе кромочной модели / Масыгин В. Б., Пеннер В. А. // Международная научно-техническая электронная интернет-конференция "Технология машиностроения 2005" [Электронный ресурс]. - 2005. - Вып. 2.

**Отпечатано с оригинал-макета, предоставленного автором.**

**ИД № 06039 от 12.10.2001**

Подписано в печать 20.09.2005. Формат 60x84/16.

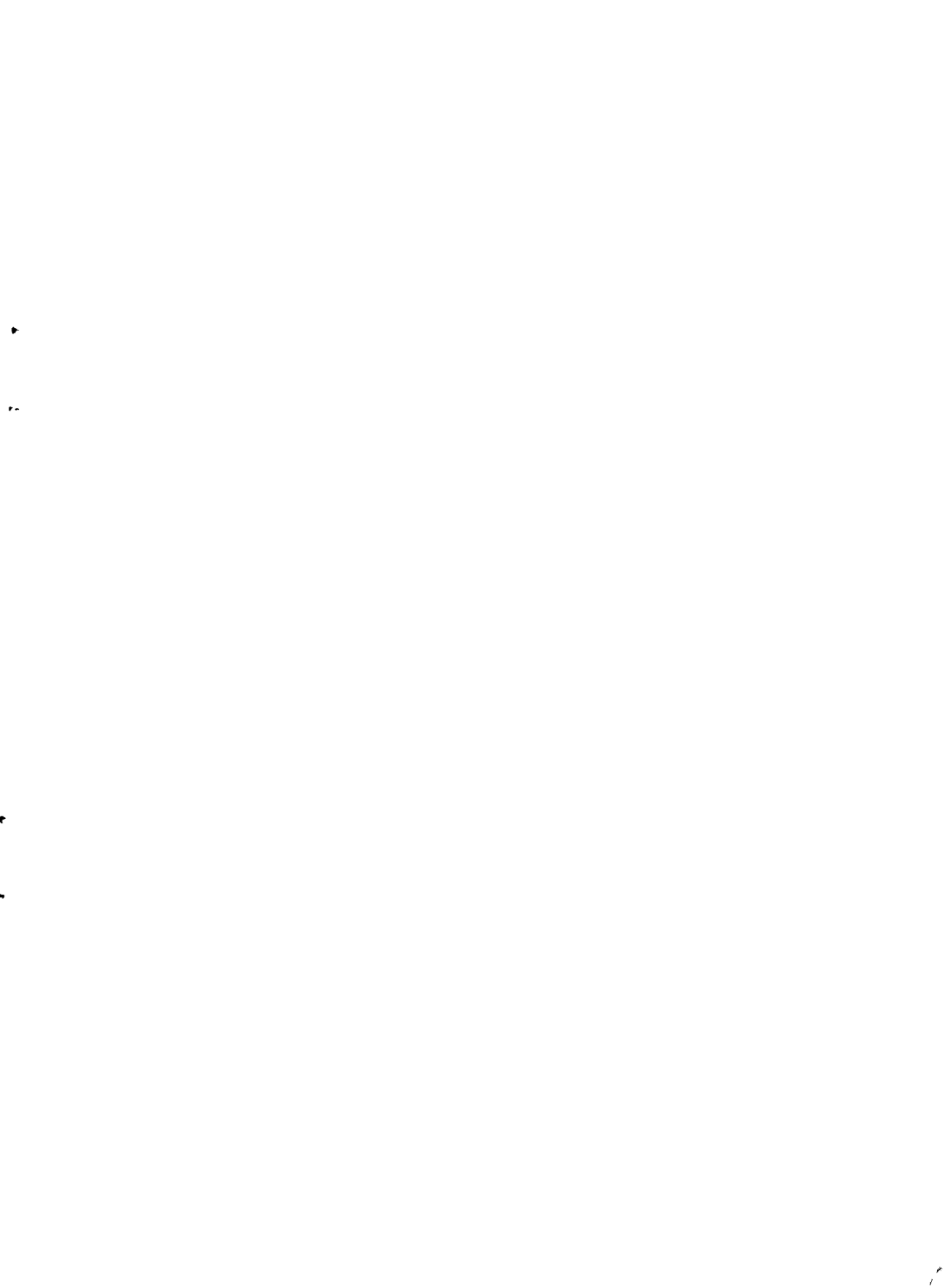
Отпечатано на дупликаторе. Бумага офсетная.

Усл. печ.л. 1. Уч.-изд. л. 1.

Тираж 100 экз. Заказ 593.

---

Издательство ОмГТУ. 644050, Омск, пр. Мира, 11, т. 23-02-12  
Типография ОмГТУ



**№ 17734**

РНБ Русский фонд

2006-4

14516