

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н. Э. Баумана

РУДНЕВ Я. К.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ
ФОРМИРОВАНИЯ ВИНТОВОЙ ПОВЕРХНОСТИ ГАЕК
ШАРИКОВИНТОВЫХ МЕХАНИЗМОВ

(01.02.02. — Теория механизмов, машин и автоматических
линий)

Диссертация написана на русском языке

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

П р е д и с л о в и е

Важнейшими проблемами не только для машиностроения, но и для всех отраслей промышленности являются непрерывное улучшение качества выпускаемой продукции, повышение к.п.д., а также надежности и точности функционирования отдельных узлов механизмов. Этим проблемам, имеющим огромное народнохозяйственное значение, уделялось внимание на XXIII и XXIV съездах КПСС и на пленумах ЦК КПСС. Перед советским народом поставлена задача - на основе дальнейшего прогресса добиться всемерного роста производительности труда в промышленности, при этом "Создавать и внедрять принципиально новые орудия труда, материалы и технологические процессы..."^{1/}

Так, в СССР и США в двадцатых годах XX века почти одновременно на основе известной винтовой пары скольжения были построены шариковинтовые механизмы. Однако, отсутствие теоретических основ расчета, сложность и высокая стоимость изготовления в течение некоторого времени препятствовали их широкому применению в промышленности. В 60-х и 70-х годах появился ряд публикаций и диссертаций советских авторов: С.К.Басу, В.Г.Беляев, Г.Л.Ефремовой, Б.А.Константинова, Г.А.Левита, В.Л.Смоленского, И.П.Филонова и В.А.Холмиквиста по актуальным вопросам расчета и исследования шариковинтовых механизмов. Одновременно значительно возросло количество публикаций зарубежных авторов, таких как G.Bögsack, D.A.Colonska, K.W.Hards, John a Hope, M.Leguena, T.Siekierski и др. Существующая в настоящее время отечественная и зарубежная литература по вопросам теоретического и экспериментального исследования шариковинтовых механизмов не исчерпывает весь комплекс вопросов, связанных с реализацией винтовых поверхностей длинных гаек малого диаметра шариковинтовых механизмов с driveлинейным профилем винтовой

1/ Косыгин А.Н. Директивы XXIV съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 годы.

НТБ МГТУ им.Н.Э.Баумана



1193503

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

МВТУ

им. Н.Э. Баумана

БИБЛИОТЕКА

поверхности. I/

В диссертации все расчеты и исследования выполнены с применением ЭЦМ. Диссертация состоит из шести глав, выводов и приложений, относящихся к расчетной и экспериментальной части работы.

Первая глава. Даются сведения о применении и преимуществах шариковинтовых механизмов. Излагается и анализируется геометрия различных профилей винтовых поверхностей, применяемых в шариковинтовых механизмах. Поставлена задача создания научно обоснованной методики наладочного расчета для шлифования термически обработанных винтовых поверхностей арочного профиля новой разновидности ^{2/} для гаек любой длины, используемых в шариковинтовых механизмах, предназначенных для передачи усилия и получения точных перемещений. В связи с этим необходимо выполнить следующее :

1. Выбрать метод профилирования шлифовального круга, позволяющий получить винтовые поверхности с арчным профилем при параллельной установке осей инструмента и заготовки.

2. Установить аналитическую связь между параметрами инструмента, заготовки и резбошлифовального станка ; определить параметры профилирования шлифовального круга и параметры наладки резбошлифовального станка. Для определения степени пригодности в шариковинтовых механизмах удлиненных и длинных гаек, шлифованных по предложенному методу, целесообразно :

1. Исследовать геометрию шлифованных винтовых поверхностей в точках контактирования ее с шариком для выявления несущей способности.

2. Провести аналитическое исследование процесса формообразования для определения линии контактирования инструмента

1/ Длинными гайками условно будем называть гайки, у которых в процессе шлифования винтовой поверхности угол скрещивания осей $\delta=0$, удлиненными гайками - $0 < \delta < \lambda$ и гайками нормальной длины, когда $\delta = \lambda$.

2/ В дальнейшем для сокращения записи будем пользоваться термином "арочный профиль".

с винтовой поверхностью гайки и точек пересечения ее с винтовой поверхностью, определяющих подрезание.

3. Вывести аналитическим анализом влияние отклонений в процессе шлифования параметров формообразования на характер сопряжения и определить качественные характеристики пятна контакта в случае силового контактирования шарика с винтовой поверхностью.

4. Сопоставить практически полученный профиль в нормальном сечении винтовой поверхности с теоретически расчетным профилем в этом же сечении. Определить микроструктуру винтовой поверхности в неблагоприятных для шлифования зонах.

В т о р а я г л а в а. Излагается методика получения аналитических зависимостей для расчета и анализа винтовой поверхности арочного профиля гаек неограниченной длины. При развороте осей инструмента и заготовки на угол δ предельная длина винтовой нарезки гайки для заданного удаления центров шариков от оси вращения гайки $R_{\text{овн}}$ определяется соотношением между радиусом шлифовального круга R_r , используемого при обработке, и радиусом $R_{\text{инп}}$ оправки шлифовального круга на длине захода последнего в отверстие обрабатываемой гайки. Предельное значение l определяется с помощью аналитических выражений:

$$\left. \begin{aligned} (R_{\text{инп}} \cos \delta + B \cos \delta)^2 + (R_{\text{инп}} \sin \delta + A_u)^2 \cos^2 \delta - R_{\text{овн}}^2 \cos^2 \delta &= 0, \\ A_u \cos^2 \delta / \tan \delta + R_{\text{овн}} \cos \delta (\cos^2 \delta - 1) - B \cos \delta &= 0. \end{aligned} \right\} / I /$$

Анализируя результаты решения аналитических выражений /I/, приходим к выводу, что единственным эффективным средством увеличения длины обработки шлифованием внутренней винтовой поверхности гайки является уменьшение величины угла скрещивания осей инструмента и заготовки. Для получения арочной геометрии профиля винтовой поверхности шлифованием в случае, когда $\delta \neq \lambda$, производящую поверхность вращения профилируем одной дугой радиуса r в плоскости, повернутой относительно меридиального сечения инструмента на угол μ /рис. I/. Тогда уравнение производящей поверхности шлифовального круга в системе координат $S_u (x_u; y_u; z_u)$:

$$\left. \begin{aligned} x_u &= [(R_r + r_r \sin \xi) \cos \nu' - r_r \cos \xi \sin \mu \sin \nu'], \\ y_u &= [(R_r + r_r \sin \xi) \sin \nu' + r_r \cos \xi \cos \mu \sin \mu], \\ z_u &= r_r \cos \xi \cos \mu, \end{aligned} \right\} \quad 1/2$$

где ν' и R_r определяют соответственно текущую угловую координату центра O_r .

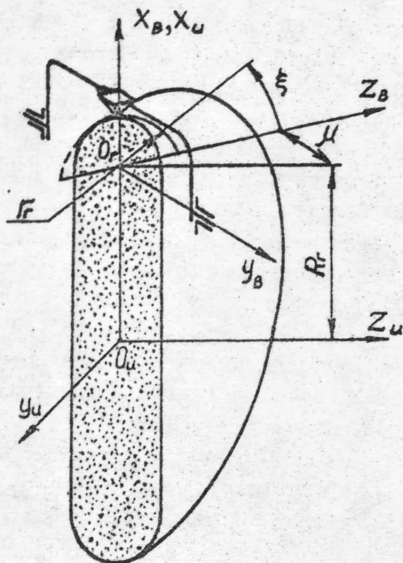


Рис.1. Схема профилирования цилиндрического круга

Расчетная схема взаимной установки инструмента и заготовки в случае изготовления беговой канавки гайки с винтовой нарезкой правого направления представлена на рис. 2: удаленные друг от друга на расстояние A_u оси оправки шлифовального круга и заготовки скрещиваются под углом δ . Условимся считать неподвижную систему координат $s_0(x_0, y_0, z_0)$ жестко связанной с инструментом. С заготовкой жестко связана подвижная система координат $s_1(x_1, y_1, z_1)$. Ее движение относительно системы $s_0(x_0, y_0, z_0)$ определится скользящим вектором угловой

скорости $\bar{\omega}$, направленным по оси z_0 , и свободным вектором $r\bar{\omega}$. Линия касания поверхностей инструмента и огибающей его в относительном винтовом движении определяется системой векторных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \bar{r}_u &= \bar{r}_u(\xi, \nu'), \\ \bar{n}_u \cdot \bar{v}_u &= 0, \end{aligned} \right\} \quad 1/3$$

где $\bar{r}_u$ — радиус-вектор точки производящей поверхности,
 $\bar{n}_u$ — вектор нормали к производящей поверхности инструмента,
 $\bar{v}_u$ — вектор скорости относительного движения в точке касания взаимоогливаемых поверхностей.

После преобразования векторных уравнений /3/ получаем:

$$\begin{aligned} & -(R_r + r_r \sin^2 \cos^2 \mu)(A_u \sin \delta - p \cos \delta) \cos \xi - \\ & - [(R_r + r_r \sin^2) \sin \nu' + r_r \cos^2 \cos \nu' \sin \mu] (A_u \cos \delta + p \sin \delta) \sin \xi \cos \mu - \\ & - [(R_r + r_r \sin^2) \cos \nu' - r_r \cos^2 \sin \nu' \sin \mu] R_r \cos \xi \cos \delta = 0. \end{aligned} \quad /4/$$

Уравнение /4/ определяет связь криволинейных координат ν' и ξ на производящей поверхности инструмента для линии ее контакта с воспроизводимой винтовой поверхностью.

Во избежание подрезания воспроизводимой винтовой поверхности необходимо ограничить длину линии контакта огибаемой с огибающей предельными точками, для отыскания которых будем использовать

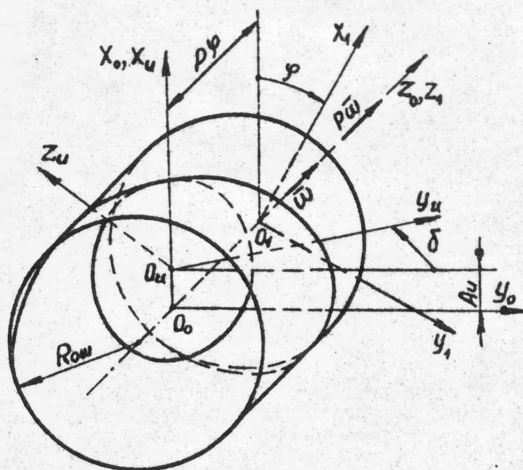


Рис. 2. Расчетная схема связи взаимной установки инструмента и заготовки

условие

$$\vec{c}_u + \vec{v}_u = 0,$$

/5/

где $\vec{c}_u$ - вектор скорости перемещения контактной точки по поверхности инструмента.

После совместного преобразования уравнений /2/, /4/ и /5/ получим:

$$\begin{aligned} & r_r \{ [(R_r + r_r \sin^2) \sin \nu' + r_r \cos^2 \cos \nu' \sin \mu] R_r \cos \xi \sin \delta - \\ & - [(R_r + r_r \sin^2) \cos \nu' - r_r \cos^2 \sin \nu' \sin \mu] (A_u \cos \delta + p \sin \delta) \sin \xi \cos \mu \} + /6/ \\ & \frac{[(R_r \sin^2 - r_r \cos^2 \xi) \cos \nu' - r_r \sin^2 \xi \sin \nu' \sin \mu] R_r \sin \delta -}{- [(R_r \cos^2 + r_r \sin^2 \xi) \sin \nu' + r_r \cos^2 \xi \cos \nu' \sin \mu] (A_u \cos \delta + p \sin \delta) \cos \mu +} \\ & + (R_r \sin^2 - r_r \cos^2 \xi \cos^2 \mu) (A_u \sin \delta - p \cos \delta) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \{ [A_u + (R_r + r_r \sin \delta) \cos \nu - r_r \cos \delta \sin \nu \sin \mu] \sin \delta - \\
 & - p \cos \delta \} [(R_r + r_r \sin \delta) \cos \nu - r_r \cos \delta \sin \nu \sin \mu] \\
 & + \frac{ \{ - [A_u + (R_r + r_r \sin \delta) \cos \nu - r_r \cos \delta \sin \nu \sin \mu] \cos \delta + p \sin \delta \} \sin \delta \cos \mu + }{ \\
 & + \{ [A_u + (R_r + r_r \sin \delta) \cos \nu - r_r \cos \delta \sin \nu \sin \mu] \sin \delta - \\
 & - p \cos \delta \} (\sin \delta \cos \nu \sin \mu - \cos \delta \sin \nu) } = 0.
 \end{aligned}$$

Выражение /6/ в совокупности с уравнением /4/ образует систему, определяющую криволинейные координаты ξ_* и ν_* предельных точек линии контакта инструмента с воспроизводимой винтовой поверхностью.

В дифференциальной геометрии известна формула Родрига, выражающая кривизну нормального сечения поверхности /в данном случае отгибающей/ через отношение векторов $\vec{b}_i$ - скорости изменения направления орт нормали при перемещении точки по поверхности и $\vec{c}_i$ - скорости этого перемещения точки.

$$\kappa = - \frac{\vec{b}_i}{\vec{c}_i} \quad /7/$$

Применяемый в теории зацепления кинематический метод для определения связи между кривизнами взаимноотгибаемых поверхностей дает возможность выражение векторов $\vec{c}_i$ и $\vec{b}_i$ выразить через значения $\vec{c}_u$ и $\vec{b}_u$ посредством следующих равенств:

$$\vec{c}_i = \vec{c}_u + \vec{v}_u, \quad /8/$$

$$\vec{b}_i = \vec{b}_u + \vec{\omega}_u \times \vec{b}_u, \quad /9/$$

Вектора входящие в уравнение /8/ и /9/, записываем в координатной форме. Теперь при известных проекциях векторов $\vec{c}_i$ и $\vec{b}_i$ для нахождения главных радиусов кривизны на воспроизводимой винтовой поверхности воспользуемся формулой —

$$S_{i,2} = - \frac{c_{i1}^2 + c_{i2}^2 + c_{i3}^2}{c_{i1} b_{i1} + c_{i2} b_{i2} + c_{i3} b_{i3}} \quad /10/$$

Радиус-вектор точки винтовой поверхности определяется уравнением

$$\vec{r}_i = M_{10} M_{0u} \vec{r}_u, \quad /11/$$

где M_{10}, M_{0u} - матричные операторы перехода от системы координат

$$S_u(x_u; y_u; z_u) \text{ к } S_i(x_i; y_i; z_i).$$

После соответствующих преобразований векторное уравнение /II/ приводится к виду:

$$\left. \begin{aligned} x_1 &= [A_u + (R_r + r_r \sin \xi) \cos \nu - r_r \cos \xi \sin \nu \sin \mu] \cos \varphi - \\ &\quad - \{[(R_r + r_r \sin \xi) \sin \nu + r_r \cos \xi \cos \nu \sin \mu] \cos \delta + \\ &\quad + r_r \cos \xi \cos \mu \sin \delta\} \sin \varphi, \\ y_1 &= -[A_u + (R_r + r_r \sin \xi) \cos \nu - r_r \cos \xi \sin \nu \sin \mu] \sin \varphi - \\ &\quad - \{[(R_r + r_r \sin \xi) \sin \nu + r_r \cos \xi \cos \nu \sin \mu] \cos \delta + \\ &\quad + r_r \cos \xi \cos \mu \sin \delta\} \cos \varphi, \\ z_1 &= [(R_r + r_r \sin \xi) \sin \nu + r_r \cos \xi \cos \nu \sin \mu] \sin \delta + r_r \cos \xi \cos \mu \cos \delta - p\varphi \end{aligned} \right\} /I2/$$

Выражения /I2/, решаемые совместно с уравнением /4/, определяют винтовую поверхность боковой канавки гайки как функцию двух независимых параметров.

Положение точек контакта в плоскости их геометрического места определено криволинейной координатой α_r , угла передачи контактных усилий в условиях геометрического натяга сопряжения элементов изготавливаемого шариковинтового механизма. Используя это условие и уравнения /4/, /I2/, получаем систему независимых уравнений связывающих исходные наладки станка:

$$\lambda = \arctg \left(\frac{p}{R_{\text{овн}}} \right),$$

$$\begin{aligned} &-(R_r + r_r \sin \xi \cos^2 \mu)(A_u \sin \delta - p \cos \delta) \cos \xi - \\ &-[(R_r + r_r \sin \xi) \sin \nu + r_r \cos \xi \cos \nu \sin \mu](A_u \cos \delta + p \sin \delta) \sin \xi \cos \mu - \\ &-[(R_r + r_r \sin \xi) \cos \nu - r_r \cos \xi \sin \nu \sin \mu] R_r \cos \xi \sin \delta = 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\{[(R_r + r_r \sin \xi) \sin \nu + r_r \cos \xi \cos \nu \sin \mu] \sin \delta - r_r \cos \xi \cos \mu \cos \delta + p\varphi\} \times \\ &\times \operatorname{tg} \lambda + \{[(R_r + r_r \sin \xi) \sin \nu + r_r \cos \xi \cos \nu \sin \mu] \cos \delta + r_r \cos \xi \cos \mu \sin \delta + \\ &+ \sin \delta\} \cos \varphi + [A_u + (R_r + r_r \sin \xi) \cos \nu - r_r \cos \xi \sin \nu \sin \mu] \sin \varphi = 0, \end{aligned} \quad /I3/$$

$$\begin{aligned} &\{[(R_r + r_r \sin \xi) \sin \nu + r_r \cos \xi \cos \nu \sin \mu] \cos \delta + r_r \cos \xi \cos \mu \sin \delta\} \times \\ &\times \sin \varphi - [A_u + (R_r + r_r \sin \xi) \cos \nu - r_r \cos \xi \sin \nu \sin \mu] \cos \varphi + R_{\text{овн}} + r_{\text{овн}} \sin \delta = 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & [(R_r + r_r \sin \xi) \sin \nu' + r_r \cos \xi \cos \nu' \sin \mu] \sin \delta \cos \mu \sin \delta + \\ & \cdot [(R_r + r_r \sin \xi)^2 \cos^2 \mu + R_r^2 \cos^2 \xi \sin^2 \mu]^{\frac{1}{2}} \cos \delta \cos \lambda - \\ & - (R_r + r_r \sin \xi \cos^2 \mu) \cos \delta \cos \delta = 0, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & [(R_r + r_r \sin \xi) \sin \nu' + r_r \cos \xi \cos \nu' \sin \mu] \sin \delta + p \varphi - r_r \cos \xi \cos \mu \cdot \\ & \cdot \cos \delta + r_m \cos \delta \cos \lambda = 0. \end{aligned}$$

Границу подрезания удобно представить в виде предельного удаления R_{np} ее точек от оси гайки. Величину R_{np} находим из выражения:

$$\begin{aligned} R_{np} = & \{ [A_u + (R_r + r_r \sin \xi_*) \cos \nu_*' - r_r \cos \xi_* \sin \nu_*' \sin \mu]^2 + \\ & + \{ [(R_r + r_r \sin \xi_*) \sin \nu_*' + r_r \cos \xi_* \cos \nu_*' \sin \mu] \cos \delta + \\ & + r_r \cos \xi_* \cos \mu \sin \delta \}^2 \}^{\frac{1}{2}}. \end{aligned} \quad /14/$$

где ξ_* и ν_*' - определяемые уравнениями /4/ и /6/.

Третья глава. Дается числовой анализ качественных и количественных характеристик воспроизводимой винтовой поверхности и излагается методика расчета наладочных параметров. Сложность выполнения расчетов связана с решением системы - /2/, /4/, /6/, /10/, /13/ и /14/, устраняется возможностью использования ЭЦВМ.

Подрезание воспроизводимой винтовой поверхности в зоне предполагаемого пятна контакта элементов изготавливаемого шариковинтового механизма следует ожидать при близких к нулю значениях δ в сочетании с большим значением R_r и малым μ . Отметим также одно полезное свойство: изменение положения границы подрезания относительно оси гайки, обусловленное, скажем, увеличением R_r , может быть компенсировано соответствующим увеличением μ . Исследования показали, что влияние изменения d_r на положение границы подрезания проявляется относительно слабо. Оно также позволяет утверждать, что опасность подрезания наиболее реальна при малых значениях заданного угла d_r , поскольку в этом случае точки контакта несущей поверхности с телами качения сами расположены ближе к оси гайки.

Величина отношения g/r_m в основном определяется соотношением трех величин: d_r, δ, R_r . Она интенсивно возрастает с уменьшением d_r , увеличением R_r и уменьшением δ . Особенно сильное влияние на уровень g/r_m оказывает R_r , а при уменьше-

нии α_r - также и δ . Укажем, наконец, на малую степень зависимости δ/μ от изменения μ при любых значениях прочих расчетных параметров процесса формообразования. Условия $1,03 \leq \delta/\mu \leq 1,08$ легко удовлетворяются лишь при значениях δ , мало отличающихся от λ . При необходимости же реализации большой длины винтовой нарезки условия оптимальности геометрических предпосылок качества по нагрузочной способности воспроизводимой криволинейной винтовой поверхности осуществить не удастся.

На основе анализа свойств рассматриваемого процесса формообразования несущей винтовой поверхности арочного профиля для гайки с любой длиной винтовой нарезки может быть предложена следующая схема рационального выбора параметров наладки станка:

1/ Конструктивные параметры изготавливаемого шариковинтового механизма $l, \alpha_r, R_{\text{шп}}, \rho$ и r полагаем заданными.

2/ На основе соображений технологического порядка и данных о техническом оснащении планируемого к использованию оборудования можно задаться значением $R_{\text{шп}}$.

3/ По номограмме или с использованием аналитических зависимостей /1/ выполняется выбор параметров R_r и δ , после чего определяем наружный диаметр шлифовального круга: $D_{\text{кр}} = 2R_r \cdot d_{\text{ш}}$.

4/ Выбираем угол профилирования шлифовального круга μ . Выбирая параметр μ , необходимо помнить о том, что изменение существенно сказывается лишь на $R_{\text{пр}}$, выбор величины μ имеет смысл производить с учетом подрезания рабочей части несущей винтовой поверхности.

Полученные таким образом значения δ , R_r и μ с учетом уравнений /13/ однозначно определяют наладочные величины r и $A_{\text{ш}}$.

Ч е т в е р т а я г л а в а. Изучаются влияния отклонений параметров формообразования винтовой поверхности гайки на характер сопряжения элементов шариковинтового механизма.

С учетом схемы процесса формообразования и уравнения винтовой поверхности получена размерная цепь для определения отклонения конструктивного параметра $\mu_{\text{ш}}$ и размерная цепь для определения отклонения конструктивного параметра $R_{\text{шп}}$.

Для анализа влияния отдельных составляющих размеров на значение замыкающего размера применим вероятностный метод

расчета размерных цепей. Составляющие размеры рассматриваются как независимые случайные величины, которые характеризуются математическим ожиданием $\bar{V}_i$ и средним квадратичным отклонением δ_{V_i} .

Для наиболее употребляемых типоразмеров гаек рассчитанные значения коэффициентов влияния представлены в виде номограмм.

Результаты расчета для различных сочетаний значений отклонений ΔV_i случайных составляющих размеров размерных цепей представлены в виде номограмм выравненных точек. Номограммы дают возможность количественно и качественно оценить: а/ ожидаемые границы изменения размера шарика $r_{ш}$, необходимого для получения четырехточечного геометрического натяга в сопряжении элементов шариковинтового механизма при сборке с последующим расчетом диаметра шарика для заданного предварительного натяга; б/ пределы изменения размера, определяющего положение центра шарика относительно оси вращения гайки $R_{ош}$, с учетом которого можно подобрать винт.

П я т а я г л а в а . Проводится исследование качественных характеристик поверхности пересечения, полученной в результате силового взаимодействия шарика с винтовой поверхностью длинной гайки.

После преобразования матрицы перехода от системы прямых угловых координат $s_i(x_i; y_i; z_i)$ к $s_k(x_k; y_k; z_k)$ в нормальном сечении винтового желоба получим систему параметрических уравнений, определяющих координаты первоначальной точки контактирования шарика с винтовой поверхностью арочного профиля гайки:

$$\left. \begin{aligned} x_k &= -x_i \sin \lambda_i + y_i \sin \lambda_i \cos \lambda_i - z_i \cos \lambda_i \cos \lambda_i + (R_{ош} \sin \lambda_i + r_{ш}) \\ y_k &= y_i \cos \lambda_i + z_i \sin \lambda_i \\ z_k &= x_i \cos \lambda_i + y_i \sin \lambda_i \sin \lambda_i - z_i \cos \lambda_i \sin \lambda_i - R_{ош} \cos \lambda_i \end{aligned} \right\} /15/$$

Для установления связи координат первоначального контакта x_k, y_k, z_k с величиной захода Δ шарика в винтовую поверхность арочного профиля гайки под воздействием усилий воспользуемся уравнением сферы, которая в данном случае имеет следующий вид:

$$(x_k - r_{ш} + \Delta)^2 + y_k^2 + z_k^2 - r_{ш}^2 = 0. \quad /16/$$

После решения уравнения /16/ видно, что поверхность пересечения является эллипсообразным и асимметричным по отношению

к начальной точке контакта в направлении большой оси эллипса. С увеличением усилий, в сопряжении асимметричность увеличивается и изменяется с изменением коэффициента прилегания.

В процессе исследования асимметричности поверхностей пересечения установлено, что с точки зрения наименьшей асимметричности пятна контакта оптимальными являются сочетания минимального значения угла скреивания осей инструментального шпинделя и гайки / $\delta = 0$ / с максимально возможным радиусом шлифовального круга при максимальном угле его профилирования. С учетом выше изложенного, длинные винтовые поверхности гаек, полученные предложенным способом, более пригодны в шариковинтовых механизмах, чем удлиненные.

Ш е с т а я г л а в а . Даются результаты экспериментального исследования шлифования гайки с неограниченной длиной винтовой поверхности.

Профилирование шлифовального круга производится при помощи правящего ролика. Расчет профиля правящего ролика происходит по следующим уравнениям:

$$\left. \begin{aligned} \nu' &= -\arctg \frac{r_r \cos \delta \sin \mu}{R_r + r_r \sin \delta}, \\ x_u' &= (R_r + r_r \sin \delta) \cos \nu' - r_r \cos \delta \sin \nu' \sin \mu, \\ z_u' &= r_r \cos \delta \cos \mu. \end{aligned} \right\} \quad /17/$$

Для расчета правильной геометрии резца предварительного нарезания длинных и удлиненных винтовых поверхностей гаек с учетом припусков, необходимых при шлифовании, необходимо определить профиль винтовой поверхности в осевом сечении. При определении теоретического профиля винтовой поверхности в осевом сечении используем систему уравнений /12/, описывающую винтовую поверхность. После записи указанной системы уравнений для осевого сечения и с учетом уравнений /4/ получаем систему уравнений расчета осевого профиля. После решения уравнений осевого сечения построены чертежи, используемые при изготовлении резца с учетом рекомендаций ЭИИАС на величину припуска при шлифовании.

Последовательность механической и термической обработки заготовок гаек, изготавливаемых из инструментальной стали ХВГ, и режимы шлифования винтовой поверхности выбирались также по руководящим материалам ЭИИАС. В нашем случае применим техноло-

гическую схему формообразования, когда на протяжении всего процесса шлифования винтовой поверхности шлифовальный круг работает не всем профилем, а постепенно снимает слой металла той частью профиля круга, стойкость которого максимальна. Шлифование образцов винтовых поверхностей длинных гаек $\delta=0$ производилось на универсальном резьбошлифовальном станке 5822, на заводе Электроустановочных изделий г.Риги.

Точность шлифования для получения расчетного радиуса $R_{\text{ом}}$ определялась с помощью комплекта измерительных шариков и специального ступенчатого цилиндрического калибра. В ходе эксперимента установлено, что расчетные наладочные параметры позволяют получить гайку с заданным удалением центра шарика от оси гайки.

Для проверки геометрии и характера сопряжения шарика с реальной винтовой поверхностью производились измерения пластинок профиля нормального сечения на микроскопе БМИ. Профили, построенные по результатам измерений, сопоставлялись с теоретически рассчитанными. Как установлено, отклонение геометрии реального профиля от расчетного находилось в пределах допустимых отклонений. Так же установлено, что в практическом профиле имеется двухточечный контакт и угол передачи усилий равен расчетному. Экспериментами также подтверждается, что поверхность пересечения шарика с винтовой поверхностью является асимметричной с переменной асимметричностью.

С целью установления возможных мест прижогов и уменьшения твердости при шлифовании закаленных внутренних винтовых поверхностей изготавливались шлифы. Исследование вышеуказанных явлений происходило для гаек, изготовленных с неблагоприятным сочетанием диаметров гайки и шлифовального круга. Эксперименту подверглись образцы, вырезанные из закаленных до твердости 59+61 HRC гаек. Проверка производилась по всему контуру арочного профиля. Установлено, что изменения микроструктуры на поверхности резания практически отсутствуют.

Основные итоги данной работы заключаются в следующем:

I. Получены аналитические зависимости и разработана номограмма для определения длины винтовой поверхности гайки и исследовано влияние параметров $R_{\text{ом}}$, $R_{\text{ин}}$, R_r и δ на длину

шлифуемой поверхности.

2. Получены аналитические зависимости, связывающие конструктивные параметры шлифуемой винтовой поверхности арочного профиля гаек любой длины с параметрами инструмента и наладочными параметрами резьбошлифовального станка при переменном угле скрепления δ .

3. Разработана методика и составлена программа для ЭЦВМ по расчету наладочных параметров для шлифования винтовой поверхности арочного профиля гаек любой длины и диаметра.

4. Получены аналитические зависимости и составлена программа для определения на ЭЦВМ главного радиуса кривизны в точке сопряжения с шариком. Выполнено исследование влияния исходных параметров α_r , R_r и δ на отношение $R_r/r_{\text{ш}}$.

5. Выведены аналитические зависимости, по которым составлена программа для расчета на ЭЦВМ удаления точек подрезания винтовой поверхности от оси гайки. Выполнено исследование влияния исходных параметров α_r , R_r , t и δ на величину подрезания. Дан анализ кривой-характеристики взаимостибающих поверхностей.

6. Составлены размерные цепи формообразования для определения отклонений диаметра шарика и удаления центра шарика от оси вращения, а также составлена программа для расчета их на ЭЦВМ. Произведен анализ влияния составляющих звеньев на замыкающее звено. Представлена номограмма для определения поля допуска шарика, необходимого для получения геометрического и силового натяга.

7. Получены аналитические зависимости, составлена программа для ЭЦВМ и выполнено исследование изменения поверхностей пересечения шарика с винтовой поверхностью длинных и удлиненных гаек под действием усилий.

8. Разработана методика расчета правящих роликов, резца предварительного нарезания винтовой канавки, теоретического профиля винтовой поверхности в нормальном сечении и составлены программы для расчета их на ЭЦВМ.

9. Произведено экспериментальное нарезание и шлифование винтовой канавки длинных гаек. Результаты эксперимента подтвердили правильность разработанных методик расчетов и находятся в качественном соответствии с результатами численного анализа

винтовых поверхностей гаек, произведенного с помощью ЭИМ.

10. Предложенный метод воспроизведения и исследования длинных и удлиненных шлифованных винтовых поверхностей гаек с арочным профилем рекомендуется к использованию при конструктивной и технологической подготовке производства шариковинтовых механизмов с термически обработанными длинными гайками или гайками малого диаметра.

Материалы по теме диссертации доложены автором:

1. На научно-технической конференции преподавателей механико-машиностроительного ф-та /Рига, май 1966 г./.
2. На Республиканской научно-технической конференции Рижского политехнического института и Рижского краснознаменного института инженеров гражданской авиации имени Ленинского комсомола /Рига, сентябрь 1967 г., июнь 1969 г./.
3. На научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Рижского политехнического института /Рига, май 1971 г./.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Г.И.Ноздрачева, Я.К.Руднев. Винтовая поверхность с арочным профилем для беговых канавок длинных гаек шариковинтовых механизмов. В сб. "Вопросы механики и машиностроения". Выпуск 8. Рига, изд-во РПИ, 1969 г.
2. Я.К.Руднев. Определение поверхности пересечения тел качения с винтовой поверхностью арочного профиля беговой канавки гайки шариковинтового механизма. В сб. "Вопросы механики и машиностроения". Выпуск 8. Рига, изд-во РПИ, 1969 г.
3. Я.К.Руднев. Влияние технологических ошибок параметров формообразования винтовой поверхности гайки на характер соприкосновения элементов шариковинтового механизма. Научно-технический сборник "Надежность механических систем". Выпуск 2. Рига, изд-во РПИ, 1971 г.