

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ СССР

Московский технологический институт легкой промышленности

На правах рукописи

Аспирант

Жаксыбек Усенбеков

ИССЛЕДОВАНИЕ ТОЧНОСТИ ВЫПОЛНЕНИЯ ОПЕРАЦИЙ НА  
ШВЕЙНЫХ МАШИНАХ С УЧЕТОМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ  
ОБЪЕКТА ОБРАБОТКИ

Специальность 05.02.13

"Машины и агрегаты легкой промышленности"

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва 1978

Работа выполнена в Московском технологическом институте  
легкой промышленности на кафедре "Машины и аппараты легкой  
промышленности".

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ: кандидат технических наук, доцент  
В.В.СТОРОЖЕВ

ОФИЦИАЛЬНЫЕ ОППОНЕНТЫ: доктор технических наук, профессор  
В.В.КАРАМЫШКИН  
кандидат технических наук, доцент  
Е.И.КИРИЛЛИН

ВЕДУЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ: Подольский механический завод  
им. М.И.Калинина

Автореферат разослан " " 1978 г.

Захита состоится " " 1978 г. на заседании  
специализированного Совета К.053.32.01 при Московском технологи-  
ческом институте легкой промышленности.

Адрес института: 113127, г.Москва, ул. Осипенко,33.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваше отзывы и замечания /в двух экземплярах/, заверенные  
печатью, просим направлять в Совет института.

Ученый секретарь Совета *Лобанов* В.А.Лобанов

(C) Московский технологический институт  
легкой промышленности

Актуальность. ХХV съездом КПСС поставлена задача обеспечить  
всемерный рост эффективности общественного производства, улучшить  
качество продукции, усилить режим экономии в народном хозяйстве. В  
полном мере это относится к легкой промышленности, основной продук-  
цией которой являются товары народного потребления.

Одним из важнейших факторов, влияющих на качество изделий, яв-  
ляется точность их изготовления. Так, точность изготовления изделий  
из кожи и их внешний вид во многом определяется точностью работы  
механизмов технологического оборудования. Поэтому одним из основных  
условий, которое учитывается при создании механизмов машин, являет-  
ся обеспечение требуемой точности их работы. Это условие имеет  
особо важное значение для механизмов дискретной подачи объекта об-  
работки и оно отражается не только на качестве, но и на надежности  
работы механизмов. Так, для механизма перемещения изделий пугович-  
ного полуавтомата необеспечение требуемой точности перемещения при-  
водит к поломке иглы или повреждению пуговицы и ниточного слоя.  
Повышение точности работы оборудования с целью улучшения качества  
изготавливаемого изделия приводит к усложнению технологических про-  
цессов и удорожанию оборудования.

Точностные свойства механизмов в процессе эксплуатации вслед-  
ствие износа трущихся деталей и увеличения зазоров ухудшаются,  
так как нарушается взаимная координация сопряженных деталей, что  
приводит к дополнительным ошибкам на выходе механизмов. Поэтому  
необходим научно-обоснованный подход к вопросу точностного синте-  
за механизмов, учитывающий обеспечение технологического допуска  
на обработку, экономичность и долговечность оборудования.

Состояние вопроса. Для механизмов машин задачи расчета точно-  
сти могут быть поставлены двояко:

- a) по известным первичным ошибкам определить ошибку ведомого звена механизма – обратная задача;
- b) заданный из технологических условий допуск на ошибку ведомого звена распределить по составляющим элементам механизма – прямая задача.

Работы, рассматривающие вопросы точности механизмов швейных машин, в основном посвящены обратной задаче. Прямая задача точности решена не достаточно полно. На практике для назначения полей рассеяния первичных ошибок на элементы механизма пользуются методами попыток, равного класса точности, равного влияния допусков. Эти методы не учитывают вопросы обеспечения технологически требуемого допуска, экономичности и срока службы механизмов.

При точностных расчетах передаточные отношения первичных ошибок устанавливаются детерминированными методами, которые не учитывают статистическую природу последних. Так как первичные ошибки партии механизмов представляют случайные величины или случайные функции, то определение передаточных отношений с помощью функциональных связей между первичной и суммарной ошибками не обеспечивает необходимую достоверность расчета. Для выявления незначимых первичных ошибок, не оказывающих влияния на ошибку положения механизма, передаточные отношения первичных ошибок необходимо определять на основе корреляционной связи между первичной и суммарной ошибками.

**Цель работы.** Разработать инженерные расчетные методы исследования точности механизмов машин легкой промышленности с учетом специфики их работы и обеспечения требуемого качества изготовления изделий; провести исследование механизмов швейных машин с целью разработки рекомендаций по назначению рациональных пределов изменения первичных ошибок.

**Объект исследования.** В машинах легкой промышленности широко применяются механизмы дискретного перемещения обрабатываемых полуфабрикатов с позиционированием, в которых программируемым явлением являются силовые кулачки. К классу таких механизмов относится механизм перемещения изделий в короткошовном или пуговичном полуавтомате, который принят в качестве объекта исследования. Следует отметить, что результаты теоретических и экспериментальных разработок могут быть применены к другим типам механизмов машин легкой промышленности, выходные ошибки которых влияют на качество изделий.

**Достоверность и научная новизна.** В работе предложена классификация погрешностей обработки изделий по источникам их возникновения, позволяющая выделить составляющие суммарной погрешности, которые необходимо учитывать при точностных расчетах механизмов швейных машин.

Предложены новые методы точностного синтеза механизмов, позволяющие установить рациональные поля рассеяния первичных ошибок с учетом минимизации затрат на изготовление и максимизации срока службы механизмов.

Разработан новый метод расчета передаточных отношений, учитывающий вероятностный характер зависимости выходной ошибки механизма от первичных ошибок. Экспериментальная проверка вышеуказанного теоретического метода расчета передаточных отношений первичных ошибок показывает их правомерность.

**Практическая ценность.** Применение теоретических и экспериментальных разработок, приведенных в работе, позволит создать экономически обоснованные механизмы швейных машин с рациональными сроками функционирования, обеспечивающие требуемое качество об-

работки изделий.

Апробация. Результаты исследования были доложены на научно-техническом семинаре "Механизация и автоматизация в текстильной и легкой промышленности" в Московском Доме научно-технической пропаганды им. Ф.Э.Дзержинского, научно-технической конференции Витебского технологического института легкой промышленности и на научно-техническом совете Подольского механического завода им. Калинина и получили положительную оценку, а также приняты к практическому использованию при проектировании механизмов швейных машин на ПМЗ.

Объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, выводов по главам и по работе, библиографии, приложений.

Текстовая часть работы изложена на 115 страницах машинописного текста и содержит 38 рисунков, 19 таблиц. Перечень литературы включает 164 наименования. Приложения имеют объем 38 страниц.

В первой главе на основе анализа работ, рассматривающих различные аспекты точности выполнения технологических операций, проведена классификация погрешностей обработки изделий швейного и обувного производств по источникам их возникновения. Классификация погрешностей обработки позволила выделить составляющие суммарной погрешности обработки, которые необходимо учитывать при точностном анализе и синтезе механизмов технологического оборудования.

Среди источников погрешностей обработки одну из основных групп составляют погрешности, возникающие вследствие ошибок механизмов технологического оборудования. Повышение точности ме-

ханизма с целью улучшения качества обработки изделий приводит к усложнению и повышению затрат, связанных с изготовлением механизмов. Поэтому при изготовлении механизмов швейных машин необходимо обеспечить объективно установленный из технологических условий допуск на обработку изделий. Технологически требуемый допуск является основным критерием оценки качества обработки изделий. Данное требование заключается в следующем: суммарная погрешность обработки  $\Delta_{\Sigma_j}$  не должна превышать технологически требуемый допуск  $[\Delta]$ , т.е.

$$\Delta_{\Sigma_j} \leq [\Delta], \quad j = \overline{1, m},$$

где  $m$  - количество точек, в которых осуществляются приближения.

Анализ технологически требуемых допусков на обработку швейных и обувных изделий показывает, что они зависят от вида изделий, технологического процесса и во многих случаях регламентируются ГОСТами и ТУ.

При известном технологически требуемом допуске на суммарную погрешность обработки  $[\Delta]$ , допуск на рассматриваемую первичную погрешность обработки  $[\xi]$  необходимо устанавливать с учетом всех составляющих суммарной погрешности  $\Delta_{\Sigma_j}$ , т.е.

$$[\xi] = [\Delta] - \left( \sum_{i=1}^{N-1} \xi_i M(\Delta_i) + t_p \sqrt{\sum_{i=1}^{N-1} \sigma_{\Delta_i}^2} \right), \quad (I)$$

где  $\xi_i$  - передаточное отношение погрешности  $\Delta_i$ ;  $M(\Delta_i)$ ,  $\sigma_{\Delta_i}$  - математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение  $i$ -той погрешности обработки;  $N$  - количество первичных погрешностей обработки;  $t_p$  - величина, зависящая от вероятности нахождения случайной величины в данной области.

Согласно выражению (1) из размерной цепи, отражающей взаимные положения иглы и пришиваемой пуговицы, определен допуск

$[\varepsilon]$  на ошибку положения ведомого звена исследуемого механизма перемещений изделий пуговичного полуавтомата. При этом, для установления статистических параметров распределения размеров пуговицы, являющихся звенями размерной цепи, произведены измерения пуговиц различных типов на универсальном микроскопе УИМ-21. Исследование точности пуговиц различных типов показало, что они изготавливаются со значительными погрешностями, выходящими за пределы установленных допусков. Так, до 5% пластмассовых, до 90% костяных и до 33% стеклянных пуговиц в партии изготавливаются выходящими за пределы допусков на их размеры, что требует повышения точности рассматриваемого механизма.

Технологический допуск  $[\varepsilon]$ , определенный с учетом статистических параметров первичных погрешностей обработки  $\Delta_i$  при вероятности нахождения размеров пуговиц в пределах заданных полей допусков  $P(X) = 99\%$ , составил всего 0,300 мм.

Проведенный анализ состояния вопросов точностных расчетов позволило выявить круг нерешенных проблем и сформулировать задачи данной работы.

Вторая глава посвящена разработке методики составления и решения задач по определению рациональных полей рассеяния первичных ошибок механизмов швейных машин. Указанная задача сведена к задачам математического программирования и сформулирована следующим образом: нужно найти значения полей рассеяния первичных ошибок  $\bar{X}^* \{x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*\}$ , (максимизирующих) целевую функцию  $R(\bar{X})$  на множестве допустимых векторов, т.е.

$$R_{\min} = R(\bar{X}^*) \leq R(\bar{X}), \\ (max) \quad (\geq)$$

при соблюдении условий  $\bar{X} \in \bar{Q}$ ,

где  $\bar{X} \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  - входные переменные;

$\bar{Q}$  - допустимая область существования входных переменных, выделяемая в  $n$ -мерном пространстве системой неравенств ограничений.

Система ограничения задачи математического программирования строится на основе ошибки положения ведомого звена  $\Delta Z_j$ ; и технологического допуска на нее,

$$\Delta Z_j \leq [\varepsilon], \quad j = 1, \bar{m} \quad (2)$$

и допустимой области варьирования входных переменных

$$\bar{\Delta}_{\min} \leq \bar{X} \leq \bar{\Delta}_{\max}, \quad (3)$$

где  $\bar{\Delta}_{\min} \{\Delta_{\min_1}, \Delta_{\min_2}, \dots, \Delta_{\min_n}\}$ ,  $\Delta_{\max} \{\Delta_{\max_1}, \Delta_{\max_2}, \dots, \Delta_{\max_n}\}$  - минимальные и максимальные допустимые поля рассеяния первичных ошибок;  $n$  - количество первичных ошибок.

Система ограничений (2) при использовании линейной теории точности имеет вид:

$$\sum_{i=1}^n A_{ji} x_i \leq [\varepsilon], \quad (4)$$

где  $A_{ji}$  - передаточные отношения первичных ошибок.

Для партии механизмов, первичные ошибки которых представляют собой случайные величины, распределенные в определенных пределах, условие (2) записывается в виде системы нелинейных неравенств:

$$\sum_{i=1}^n A_{ji} (\Delta_{oi} + \alpha_i x_i) + \frac{1}{2} \sum_{i=\ell+1}^n A_{ji} (\Delta_{oi} + \alpha_i x_i) \pm \\ \pm \frac{1}{K_{\Sigma}} \sqrt{\sum_{i=1}^{\ell} A_{ji}^2 K_i^2 x_i^2 + \frac{1}{4} \sum_{i=\ell+1}^n A_{ji}^2 K_i^2 x_i^2} +$$

$$+\sum_{(\beta, \mu)=1}^{(e-p)/2} 2A_{j\mu} A_{jm} R_{\beta, \mu} K_\beta K_\mu X_\beta X_\mu \leq [\varepsilon], \quad (5)$$

$i = 1, 2, \dots, p, p+1, \dots, l, l+1, \dots, n,$

где  $\Delta_{0i}$  - координата поля рассеяния  $i$  - той первичной ошибки;

$K_\Sigma, \alpha_i, K_i$  - коэффициенты суммирования;

$R_{\beta, \mu}$  - коэффициенты корреляции пары ошибок номерами  $\beta$  и  $\mu$ .

Первичные ошибки механизма пронумерованы следующим образом: от  $I$  до  $p$  - скалярные первичные ошибки линейных размеров; от  $p + 1$  до  $l$  - попарно корреляционно зависимые первичные ошибки; от  $l + 1$  до  $n$  - первичные ошибки в виде зазоров.

Минимальная граница допустимой области варьирования полей рассеяния первичных ошибок  $\bar{\Delta}_{min}$  устанавливалась с учетом технических возможностей станочного парка завода по достигаемой точности изготовления деталей, а максимальная  $\bar{\Delta}_{max}$  - по работоспособности кинематических пар исследуемого механизма.

Коэффициенты суммирования  $\alpha_i, K_i$ , отражающие действительные законы распределения первичных ошибок, при составлении ограничений задачи (5) определены из условия производства деталей машин на предприятиях машиностроения для легкой промышленности и ПМЗ им. Калинина.

При определении передаточных отношений  $A_{ji}$  принято, что относительные перемещения элементов кинематических пар происходят по направлению реакций в них. Для определения условия взаимодействия элементов кинематических пар, произведены экспериментальные измерения реакций в кинематических парах при крайнем положении исследуемого механизма. Установлено, что направления и величины реакций в кинематических парах на каждом цикле ра-

боты механизма имеют случайные значения.

Для установления рациональных полей рассеяния первичных ошибок разработана методика составления частных и обобщенных целевых функций, а также разработаны алгоритмы реализации задач на ЭВМ. В качестве частных целевых функций используются зависимости технологической себестоимости и срока службы механизма от точности его изготовления, т.е.  $S(\bar{x}), T(\bar{x})$ .

Общий характер зависимости себестоимости изготовления деталей швейных машин, в условиях ПМЗ им. Калинина от допусков на их размеры исследованы на основе регрессионного анализа. Однако, составление целевой функции  $S(\bar{x})$  с использованием полученных данных приводит к приближенным результатам. Предложен расчетный метод составления целевой функции с использованием технологических себестоимостей операций, влияющих на точность механизма. При этом зависимость технологической себестоимости от точности изготовления деталей имеет вид:

$$S_i = D_i + \frac{B_i}{X_i^p},$$

где  $D_i, B_i$  и  $p_i$  - коэффициенты уравнения.

Целевая функция для механизма представлена суммой

$$S(\bar{x}) = \sum_{i=1}^n \left( D_i + \frac{B_i}{X_i^p} \right) \rightarrow \min. \quad (6)$$

Коэффициенты уравнения (6) рассчитаны на ЭВМ "Наира-К".

При изменении первичных ошибок в сравнительно небольшом диапазоне возможна замена гиперболической зависимости линейной. В случае такой замены целевая функция примет вид:

$$S(\bar{x})_L = \sum_{i=1}^n A_i - \sum_{i=1}^n C_i X_i.$$

Так как слагаемое  $\sum_{i=1}^n a_i$  – постоянная величина, то в качестве целевой функции используется

$$S'(\bar{x})_L = \sum_{i=1}^n c_i x_i \rightarrow \max. \quad (7)$$

Для исследуемого механизма задача, составленная в линейной постановке по условиям (3), (4) и (7), решалась с использованием стандартной программы "Симплекс-метод", имеющейся в библиотеке ЭВМ.

Для решения задачи в нелинейной постановке по условиям (2), (4) и (5) предложен алгоритм, основанный на направленном случайному поиске. Анализ и сопоставление результатов расчетов одного из вариантов задачи по разработанной программе направленного случайногого и по программе, основанной на детерминированном методе поиска оптимума целевой функции в пределах заданной точности расчета дали одинаковые результаты. Это позволяет утверждать о приемлемости предложенного алгоритма к расчету рассматриваемых классов задач.

Следует отметить, что метод направленного случайногого поиска оптимума более универсален. Использование метода направленного случайногого поиска к решению рассматриваемых классов задач позволяет обеспечить достижение глобального оптимума с заданной точностью независимо от вида целевой функции. Одним из существенных достоинств данного метода является достаточно простое введение любых ограничений на пространство параметров, что не всегда удается сделать при использовании детерминированных методов поиска.

Путем сопоставления результатов решений задач в линейной и нелинейной постановке установлено, что при значительном коли-

чество первичных ошибок механизма линейная постановка задачи может приводить к существенным искажениям. В связи с этим для получения более достоверных результатов предлагается расчет рассматриваемых классов задач производить в нелинейной постановке.

В исследуемом механизме предусмотрена регулировка положения оси ролика в пазу кулисного рычага. На практике наличие этой регулировки позволяет выбрать автономно на каждом механизме часть ошибки положения ведомого звена, возникающей от первичных ошибок линейных размеров звеньев кинематической цепи. В связи с этим, действующими первичными ошибками механизма являются только первичные ошибки сопрягаемых деталей, образующих зазоры. В этом случае количество оптимизируемых переменных уменьшается.

При изготовлении деталей исследуемого механизма по расчетным значениям полей рассеяния первичных ошибок ( $\bar{x}_S^*$ ) при  $[\xi] = 0,300$  мм, технологическая себестоимость операции сокращается в 2,4 раза по сравнению с изготовлением механизма по заводским допускам.

Исходными для составления частной целевой функции, выражающей зависимость срока службы механизма от точности изготовления его элементов  $T(\bar{x})$  являются скорости износа  $v_i$  деталей. Как указывают ряд исследователей, при установившихся режимах работы механизма с учетом износа деталей первичная ошибка описывается линейной случайной функцией

$$\Delta q_{it} = \Delta q_{oi} + v_i t,$$

где  $\Delta q_{oi}$  – исходная первичная ошибка, представляющая собой случайную величину;

$t$  - срок службы механизма.

В этом случае практическая предельная ошибка положения механизма будет определяться по выражению:

$$\Delta \bar{Z}_j = M[\Delta Z_j(\Delta q_{it})] \pm 3 \sqrt{D[\Delta Z_j(\Delta q_{it})]},$$

где  $M[\Delta Z(\Delta q_{it})]$  и  $D[\Delta Z_j(\Delta q_{it})]$  - соответственно математическое ожидание и дисперсия ошибки положения механизма  $\Delta Z_j(\Delta q_{it})$ .

Учитывая условие (2), которое в предельном случае принимает вид равенства  $\Delta \bar{Z}_j = [\varepsilon]$ , определяется зависимость срока службы от точности изготовления механизма:

$$T(\bar{x}) = \frac{B_2(\Delta_L + B_1)}{(B_2^2 - B_4)} + \sqrt{\left[ \frac{B_2(\Delta_L - B_4)}{B_2^2 - B_4} \right]^2 - \left[ \frac{(B_1 + \Delta_L)^2 - (B_3 - \delta_{\Delta_L})}{B_2^2 - B_4} \right]^2}, \quad (8)$$

где  $\Delta_L = \sum_{i=1}^n A_{ji} (\Delta_{oi} + \alpha_i x_i)$ ;

$$B_1 = \frac{1}{2} \sum_{i=\ell+1}^n A_{ji} [x_{i1}(1 + \alpha_{i1}) + x_{i2}(1 + \alpha_{i2})] - [\varepsilon];$$

$$B_2 = \frac{1}{2} \sum_{i=\ell+1}^n A_{ji} [M(v_{i1})(1 + \alpha_{i1}) + M(v_{i2})(1 + \alpha_{i2})];$$

$$\delta_{\Delta_L} = \sum_{i=1}^{\rho} A_{ji}^2 K_i^2 x_i^2 + 2 \sum_{(j,M)=1}^{(\ell-\rho)/2} A_{jM} K_j K_M R_{jM} x_j x_M;$$

$$B_3 = \frac{1}{4} \sum_{i=\ell+1}^n A_{ji}^2 (K_{i1}^2 x_{i1}^2 + K_{i2}^2 x_{i2}^2);$$

$$B_4 = \frac{9}{4} \sum_{i=\ell+1}^n A_{ji}^2 (K_{i1}^2 \delta_{q_{i1}}^2 + K_{i2}^2 \delta_{q_{i2}}^2),$$

$\Delta_L$  и  $\delta_{\Delta_L}$  - математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение ошибки положения ведомого звена, возникающей от первичных ошибок линейных размеров звеньев механизма;

$M(v_{is})$ ,  $\delta_{v_{is}}$  ( $S = 1; 2$ ) - математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение скорости износа, при  $S = 1$  охватывающей и  $S = 2$  охватываемой детали сопряженных пар.

Используя выражение (8) в качестве частной целевой функции  $T(\bar{x})$  определены поля рассеяния первичных ошибок  $\bar{x}_T^*$ , обеспечивающие максимизацию срока службы механизма. Условия ограничения задачи в этом случае образуются системами неравенств (3), (5) и дополнительными условиями, учитывающими изменение полей рассеяния первичных ошибок при износе деталей:

$$M(v_{is}) t + \sqrt{x_{is}^2 + 9 \delta_{v_{is}}^2 t^2} \leq \Delta_{max_{is}}, \quad (9)$$

$$i = \overline{1, n}$$

$$S = 1, 2,$$

где  $\Delta_{max_{is}}$  - наибольшее граничное значение поля рассеяния первичной ошибки с номером  $(i, S)$ .

Вероятностные характеристики скорости износа деталей  $M(v_{is})$  и  $\delta_{v_{is}}$ , входящие в условие (9), рассчитаны с учетом закона распределения реакций (удельного давления) в кинематических парах механизма по практикуемой расчетной зависимости

$$v_{is} = C_1 q_a^{m_1} v_{CK}^{m_2},$$

где  $C_1, m_1, m_2$  - коэффициенты уравнения;

$q_a$  - удельное давление, представляющее случайную величину;

$v_{CK}$  - скорость скольжения.

В результате расчета получены поля рассеяния первичных ошибок  $\bar{x}_T^*$ , обеспечивающие наибольший срок службы механизма. Он составил  $0,6432 \cdot 10^4$  часов безотказного функционирования механизма.

Таким образом, при расчете полей рассеяния первичных ошибок одного и того же механизма по частным целевым функциям  $S(\bar{X})$  и  $T(\bar{X})$  получаем два различные значения указанных полей —  $\bar{X}_S^*$  и  $\bar{X}_T^*$ . Для совместного учета критериев составлена обобщенная целевая функция  $R_{S,T}(\bar{X})$  и проведен расчет компромиссной задачи. Обобщенная целевая функция составлена с использованием результатов частных задач и представляет собой сумму абсолютных величин относительных отклонений частных целевых функций от их оптимальных значений  $S(\bar{X}_S^*)$  и  $T(\bar{X}_T^*)$ .

$$R_{S,T}(\bar{X}) = \left| \frac{S(\bar{X}) - S(\bar{X}_S^*)}{S(\bar{X}_S^*)} \right| + \left| \frac{T(\bar{X}) - T(\bar{X}_T^*)}{T(\bar{X}_T^*)} \right| \rightarrow \min.$$

При решении компромиссной задачи оптимальные значения целевых функций частных задач  $S(\bar{X}_S^*)$ ,  $T(\bar{X}_T^*)$  для рассматриваемого механизма оказались равными  $92,3987$  руб. и  $0,4898 \cdot 10^4$  час.

При изготовлении деталей рассматриваемого механизма (рис. I) по допускам, назначенным в результате решения компромиссной задачи (табл. I), технологическая себестоимость операции уменьшается на 11,5%, а срок службы механизма увеличивается на 17,3% по сравнению с их изготовлением по заводским допускам.

По проведенным исследованиям составлена алгоритмическая схема накопления исходных данных и реализации задачи расчета рациональных полей рассеяния первичных ошибок механизма (рис.2).

В третьей главе работы рассмотрены методы определения передаточных отношений, учитывающие вероятностный характер связи между ошибкой положения ведомого звена и первичной ошибкой механизма. При этом влияние каждой первичной ошибки на ошибку положения ведомого звена устанавливалось на основе регрессио-

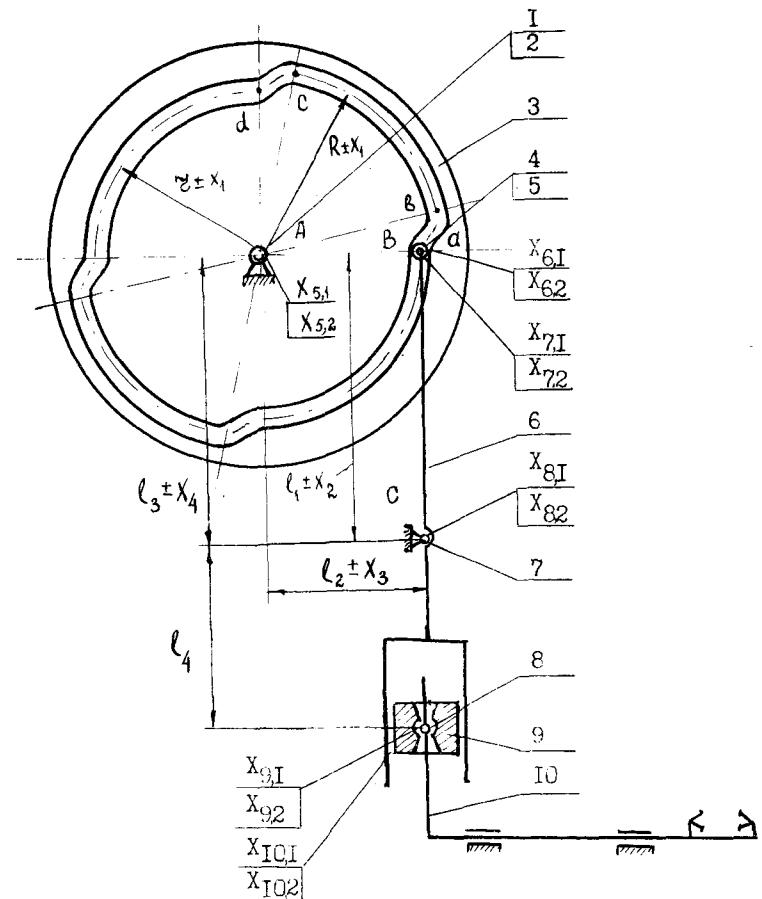


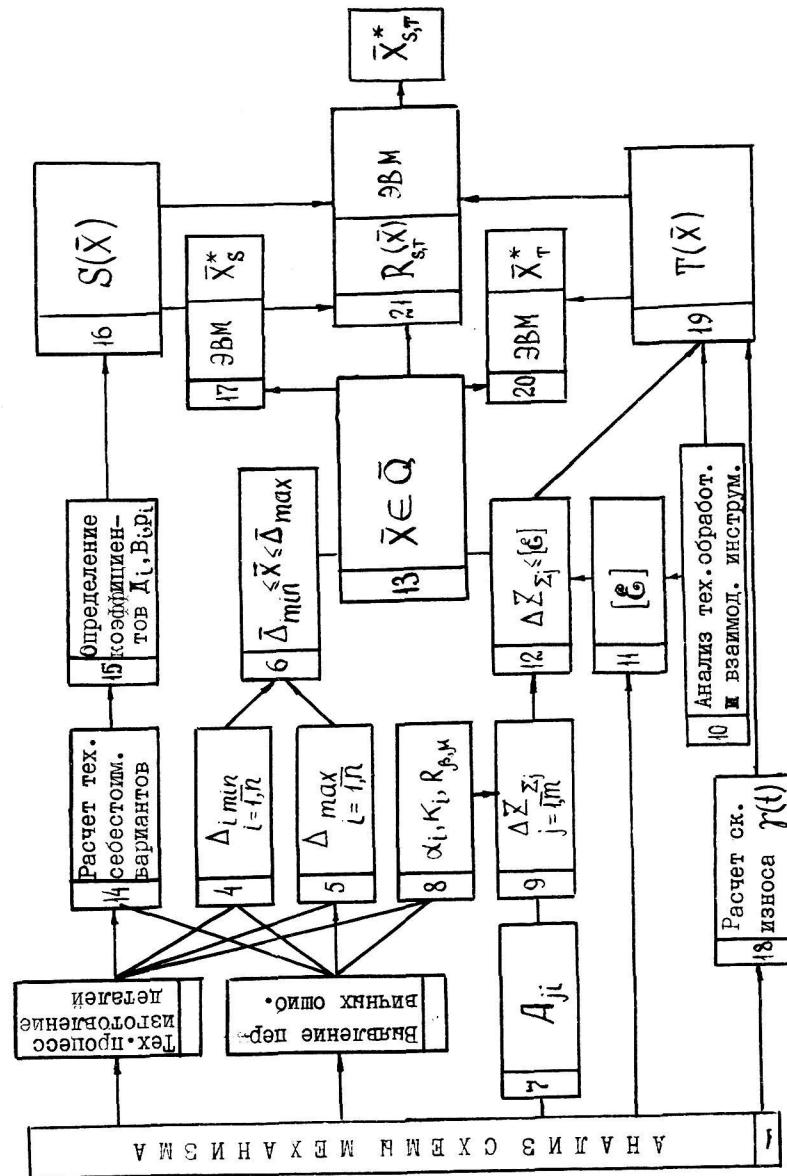
Рис. I. Схема расположения первичных ошибок механизма:

1—подшипник; 2—вал; 3—кулачок; 4—ролик; 5—ось ролика; 6—ричаг; 7—кронштейн; 8—муфта; 9—ползун; 10—стержень ведомого звена

Таблица I.

Допуски на изготовление деталей и значения полей рассеяния первичных ошибок механизма, обеспечивающие условия различных целевых функций

Наименование первичных ошибок	$S(\bar{X})$	$T(\bar{X})$	$R_s(\bar{X})$	Полные поля допусков первичных ошибок, в знаменателе - класс точности, обеспечивающие условия
$X_{5,1}$	0,1200 4	0,0280 2a	0,0344 3	0,019 2
$X_{5,2}$	0,0796 3a	0,0240 2a	0,0301 3	0,012 2
$X_{6,1}$	0,1200 4	0,0190 2	0,0258 2	0,035 3
$X_{6,2}$	0,0268 2a	0,0120 2	0,0220 2a	0,035 3
$X_{7,1}$	0,0800 4	0,0120 2	0,0280 3	0,016 2
$X_{7,2}$	0,0998 4	0,0080 2	0,0300 3	0,010 2
$X_{8,1}$	0,1200 4	0,0190 2	0,0360 3	0,019 2
$X_{8,2}$	0,1400 4	0,0192 2	0,0358 3	0,035 3
$X_{9,1}$	0,1400 4	0,025 2	0,0256 2	0,019 2
$X_{9,2}$	0,0726 3a	0,014 2	0,0170 2	0,012 2
$X_{10,1}$	0,1219 3a	0,0162 2	0,0798 3a	0,045 3
$X_{10,2}$	0,0426 3	0,0190 2	0,0360 3	0,014 2



ного анализа. При линеаризации связи между рассматриваемой первичной ошибкой и ошибкой положения ведомого звена величина передаточного отношения определяется угловым коэффициентом линий регрессии

$$A_{ji} = r_{z_j x_i} \frac{\sigma_{z_j}}{\sigma_{x_i}},$$

где  $\sigma_{x_i}$  и  $\sigma_{z_j}$  - соответственно средние квадратические отклонения первичной ошибки и ошибки положения ведомого звена;

$r_{z_j x_i}$  - коэффициент корреляции между  $\Delta z_j$  и  $x_i$ .

Величины  $r_{z_j x_i}$ ,  $\sigma_{z_j}$ ,  $\sigma_{x_i}$  определяются на основе предлагаемого алгоритма расчета, составленного с использованием нелинейной теории точности. Алгоритм базируется на моделировании законов распределения первичных ошибок механизма равномерно распределенными псевдослучайными числами, вырабатываемыми по известным соотношениям. Для построения корреляционного поля между переменными  $\Delta z_j$  и  $x_i$  расчеты для партии механизмов объемом  $N = 500$  производились при изменении предела рассеяния рассматриваемой первичной ошибки  $x_i$  и по всему реализованному объему  $\Delta z_j$  и  $x_i$  устанавливались  $r_{z_j x_i}$ ,  $\sigma_{z_j}$ ,  $\sigma_{x_i}$ .

Предложенный алгоритм предусматривает наличие передаточной функции  $Z_j(x_i, i=1, n)$ . Для рассматриваемого механизма передаточная функция составлена с использованием известного геометрического способа определения положений ведомого звена механизма.

Анализ семейств гистограмм распределения ошибок положения механизмов, показывающих статистический характер изменения последних при различных диапазонах рассеяния первичных

ошибок, подтвердил правомерность допущения линейной связи между ошибкой положения ведомого звена механизма и первичной ошибкой.

В результате расчета установлены значения передаточных отношений первичных ошибок и установлены незначимые первичные ошибки, изменения которых не оказывают влияния на выходную ошибку.

Правомочность предлагаемой методики расчета передаточного отношения первичных ошибок подтверждена экспериментально. Для этой цели на базе исследуемого механизма создана установка, позволяющая измерить с высокой степенью точности координату положения ведомого звена при изменении параметров механизма на малые величины (при имитации изменения первичных ошибок). В качестве чувствительного элемента использованы бесконтактный высокочастотный индуктивный датчик, позволяющий измерить координаты положения ведомого звена, не внося искажения на относительные перемещения сопряженных деталей механизма в пределах зазоров. Проверка метрологических характеристик выбранного датчика показала его высокую точность и применимость к подобным точностным исследованиям. Экспериментально были определены передаточные отношения первичных ошибок для крайних положений механизма. Обработка полученных данных произведена с использованием ЭЦВМ "Наира-К" и заключала в себе следующее:

- определение статистических характеристик (средних арифметических значений  $\bar{z}_{\Delta x_{ij}}$ , средних квадратических отклонений  $\sigma_{z_{\Delta x_{ij}}}$ ) для каждой  $\gamma$ -ной группы опытных данных, соответствующих приращениям  $\Delta x_{1\gamma}, (\gamma=1, K_3)$ ;
- исключение грубых ошибок опыта;
- определение средних арифметических значений и средних квадратических отклонений  $\bar{x}_i, \bar{z}_i$  для всего объема

данных;

- определение коэффициента парной корреляции  $R_{x_i x_i}$ ;
- оценки достоверности коэффициентов корреляции;
- определение экспериментальных передаточных отношений первичных ошибок.

Исследование влияния каждой первичной ошибки на ошибку положения ведомого звена механизма производилось построением полей корреляции между  $x_i$  и  $\Delta x_i$ . Формы связи между  $x_i$  и  $\Delta x_i$  определялись путем построения и анализа эмпирических и теоретических линий регрессии. Эмпирические линии регрессии для рассматриваемых зависимостей оказались близки к прямолинейным. Оценкой достоверности коэффициента корреляции установлены незначимые первичные ошибки. Незначимыми оказались первичные ошибки  $x_2$  и  $x_4$ .

В результате экспериментальных исследований механизма выявлен характер влияния зазоров в кинематических парах механизма на ошибку положения ведомого звена. Установлено, что при высоте механизма элементы кинематических пар занимают случайные положения в пределах зазоров, из-за чего координата положения ведомого звена рассеяна в определенном диапазоне. Чем больше зазоры в парах, тем шире диапазон рассеяния. Это необходимо учитывать в расчетах механизма на точность.

Экспериментальные передаточные отношения первичных ошибок приведены для сравнения совместно с аналогичными их значениями, определенными расчетным на основе статистических испытаний и графоаналитическим методами (табл. 2).

Исходя из анализа результатов расчета передаточных отношений первичных ошибок механизма по различным методам, установлена достоверность и применимость предлагаемого расчетного метода при точностных исследованиях.

Таблица 2.

Сопоставление передаточных отношений первичных ошибок, определенных различным путем

Обозначение первичных ошибок	Передаточные отношения первичных ошибок, определенных		
	теоретико-вероятностным путем ( $A_{T,B}$ )	экспериментальным путем ( $A_{эк.}$ )	графо-аналитическим путем ( $A_g$ )
$x_1$	-0,8787	-0,5870	-1,200
$x_2$	-0,0339	-0,0065	0,850
$x_3$	8,8326	1,2628	2,100
$x_4$	0,0160	0,0045	-0,640
$x_6$	0,7097	0,7670	1,460
$x_7$	0,9473	-	1,460
$x_8$	-0,5628	-0,7350	-2,150
$x_9$	0,9001	-	-1,040
$x_{10}$	0,9624	0,9628	1,000

#### ВЫВОДЫ

1. Анализ работ, посвященных качеству изготовления изделий швейного и обувного производства, показал необходимость точностных исследований механизмов, систем машин и позволил наметить направления решения задач точностного синтеза и анализа механизмов.

2. Установлено, что наряду с достаточно полно разработанными методами решения обратной точностной задачи, прямая задача, заключающаяся в определении полей рассеяния первичных ошибок при известном допуске на ошибку положения ведомого звена механизма.

низма машин рассматриваемого класса, исследована недостаточно. Отсутствуют разработки по составлению условий ограничений, целевых функций и решению задач применительно к условиям работы машин легкой промышленности.

3. Погрешности изготовления обрабатываемых полуфабрикатов оказывают существенные влияния на требование к точности механизмов технологического оборудования. Так, измерения параметров пуговиц различных типов показали, что до 5% пластмассовых, до 90% костяных и до 33% стеклянных пуговиц в партии изготавливаются выходящими за пределы допусков на их размеры. Это приводит к дополнительному увеличению требований к точности механизма перемещения изделий пуговичного полуавтомата, что удороожает его стоимость.

4. В соответствии с классификацией погрешности обработки изделий по источникам их возникновения выделены составляющие суммарной погрешности обработки, которые необходимо учитывать при расчетах точности механизмов швейных машин.

5. Проведен анализ условий изготовления и эксплуатации швейных машин с целью составления частных целевых функций, выражющих зависимости технологической себестоимости и срока службы механизма от точности изготовления его деталей  $S(\bar{X})$  и  $T(\bar{X})$ .

Целевая функция  $S(\bar{X})$  составлена с учетом тех операций изготовления деталей, которые влияют на точность механизма, а  $T(\bar{X})$  - с учетом вероятностных характеристик скоростей износа деталей на основе ошибки положения ведомого звена и технологического допуска на нее.

6. Для получения полей рассеяния первичных ошибок, учитыва-

ющих одновременно условия частных целевых функций  $S(\bar{X})$  и  $T(\bar{X})$ , разработана методика решения компромиссной задачи с обобщенной целевой функцией. Обобщенная целевая функция составляется с использованием результатов расчета частных задач.

7. Для решения задач нелинейного программирования предложен алгоритм, основанный на направленном случайному поиске оптимума целевой функции. Один из вариантов задачи проверен расчетом по программе, основанной на детерминированном итерационном методе. Совпадение (в пределах заданной точности) результатов расчетов позволяет утверждать о применимости предложенного алгоритма к решению рассматриваемого класса задач.

8. При изготовлении деталей механизма перемещения изделий пуговичного полуавтомата по допускам, назначенным в результате решения компромиссной задачи, технологическая себестоимость операции уменьшается на 11,5%, а срок службы механизма увеличивается на 17,3% по сравнению с механизмами изготовленными по заводским допускам.

9. На основе нелинейной теории точности (статистических испытаний) разработана методика определения передаточных отношений первичных ошибок, которая позволяет установить незначимые первичные ошибки. При дальнейших исследованиях точности механизма, незначимые первичные ошибки исключаются из математической модели точности.

10. Разработанная методика определения передаточных отношений первичных ошибок проверена экспериментальным путем. Экспериментальная проверка расчетного метода, показывает правомерность и достаточную точность, позволяющий получить более достоверные результаты, чем при детерминированном методе. Так,

передаточные отношения первичных ошибок, полученные графо-аналитическим методом, в среднем отличаются от экспериментальных на 113%, тогда как соответствующие их значения, определенные по предлагаемой методике, всего на 5,1%.

II. Теоретические и экспериментальные разработки, приведенные в работе, могут быть применены к другим типам механизмов машин легкой промышленности, что позволяет создать механизмы, отвечающие технологическим и эксплуатационным требованиям.

По теме диссертации опубликованы  
следующие работы:

1. Определение оптимальных допусков элементов механизма. Тр.Джамбулского технологического института легкой промышленности, "Технология легкой промышленности и бытового обслуживания". Выпуск I, Алма-Ата, 1974. (в соавторстве с В.В.Сторожевым).

2. Определение оптимальных допусков на размеры деталей механизмов. Сообщение I, Известия ВУЗов, "Технология легкой промышленности" № 4, 1976 (в соавторстве с В.В.Сторожевым, И.В.Кучер, С.М.Смирновым).

3. Определение оптимальных допусков на размеры деталей механизмов с учетом обеспечения максимального срока службы. Сообщение 2, "Определение функциональных допусков механизма перемещения пуговиц полуавтомата 27 кл. ПМЗ методом нелинейного программирования". Известия ВУЗов "Технология легкой промышленности", № 5, 1976 (в соавторстве с В.В.Сторожевым, И.В.Кучер, С.И.Смирновым).

4. Методы определения передаточных отношений первичных ошибок механизмов швейных машин. ЦНИИТЭИлегпищемаш "Машиностроение для легкой промышленности", № 7, М., 1976 (в соавторстве с В.В.Сторожевым).

5. Методика расчета рациональных допусков деталей механизмов швейных машин. ЦНИИТЭИлегпищемаш, "Машиностроение для легкой промышленности", № 8, М., 1976 (в соавторстве с В.В.Сторожевым).

6. К расчету рациональных полей рассеяния первичных ошибок механизмов машин швейного и обувного производства с учетом обеспечения максимальных сроков службы. Материалы Всесоюзного научно-технического семинара "Повышение надежности и долговечности машин для текстильной и легкой промышленности", Ташкент, 12-14 апреля 1977 г. (в соавторстве с В.В.Сторожевым, И.В.Кучер).

7. Исследование точности и надежности реальных механизмов швейных и обувных машин. Материалы Всесоюзного научно-технического семинара "Повышение надежности и долговечности машин для текстильной и легкой промышленности", Ташкент, 12-14 апреля 1977 г. (в соавторстве с В.В.Сторожевым).

8. Об учете зазора в низших парах механизмов швейных машин, Тр.Джамбулского технологического института легкой промышленности "Технология легкой промышленности и бытового обслуживания", Выпуск 2, Алма-Ата, 1975. (в соавторстве с В.В.Сторожевым).

Подписано к печати 8/П-1978 г. Л-83246  
Объем 1,5 п.л. Тир. 150 экз. Зак. 103.  
Офсетное производство 3-й типографии  
издательства "Наука"  
Москва К-45, ул. Жданова, 12/1