

05.02.08

T25

V

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО
КОМСОМОЛА



На правах рукописи

ТАШБАЕВ Нажитдин Очилович

УДК 621.757.008:620.08

РАСЧЕТ РАЗМЕРНЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ЦЕПЕЙ (РПЦ)
МЕТОДАМИ ГРУППОВОЙ ВЗАИМОЗАМЕЯЕМОСТИ И РЕГУЛИРОВКИ

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

Челябинск - 1990

Работа выполнена в Узбекском научно-производственном объединении "Кибернетика" Академии наук Узбекской ССР и Московском институте нефти и газа имени И.М.Губкина.

Научный руководитель - доктор технических наук, профессор, лауреат Ленинской премии
Б.М.БАЗРОВ.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
В.Г.МИТРОФАНОВ,
кандидат технических наук, доцент
А.А.КОШИН.

Ведущее предприятие - Московское станкостроительное производственное объединение "Красный пролетарий".

Защита состоится "2" марта 1990 года, в 15⁰⁰ ч, на заседании специализированного совета К 053.13.01 Челябинского политехнического института имени Ленинского комсомола по адресу: 454080, г. Челябинск, пр. В.И.Ленина, 76.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола.

Автореферат разослан "1" февраля 1990 года

Ученый секретарь
специализированного совета,
д.т.н., профессор



И.Я.МИРНОВ

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. К важнейшим задачам машиностроителей в двенадцатой пятилетке, намеченных XXVII съездом КПСС, относятся: решительное обновление машиностроительного производства, резкое повышение технологического уровня, надёжность и качество выпускаемой продукции.

Одним из основных показателей качества выпускаемых изделий машиностроения является точность всех составных частей и изделий в целом, которая, в свою очередь, во многом зависит от того, насколько правильно, обоснованно назначены и рационально обеспечены допуски на размерные параметры при изготовлении и сборке составляющих деталей.

Для решения задач, связанных с рациональным обеспечением допусков, в настоящее время в технологии машиностроения широко используется аппарат размерных цепей. Этот аппарат, созданный в 30-е годы профессором Б.С.Балакшиным и другими советскими учёными, получил своё дальнейшее развитие и практическое применение. Однако названный аппарат имеет ряд недостатков, а именно: раздельное построение и расчёт линейных и угловых размерных цепей, в результате чего рассчитываются и назначаются допуски на линейные и угловые размеры как на независимые величины. Имеют место и другие недостатки. В частности, при методе групповой взаимозаменяемости сортировка деталей на размерные группы производится только по линейным размерам, а влияние их угловых отклонений не учитывается. В свою очередь, при методе регулировки за счёт изменения положения и размера компенсатора точность обеспечивается только в какой-либо одной плоскости или направлении. Эти недостатки приводят к существенным ошибкам в назначении норм точности на детали или машины в целом, к неоправданному ужесточению допусков, недостоверности в определении числа групп и групповых допусков при методе групповой взаимозаменяемости, а также числа и параметров компенсаторов при методе регулировки.

В этой связи представляется актуальной задача совершенствования методов групповой взаимозаменяемости и регулировки в направлении учёта пространственного характера погреш-

ностей геометрических параметров.

Цель работы — повышение эффективности и надежности применения методов групповой взаимозаменяемости и регулировки за счет увеличения достоверности расчета допусков на звенья пространственной размерной цепи вследствие учета взаимовлияния линейных и угловых погрешностей составляющих звеньев.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Установить закономерности влияния угловых и линейных погрешностей параметров составляющих звеньев размерных пространственных цепей (РПЦ) на точность замыкающего звена.

2. Разработать методики расчета РПЦ при достижении точности замыкающего звена методами групповой взаимозаменяемости и регулировки с учетом согласованного назначения угловых и линейных допусков.

3. Разработать способы сортировки деталей на размерные группы в пределах группового допуска и регулировки с учетом пространственного характера погрешностей деталей.

4. Разработать алгоритмы и программы для расчета РПЦ методами групповой взаимозаменяемости и регулировки.

5. Разработать мероприятия по внедрению результатов исследования.

Методы исследований. Проведенные исследования базируются на основных положениях технологии машиностроения: теории базирования и размерных цепей, математической модели образования геометрических погрешностей. Задачи решены с использованием методов теоретической механики и аналитической геометрии, теории матриц и многомерного математического анализа. Для расчетов использована микро-ЭВМ "Электроника-60".

Научная новизна. В результате проведенных исследований:

— установлены функциональные зависимости между параметрами замыкающего звена и параметрами пространственного положения составляющих звеньев;

— разработаны методики расчета РПЦ при достижении точности замыкающего звена методами групповой взаимозаменяемости и регулировки, учитывающие совместно линейные и угловые погрешности;

— разработан способ сортировки деталей на размерные груп-

ны, учитывающий линейную и угловую погрешности;

- разработан способ выбора компенсирующего звена и регулировки точности замыкающего звена путем согласованного изменения положения составляющих звеньев.

Практическая ценность.

1. Предложен способ сокращения числа групп при методе групповой взаимозаменяемости за счет назначения для сопрягаемых поверхностей координат середин полей допусков угловых размеров с противоположными знаками.

2. Для повышения точности параллельности образующих делительных цилиндров и их межосевого расстояния в цилиндрических зубчатых передачах разработан способ регулировки основанный на применении пространственного компенсатора.

3. Разработаны алгоритмы и программы применительно к микро-ЭВМ "Электроника-60" на языке ФОРТРАН IV для расчета РЩ методами групповой взаимозаменяемости и регулировки.

4. Разработаны методические рекомендации "Расчет РЩ на ЭВМ методом групповой взаимозаменяемости" и "Расчет РЩ на ЭВМ методом регулировки".

Реализация результатов работы. Методические рекомендации "Расчет РЩ на ЭВМ методом групповой взаимозаменяемости" и "Расчет РЩ на ЭВМ методом регулировки" приняты для использования ПО "Ташкентский тракторный завод имени 50-летия СССР". Ожидаемый экономический эффект от использования методических рекомендаций составил около 15 тыс. руб. в год.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы доложены на заседаниях научно-технического семинара кафедры "Технология газонефтяного и нефтехимического машиностроения и приборостроения" МИНГ им. И.М.Гуркина (1987-1989), объединенном научно-техническом семинаре лабораторий "Моделирование и управление ГПС" и "Автоматизированные транспортно-складские системы" ИК с ВЦ УзНПС "Кибернетика" АН УзССР, научно-техническом семинаре кафедры "Технология машиностроения" ЧПИ им. Ленинского комсомола (1990), Второй республиканской конференции "Методологические и прикладные аспекты систем автоматизированного проектирования и управления в отраслях народного хозяйства" (Ташкент, 1985), Республиканской научно-технической конференции "Повышение эффективности внедрения роботизированных и гибких автоматизированных комп-

лексов в машиностроении Узбекистана" (Ташкент, 1986), Республиканский научно-практической конференции молодых ученых и специалистов "Эффективность использования ресурсов при совершенствовании управления производством, технологическими процессами и оборудованием" (Ташкент, 1988), Конференции молодых ученых и специалистов УзНИО "Кибернетика" АН УзССР "Актуальные вопросы информатики, автоматизации и вычислительной техники" (Ташкент, 1988).

Публикации. Материалы диссертационной работы опубликованы в шести печатных работах.

Объем работы. Диссертационная работа изложена на 179 страницах и состоит из введения, четырех глав, выводов, списка литературы и приложений.

Основное содержание изложено на 100 страницах машинописного текста, 55 страницах графического материала, включающего 44 рисунков и 11 таблиц. Список литературы состоит из 102 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы.

В первой главе проведен анализ литературы по размерным цепям, показаны недостатки теории плоских размерных цепей; изложены сущность метода координатных систем с деформирующимися связями профессора Б.М.Базрова и основные понятия и определения теории размерных пространственных цепей; проведен анализ методов групповой взаимозаменяемости и регулировки, основанных на теории плоских размерных цепей; сформулированы цель и задачи исследования.

Проведенный анализ литературы по размерным цепям показал, что на всех этапах создания и эксплуатации машины рассчитываются размерные цепи, позволяющие правильно определять номинальные размеры, назначать допуски и предельные отклонения звеньев размерной цепи, провести анализ правильности простановки размеров и отклонений на рабочих чертежах, обосновать последовательность выполнения технологических процессов, выбирать средства и методы контроля.

Вопросы размерного анализа, основные понятия и определения, расчетные формулы, а также методы достижения точности замыкающего звена были разработаны в начале 30-х годов профессором Б.С.Балакшиным, Н.А.Бородачевым, П.Ф.Дунаевым, В.Б.Матвеевым и другими учеными, на основе чего разработаны ряд ГОСТов и серии методических рекомендаций, действующих в настоящее время.

Анализ литературных источников по этим вопросам показал, что используемые в настоящее время модели размерных связей и задачи, решаемые методами плоских размерных цепей, имеют ряд недостатков, которые объясняются: во-первых, раздельным построением и расчетом линейных и угловых размерных цепей, в результате чего допуски назначаются на линейные и угловые размеры независимыми, во-вторых, отсутствием учета пространственного характера геометрических погрешностей.

В то же время машины и их узлы являются пространственными конструкциями, поэтому назначение допусков на линейные и угловые размеры деталей как на независимые величины без взаимной увязки и учета пространственного характера геометрических погрешностей деталей приводит к существенным ошибкам в установлении норм точности на машины и их узлы. В этой связи возникает необходимость в совершенствовании теории размерных цепей.

Анализ литературных источников по теории РПЦ показал, что РПЦ машины строится на основе метода координатных систем с деформируемыми связями, разработанного профессором Б.М.Базровым. Им сформулированы основные понятия и определения, относящиеся к теории РПЦ, разработана общая методика простановки размерных связей на чертеже детали. Метод координатных систем с деформируемыми связями, в основном, состоит из двух этапов.

На первом этапе строится эквивалентная схема, т.е. представление машины как совокупности декартовых координатных систем, построенных на ее деталях или механизмах, с наложенными на координатные системы связями.

На втором этапе выводится уравнение относительного движения. Оно получается с помощью формул перехода из одной координатной системы в другую для всех входящих в эквивалентную

схему машины координатных систем и содержит радиус-векторы (\bar{R}_Δ), определяющие начало координатных систем и матрицы (M'_i) трёх последовательных поворотов каждой координатной системы.

Таким образом, основным уравнением для метода координатных систем является уравнение относительного движения, которое в случае использования его в размерном анализе можно называть также и уравнением относительного положения или размерных связей. В обобщённом виде оно имеет вид

$$\left. \begin{aligned} M_\Delta \times \bar{R}_\Delta &= \sum_{i=1}^{m-1} \left(\prod_{n=1}^i M'_{i-n+1} \right) \times \bar{R}_i + \bar{R}_m \\ M_\Delta &= \prod_{i=1}^m M'_{m-i+1} \end{aligned} \right\} \quad (I)$$

где \bar{R}_Δ - радиус-вектор замыкающего звена;
 \bar{R}_i и M'_i - радиус-векторы и матрицы поворотов составляющих звеньев соответственно;

m - количество составляющих звеньев в РПЦ.

В развитие теории РПЦ В.В.Молчановым была разработана методика простановки размеров на чертежах детали, а Ф.И.Маврикиди были разработаны методики согласованного назначения угловых и линейных допусков на размеры деталей при расчётах РПЦ методами полной и неполной взаимозаменяемости.

В то же время достаточно широко в размерном анализе используются методы групповой взаимозаменяемости, пригонки и регулировки.

Анализ литературных источников, посвящённых методам групповой взаимозаменяемости и регулировки, показал, что в процессе сборки с использованием этих методов сейчас не учитываются взаимосвязь и влияние линейных и угловых размеров, а также их допусков. Имеют место и другие недостатки. В частности при сборке методом групповой взаимозаменяемости сортировка деталей на размерные группы в пределах установленных расчётных групповых допусков производится только по линейным размерам, тогда как погрешности на угловые размеры задаются в пределах установленного конструктором допуска по методу пол-

ной взаимозаменяемости. С использованием метода регулировки требуемая точность машины обеспечивается в какой-либо одной плоскости или направлении и не учитываются угловые погрешности составляющих деталей.

Однако, по данным профессора А.И.Якушева, угловой допуск для деталей нормальной точности составляет 60% линейного допуска, а для деталей повышенной и высокой точности - 40 и 25% соответственно. Неучет или пренебрежение ими в сборочных работах приводит к снижению эффективности и надежности применения методов групповой взаимозаменяемости и регулировки.

Изложенное говорит о необходимости разработки расчетных формул для решения пространственной задачи. Следует отметить, что методы регулировки и пригонки отличаются только физическим способом компенсации погрешности. Если при методе регулировки компенсаторы заменяются или перемещаются, то при методе пригонки с компенсатора снимается часть материала. Что касается математического аппарата расчета метода пригонки, то он является частным случаем математического аппарата метода регулировки.

В качестве примера влияния угловых погрешностей на рис. 1, а показан сборочный узел, где неподвижные компенсаторы 1 и 2, а также остальные составляющие звенья не имеют угловых погрешностей, а на рис. 1, б показан сборочный узел, когда неподвижный компенсатор 2' и другие составляющие звенья имеют погрешности, которые при сборке значительно влияют на точность положения вершин делительных конусов по осям X-X и Y-Y соответственно погрешности Δ' и Δ'' .

На основании изложенного были сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе дается анализ разновидностей замыкающего звена РПЦ. Выбран наиболее часто встречающийся вид замыкающего звена РПЦ - зазор, характеризующий относительное положение двух плоских поверхностей. Изложено аналитическое исследование влияния погрешностей параметров составляющих звеньев РПЦ на точность замыкающего звена (зазора). Установлены функциональные зависимости между величиной зазора и определяющими его параметрами, а также между параметрами зазора и пространственными параметрами составляющих звеньев РПЦ.

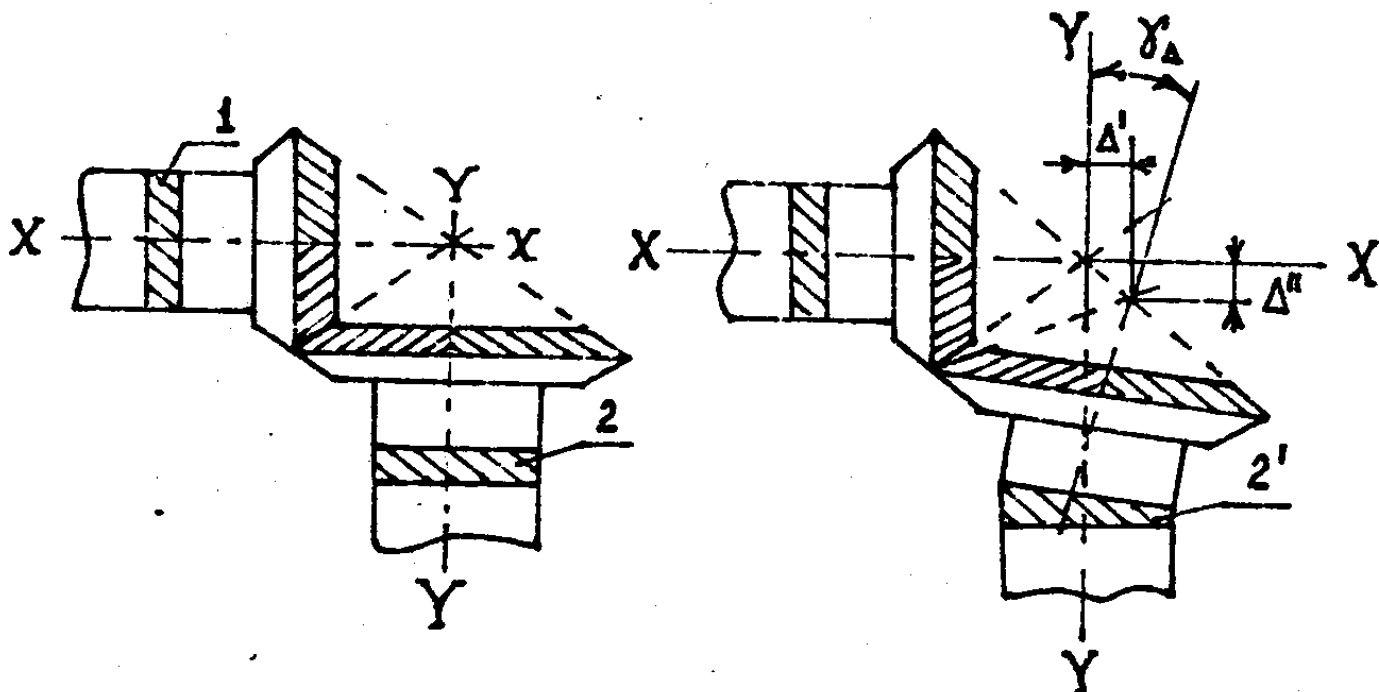


Рис. 1

Анализ многочисленных изделий, таких как металлорежущие станки, насосы, редукторы, приводы транспорта, оружейные изделия и многих других показал, что замыкающим звеном размерных цепей этих изделий является относительное положение двух плоскостей, т.е. зазор между двумя плоскими поверхностями в пространстве.

Под зазором будем понимать минимальное или максимальное или в пределах от минимального до максимального расстояния между двумя плоскостями, ограниченными наименьшим диаметром одной из этих плоскостей. Эти зазоры полностью определяются тремя параметрами: размером и двумя углами. Показано, что на точность зазора в общем случае влияют погрешности всех шести (трех линейных и трех угловых) параметров составляющих звеньев.

С целью исследования погрешностей параметров составляющих звеньев РПЦ на точность зазора в качестве объекта исследования была выбрана наиболее часто встречающаяся сборочная единица-редуктор.

Аналитическое исследование влияния погрешностей параметров составляющих звеньев на точность зазора осуществлялось в следующей последовательности. Сначала зазор (рис. 2) опре-

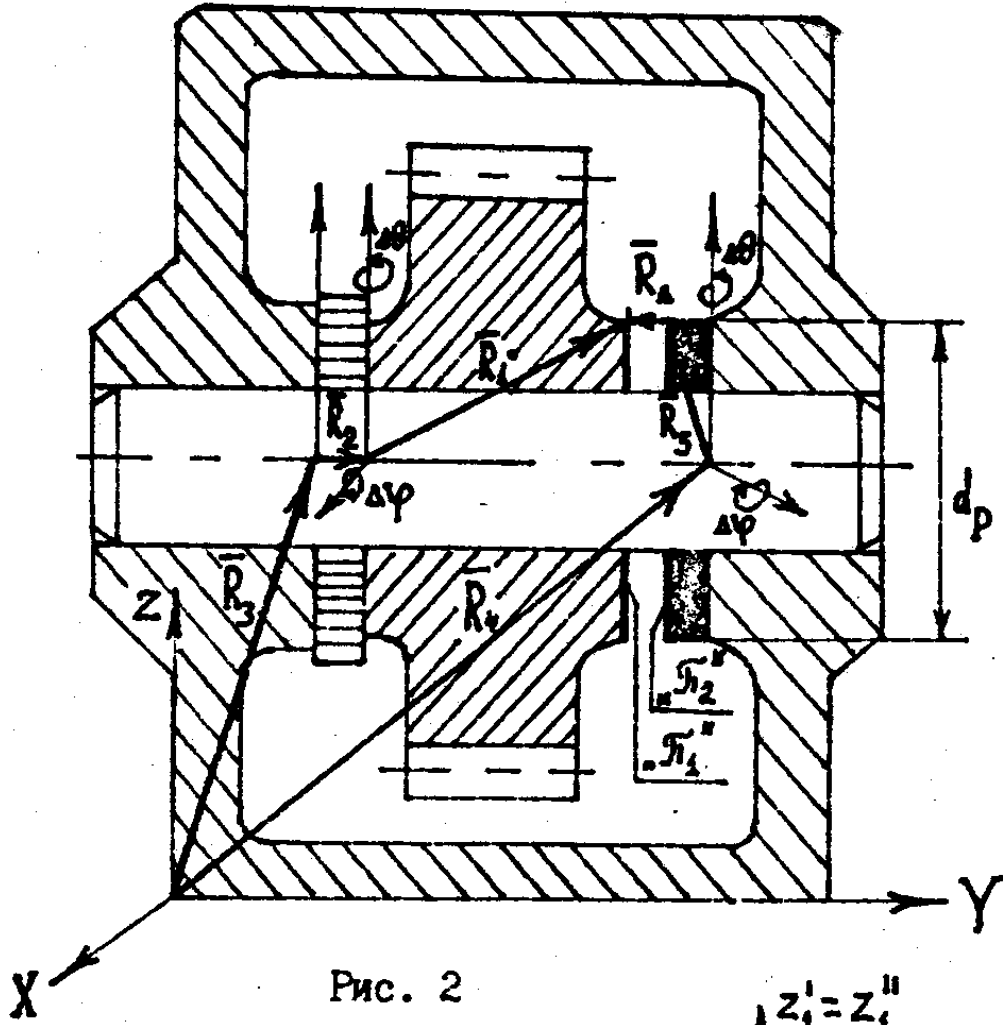


Рис. 2

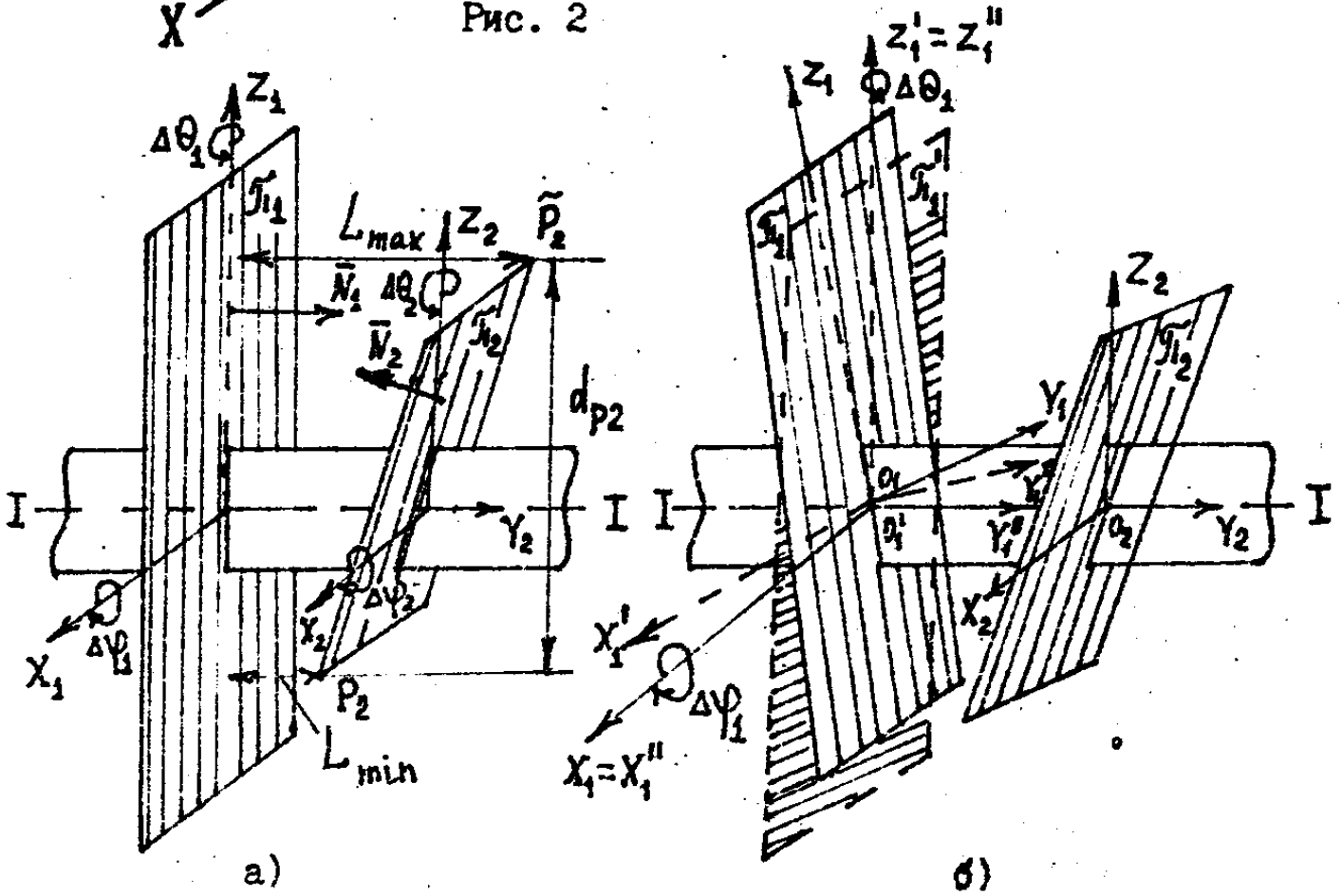


Рис. 3

делялся как функция его определяющих параметров $\Delta\varphi$, $\Delta\theta$ и d_p (d_p - диаметр плоскости), потом описывался как функция радиус-вектора \bar{R}_Δ и матрицы поворота M_Δ замыкающего звена РПЦ и затем определялся как функции радиус-векторов \bar{R}_i и матриц поворотов M_i составляющих звеньев.

Чтобы описать зазор как функцию определяющих параметров предположим, что уравнение плоскостей \mathcal{P}_1 и \mathcal{P}_2 , между которыми определяется зазор, в пространстве заданы в общем виде, т.е.

$$\mathcal{P}_1: A_1 x + B_1 y + C_1 z + D_1 = 0,$$

$$\mathcal{P}_2: A_2 x + B_2 y + C_2 z + D_2 = 0,$$

где A_1, B_1, C_1 и A_2, B_2, C_2 - коэффициенты, равные компонентам нормальных векторов $\bar{N}_1 = \bar{N}_1(A_1, B_1, C_1)$ и

$\bar{N}_2 = \bar{N}_2(A_2, B_2, C_2)$ плоскостей \mathcal{P}_1 и \mathcal{P}_2 ,

Минимальное и максимальное расстояния (минимальный и максимальный зазоры) между этими двумя плоскостями зависят от их относительного углового расположения друг к другу в заданном направлении. Возможны следующие варианты.

Вариант 1. Если две плоскости \mathcal{P}_1 и \mathcal{P}_2 расположены параллельно (т.е. не имеют угловых погрешностей) друг к другу в заданной области, где требуется обеспечить зазор, то зазоры между этими двумя плоскостями определяются как расстояния между двумя параллельными плоскостями.

Вариант 2. Пусть плоскость \mathcal{P}_1 расположена перпендикулярно к оси вала I-I, а плоскость \mathcal{P}_2 расположена под некоторыми углами $\Delta\varphi_2$ и $\Delta\theta_2$ к оси I-I (рис. 3,а) и обе плоскости могут вращаться вокруг оси I-I.

Тогда минимальный и максимальный зазоры между двумя плоскостями \mathcal{P}_1 и \mathcal{P}_2 определяются как расстояния от точек P_2 и \bar{P}_2 , лежащих на плоскости \mathcal{P}_2 (рис. 3,а), до плоскости \mathcal{P}_1 по следующим формулам:

$$\left. \begin{array}{l} \min \\ \hline \end{array} \right\} \frac{|-A_1 d_{p2} \sin \Delta\varphi_2 \cos \Delta\psi_2 - C_1 d_{p2} \sin \Delta\theta_2 \sin \Delta\psi_2 + D_1|}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2}}$$

$$L_{\max} = \frac{|A_1 d_{p2} \sin \Delta \varphi_2 \cos \Delta \psi_2 + C_1 d_{p2} \sin \Delta \theta_2 \sin \Delta \psi_2 + D_1|}{\sqrt{A_1^2 + B_1^2 + C_1^2}} \quad ?$$

где d_{p2} - диаметр плоскости \mathcal{P}_2 (рис. 3, а); $\Delta \psi_2$ - угол поворота, на которой вращается плоскость \mathcal{P}_2 вокруг оси I-I.

Вариант 3 (общий случай). Пусть плоскости \mathcal{P}_1 и \mathcal{P}_2 имеют некоторые угловые погрешности относительно оси I-I (рис. 3, б) и могут вращаться вокруг оси I-I.

Этот вариант приводится после некоторых геометрических преобразований к варианту 2, т.е.

$$L_{\min} = \frac{|-A'_1 d_{p2} \sin(\Delta \varphi_1 + \Delta \varphi_2) \cos \Delta \psi_2 - C'_1 d_{p2} \sin(\Delta \theta_1 + \Delta \theta_2) \sin \Delta \psi_2 + D'_1|}{\sqrt{A_1'^2 + B_1'^2 + C_1'^2}} \quad (3)$$

и

$$L_{\max} = \frac{|A'_1 d_{p2} \sin(\Delta \varphi_1 + \Delta \varphi_2) \cos \Delta \psi_2 + C'_1 d_{p2} \sin(\Delta \theta_1 + \Delta \theta_2) \sin \Delta \psi_2 + D'_1|}{\sqrt{A_1'^2 + B_1'^2 + C_1'^2}} .$$

Здесь A'_1 , B'_1 , C'_1 и D'_1 - коэффициенты, которые определяются по формулам:

$$A'_1 = A_1 \cos \Delta \theta_1 + B_1 \sin \Delta \theta_1 ;$$

$$B'_1 = -A_1 \sin \Delta \theta_1 \cos \Delta \varphi_1 + B_1 \cos \Delta \varphi_1 \cos \Delta \theta_1 + C_1 \sin \Delta \varphi_1 ;$$

$$C'_1 = A_1 \sin \Delta \varphi_1 \sin \Delta \theta_1 - B_1 \sin \Delta \varphi_1 \cos \Delta \theta_1 + C_1 \cos \Delta \varphi_1 ;$$

$$D'_1 = D_1 .$$

Из формул (2) и (3) видно, что параметр d_{p2} является важным параметром для зазора между плоскостями, так как изменение d_{p2} при наличии угловых погрешностей $\Delta \varphi_2$ и $\Delta \theta_2$ приводит к изменению максимального и минимального зазоров.

Далее были получены следующие функциональные зависимости между параметрами зазора и составляющих звеньев РПЦ:

$$\left. \begin{aligned} x_{\Delta} &= \frac{1}{u_{\Delta 11}} \sum_{i=1}^{m-1} (u_{i11} x_i + u_{i12} y_i + u_{i13} z_i) + x_m \\ y_{\Delta} &= \frac{1}{u_{\Delta 22}} \sum_{i=1}^{m-1} (u_{i21} x_i + u_{i22} y_i + u_{i23} z_i) + y_m \\ z_{\Delta} &= \frac{1}{u_{\Delta 33}} \sum_{i=1}^{m-1} (u_{i31} x_i + u_{i32} y_i + u_{i33} z_i) + z_m \\ \Delta \varphi_{\Delta} &= \sqrt{1 + u_{\Delta 11} - u_{\Delta 22} - u_{\Delta 33}} \\ \Delta \theta_{\Delta} &= \sqrt{1 - u_{\Delta 11} - u_{\Delta 22} + u_{\Delta 33}} \end{aligned} \right\},$$

где $x_{\Delta}, y_{\Delta}, z_{\Delta}$ - координаты радиус-вектора \bar{R}_{Δ} ; x_i, y_i, z_i - координаты радиус-векторов \bar{R}_i ($i = 1, 2, \dots, m$); $u_{i11}, u_{i12}, \dots, u_{i33}$ - элементы матрицы $M_i = \prod_{n=1}^m M'_{i-n+1}$; $u_{\Delta 11},$

$u_{\Delta 22}, u_{\Delta 33}$ - главные элементы матрицы $M_{\Delta} = \prod_{i=1}^m M'_{m-i+1}$.

Для случая, когда одноименные оси координатных систем, построенных на поверхностях и комплектах баз деталей механизма, расположены параллельно, установлено следующее:

1. Когда плоскости \mathcal{P}_1 и \mathcal{P}_2 параллельны друг к другу, на величину зазора не влияют погрешности двух линейных (по оси $O_i X_i$ и $O_i Z_i$) и одного углового (вокруг оси $O_i Y_i$) параметров составляющих звеньев.

2. Когда плоскости \mathcal{P}_1 и \mathcal{P}_2 расположены друг к другу под некоторыми углами (по трем плоскостям), на величину зазора влияют погрешности трех линейных и трех угловых параметров составляющих звеньев.

В третьей главе разработаны методики расчета РПЦ методами групповой взаимозаменяемости и регулировки, способы сортировки деталей на размерные группы и регулировки для достижения точности замыкающего звена РПЦ, а также алгоритмы и программы для расчета РПЦ на ЭВМ методами групповой взаимозаменяемости и регулировки.

Для устранения известных недостатков в расчетах плоских

размерных цепей методами групповой взаимозаменяемости и регулировки сначала решалась задача оснащения теории РПЦ математическим аппаратом и методикой расчета РПЦ для случая достижения точности замыкающего звена методом групповой взаимозаменяемости. Разработанные расчетные формулы для метода групповой взаимозаменяемости в пространственном случае имеют вид:

$$\left. \begin{aligned} \vartheta_{\Delta_j} AT_{\Delta_j}^{np} + \zeta_{\Delta_j} T_{\Delta_j}^{np} &= \sum_{i=1}^m \zeta_{ij} \left(\vartheta_{ij} \sum_{n=1}^l AT_{n_j}^{np} + T_{ij}^{np} \right) \\ AT_{\Delta_j}^{np} &= \zeta_{\Delta_j} \sum_{i=1}^m AT_{ij}^{np}, \quad j = 1, 2, \dots, n_{np} \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где m - число составляющих звеньев в РПЦ для каждой j -й размерной группы; n_{np} - число размерных групп, на которые сортируются детали; $AT_{\Delta_j}^{np}$ и $T_{\Delta_j}^{np}$ - величины соответственно углового и линейного допусков замыкающего звена j -й группы; AT_{ij}^{np} и T_{ij}^{np} - величины соответственно углового и линейного допусков i -го составляющего звена j -й группы; ϑ_{ij} и ζ_{ij} - коэффициенты соответственно линейных (габаритных) и угловых размеров полсжения поверхностей i -й детали j -й группы, называемые обобщенными передаточными отношениями погрешностей. При $i=m$ $\vartheta_{mj} = \vartheta_{\Delta_j}$ и $\zeta_{mj} = \zeta_{\Delta_j}$.

На основе формулы (4) разработана методика расчета РПЦ при достижении точности замыкающего звена методом групповой взаимозаменяемости. Эта методика по своей последовательности и содержанию этапов отличается от методики расчета плоских размерных цепей. В ней дополнительно назначаются угловые допуски на все составляющие звенья РПЦ. Кроме того, при расчете числа групп и групповых (линейных и угловых) допусков учитываются угловые допуски и их взаимосвязь с линейными допусками, а также соответствующие габаритные размеры детали машины.

Далее, на основе разработанной методики расчета РПЦ методом групповой взаимозаменяемости, решается задача совершенствования способа сортировки деталей на размерные группы.

Известно, что сортировка деталей на размерные группы в настоящее время производится только по линейным размерам с помощью

измерительных средств. Однако деталь является пространственным телом и, следовательно, имеет угловые погрешности. Поэтому в результате таких сортировок, с одной стороны, встречаются случаи, когда детали одной размерной группы при соединении не обеспечивают заданной точности замыкающего звена, а с другой - получается большой процент незавершенного производства. Это снижает качество и эффективность использования метода групповой взаимозаменяемости в сборочных работах.

С целью устранения отмеченных недостатков определены пороги целесообразности применения данного метода и условия учета угловых погрешностей при их сортировке на размерные группы, а также получено соотношение, определяющее условие сортировки деталей на размерные группы с учетом их угловых погрешностей и в итоге разработаны способы сортировки деталей на размерные группы, основанные на теории РПЦ. Новым в предлагаемых способах сортировки является учет угловых погрешностей и знаков их координат середины полей допусков сортируемых деталей.

Первый способ. Сущность данного способа сортировки деталей на размерные группы заключается в том, что сначала измеряются линейные и угловые погрешности, далее угловые погрешности приводятся к линейным (по их влиянию на отклонения для линейных размеров), а затем сортируются детали на размерные группы по суммарному отклонению линейного размера.

Поскольку величина суммарного отклонения замыкающего звена больше, чем величина поля рассеяния, определенная только на линейных погрешностях, в результате сортировки деталей на размерные группы данным способом число групп будет больше. Чтобы уменьшить число размерных групп при заданных отклонениях составляющих звеньев, предлагается другой способ сортировки деталей на размерные группы.

Второй способ. Сущность его заключается в следующем. Для сопрягаемых поверхностей координаты середины полей допусков на угловые размеры составляющих звеньев назначаются с разными знаками, но равными по величине. Это позволит обеспечить при сборке взаимную компенсацию погрешностей угловых размеров этих поверхностей. Тем самым уменьшается величина поля рассеяния суммарного отклонения замыкающего звена, что, в свою очередь, приводит к сокращению числа групп.

В тех случаях, когда число составляющих звеньев нечетное, а величины координат середин полей допусков одинаковы, поле рассеяния суммарного отклонения замыкающего звена может быть несколько больше, чем поле рассеяния только от угловых погрешностей. Это может привести к незначительному увеличению числа групп. В этом случае рекомендуется скорректировать величины координат середин полей допусков на угловые величины таким образом, чтобы их сумма равнялась нулю.

С этой целью принято задавать погрешности угловых размеров детали, направленные по часовой стрелке относительно оси OZ правых прямоугольных координатных систем, построенных на сопрягаемых поверхностях этой детали, со знаком "минус", в противном случае - "плюс". Это позволяет обеспечить при сборке взаимную компенсацию погрешностей угловых размеров, что снижает количество групп и тем самым повышает эффективность использования метода групповой взаимозаменяемости в сборочных работах.

Далее в теории РПЦ для метода регулировки разработаны расчетные формулы и методики расчета, существенно отличающиеся от известных формул и методик тем, что в них дополнительно учитываются точностные характеристики (номинальное значение, допуски, координаты середины полей допусков) угловых размеров. При расчете точностных характеристик линейных размеров учитывается влияние их угловых погрешностей, а также соответствующие габаритные размеры деталей, выполняющие роль составляющих звеньев. В методике расчета РПЦ методом регулировки предлагаются способы регулировки пространственного компенсирующего звена, с помощью которого регулируется точность замыкающего звена.

На основе разработанных методик разработаны алгоритмы и программы на языке ФОРТРАН IV применительно к микро-ЭВМ "Электроника 60" для расчета РПЦ методами групповой взаимозаменяемости и регулировки, которые облегчают труд конструкторов и технологов при разработке техпроцессов и могут быть использованы в качестве подсистемы САПР ТПЦ.

В четвертой главе на основе разработанных методик и программ для расчета РПЦ методами групповой взаимозаменяемости и регулировки изложены решения задач анализа РПЦ на примерах конкретных механизмов, а также предложен способ регулировки.

для достижения точности зубчатой цилиндрической передачи.

С целью сравнения результатов расчёта плоских и пространственных размерных цепей рассмотрена задача обеспечения требуемого зазора между торцом зубчатого колеса и проставочным кольцом механизма (ГОСТ 16320-80). Эта задача решена как пространственная сначала методом групповой взаимозаменяемости, потом методом регулировки.

Сравнение результатов расчётов РПЦ с результатами расчёта плоских цепей данными методами показывают, что учёт угловых допусков и габаритных размеров деталей при расчёте размерных цепей приводит при методе групповой взаимозаменяемости к изменению числа групп и групповых допусков на размеры составляющих звеньев, а при методе регулировки - к уменьшению наибольшей величины компенсации и количества ступеней неподвижного компенсатора. Установлено, что изменение габаритных размеров составляющих деталей сборочной единицы существенно влияет на величину допуска замыкающего звена, т.е. с увеличением габаритных размеров сопрягаемых деталей увеличивается величина допуска замыкающего звена и наоборот.

Предложен способ регулировки для повышения точности зубчатой цилиндрической передачи, сущность которого заключается в обеспечении параллельности образующих длительных цилиндров посредством применения двух эксцентрических втулок, установленных одна в другую между корпусом и подшипником или между подшипником и валом, причём обе втулки имеют возможность поворота вокруг своих осей. Определена область изменения положения оси вала в результате независимых вращений эксцентрических втулок при различных значениях их эксцентриситетов e_1 и e_2 . Получена формула для определения положения оси вала при известных углах поворотов эксцентрических втулок. Если положение оси вала известно, то можно определить величины углов поворотов втулок, компенсирующих догрешность положения оси вала. Показано преимущество данного способа регулировки перед существующими.

Проведены расчёты РПЦ для поворотного круга прицепов марки 2ПТС-4-793-А-03 и бурового трёхшарошечного долота марки Ш 215,9 ТХЗ-ЦВ-3 методом групповой взаимозаменяемости, в результате чего оказалось необходимым увеличить число размерных групп, что

в свою очередь, привело к уменьшению брака на сборочных работах этих изделий.

ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований решена задача повышения эффективности и надежности применения методов групповой взаимозаменяемости и регулировки за счет увеличения достоверности расчета размерных цепей данными методами, основанными на теории размерных пространственных цепей.

2. Проведенные аналитические исследования позволили:

- представить замыкающее звено (зазор) группой функционально связанных параметров;

- установить функциональные зависимости между параметрами зазора и параметрами пространственного положения составляющих звеньев РЦ;

- установить влияние угловых погрешностей на качество и эффективность применения методов групповой взаимозаменяемости и регулировки.

3. Исследование результатов расчета точности замыкающего звена РЦ методами групповой взаимозаменяемости и регулировки показало, что неучет угловых погрешностей составляющих звеньев приводит к увеличению объема незавершенного производства.

4. Разработаны методики расчета РЦ при обеспечении точности замыкающего звена методами групповой взаимозаменяемости и регулировки, учитывающие линейные и угловые погрешности детали.

5. Предложен способ сортировки деталей на размерные группы по суммарной погрешности, учитывающей линейную и угловую погрешности детали.

6. Предложен способ сокращения числа размерных групп за счет назначения для сопрягаемых деталей координат середин полей допусков угловых размеров с противоположными знаками.

7. Предложен способ выбора компенсирующего звена при использовании метода регулировки в сборочных работах, учитывающий взаимосвязь погрешности линейных и угловых размеров составляющих звеньев и обеспечивающий более высокую точность замыкающего звена в пространстве.

8. Результаты работы по расчёту РПЦ методом регулировки могут быть использованы при применении метода пригонки.

9. Разработаны алгоритмы и программы для расчёта РПЦ методами групповой взаимозаменяемости и регулировки, использование которых облегчает труд конструкторов и технологов при разработке техпроцессов и которые могут быть применены в качестве подсистемы САПР ТПП.

Результаты работы внедрены в виде методических рекомендаций "Расчёт РПЦ на ЭВМ методом групповой взаимозаменяемости" и "Расчёт РПЦ на ЭВМ методом регулировки" на ПО "Ташкентский тракторный завод имени 50-летия СССР". Ожидаемый экономический эффект составил около 15 тыс.руб. в год.

Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в следующих печатных работах автора:

1. Ташбаев Н.О. Обобщённый алгоритм расчёта пространственных размерных цепей // Программа и аннотация докладов Второй республиканской конференции "Методологические и прикладные аспекты систем автоматизированного проектирования в отраслях народного хозяйства". - Ташкент, апрель 1985. - С. 24.

2. Ташбаев Н.О. Решение обратной задачи расчёта пространственных размерных цепей // Вопросы кибернетики. - Ташкент. - 1986. - Вып. 133. - С. 106-110.

3. Ташбаев Н.О. Расчёт размерных пространственных цепей методом регулировки на ЭВМ при технологической подготовке производства // Сб. тезисов докладов республиканской научно-технической конференции "Повышение эффективности внедрения роботизированных и гибких автоматизированных комплексов в машиностроении Узбекистана". - Ташкент, ноябрь 1986. - С. 118-119.

4. Ташбаев Н.О. Расчёт размерных пространственных цепей методом регулировки // Станки и инструмент. - 1987. - № 9. - С. 16-17.

5. Ташбаев Н.О. Применение теории размерных пространственных цепей для совершенствования метода групповой взаимозаменяемости // Сб. тезисов докладов республиканской научно-практической конференции молодых учёных и специалистов "Эффективность использования ресурсов при совершенствовании уп-

равления производством; технологическими процессами и оборудованием". - Ташкент, апрель 1988. - Часть III. - С. 73-74.

6. Ташбаев Н.О. Математическое обеспечение подсистемы расчёта размерных пространственных цепей методом групповой взаимозаменяемости в САПР ТШ// Сб. тезисов докладов конференции молодых учёных и специалистов УзНПО "Кибернетика" АН УзССР "Актуальные вопросы информатики, автоматизации и вычислительной техники". - Ташкент, декабрь 1988. - С. 98-100.

