

М418509

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

МОСКОВСКОЕ ОРДЕНА ЛЕНИНА, ОРДЕНА ОКТЯБРЬСКОЙ
РЕВОЛЮЦИИ И ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧИЛИЩЕ ИМЕНИ Н. Э. БАУМАНА

НА ДОМ
НЕ ВЫДАЕТСЯ

На правах рукописи

УДК 621.01.001.63:
681.612.062.1:
681.5.015.23

ПОНОМАРЕНКО
Светлана Самуиловна

**ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ СИНТЕЗ
ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕЧАТАЮЩИХ
МЕХАНИЗМОВ НА ЕС ЭВМ**

(Специальность 05.02.18. — Теория механизмов,
машин и автоматических линий)

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Ворошиловградском машиностроительном институте.

Научный руководитель:

кандидат технических наук, доцент М. П. Семесенко.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор А. А. Грунауэр.

кандидат технических наук, доцент А. К. Мусатов.

Ведущее предприятие — Курское СКБ средств отображения информации

Защита диссертации состоится «18» июня 1984 г.
на заседании специализированного совета К. 053.15.11 Московского
ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции и ордена Трудового Красно-
го Знамени высшего технического училища имени Н. Э. Баумана по ад-
ресу: Москва, 107005, 9

Ваш отзыв в 1
указанному адресу

ать по

С диссертацией
Баумана.

Н. Э.

Автореферат ра

Ученый секретарь
совета, кандида

ЮВ

M417509

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Пишущие машины являются наиболее распространенными в мире средствами массовой механизации труда в сфере управления. Только в СССР выпускается промышленностью в год свыше 300 тыс. пишущих машин; из них с ручным приводом свыше 200 тыс. Однако в основу конструкции печатающих механизмов (ПМ), выпускаемых у нас пишущих машин положены кинематические схемы зарубежных образцов периода 40-х годов, которые не обеспечивают возросших современных требований к качеству ПМ. Поэтому в настоящее время вопрос повышения технического уровня ПМ, снижения затрат энергии оператора, повышения качества и скорости печатания имеет первостепенное значение, что определяет актуальность данной работы.

Все теоретические и экспериментальные исследования как у нас в стране, так и за рубежом, в области ПМ выполнены применительно только к плоским механизмам. Реальный же ПМ представляет собой совокупность 45-ти (или 46-ти) пространственных передаточных шарнирных механизмов, каждый из которых связывает клавишу с соответствующим ей литерным рычагом. Только один - центральный передаточный механизм в ПМ с 45-ю литерными рычагами является плоским механизмом. В ПМ с 46-ю литерными рычагами плоских передаточных механизмов нет.

Решение задачи синтеза ПМ при большом числе параметров и сложных аналитических выражениях для заданной зависимости и ограниченный возможно только с применением ЭВМ. Определение на ЭВМ оптимальных параметров проектируемого изделия дает прямой, значительный по величине экономический и технический эффект. Отечественный и зарубежный опыты показывают, что автоматизированное оптимальное проектирование не только сокращает сроки проектирования и внедрения, но и улучшает качество и эффективность новой техники. Поэтому в решениях XXVI съезда КПСС подчеркнуто, что необходимо "...расширить автоматизацию проектно-конструкторских и научно-исследовательских работ с применением ЭВМ".

ЦЕЛЬ РАБОТЫ. Целью настоящей работы является разработка практических методов автоматизированного оптимального проектирования печатающих механизмов с ручным приводом по всем их 45-ти (или 46-ти) пространственным кинематическим цепям, обеспечивающих на каждой цепи снижение затрат энергии оператора, повышение качества и скорости печатания.

Для достижения поставленной цели в работе были решены следующие задачи:

- построена математическая модель пространственного печатающего

НТБ МГТУ им. Н.Э. Баумана



1417509

Пономаренко С.С. Оптимизация

I



механизма (ППМ), учитывающая такие критерии его качества, как легкость работы, пробивная способность и скорость печатания;

- разработаны методики и алгоритмы, отлажены программы определения передаточных функций ППМ различных конструкций (клавишный рычаг - коромысло, клавишный рычаг - шатун);

- разработаны методика и алгоритмы, отлажена программа определения углов давления ППМ;

- разработан и реализован на ЭВМ метод поиска оптимального решения на математической модели ПМ;

- реализовано на ЭВМ цифровое моделирование ППМ;

- определены параметры ПМ по всем его 45-ти пространственным кинематическим цепям, обеспечивающие на каждой цепи снижение затрат энергии оператора, повышение качества и скорости печатания;

- проведены натурные экспериментальные исследования качества печати и ударной способности ПМ на всех его литерных рычагах.

На защиту выносятся следующие положения:

- математическая модель ППМ, учитывающая такие критерии его качества, как легкость работы, пробивная способность и скорость печатания;

- метод синтеза ППМ на ЕС ЭВМ;

- практические рекомендации по выбору параметров ПМ по всем его 45-ти пространственным кинематическим цепям, обеспечивающих на каждой цепи снижение затрат энергии оператора, повышение качества и скорости печатания.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. В качестве основных методов в работе использованы математическое и цифровое на ЭВМ моделирование, численные методы нелинейной оптимизации, экспериментальные исследования. Вычислительные экспериментальные исследования математической модели ПМ проводились на ЭВМ ЕС-1022, натурные экспериментальные исследования ПМ проводились в условиях Курского СИБ пишущих машин и в Ворошиловградском машиностроительном институте на специально разработанной установке.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА:

- предложена и разработана математическая модель ППМ;

- разработан и реализован на ЭВМ метод синтеза ППМ;

- разработан и реализован на ЭВМ метод анализа (исследование передаточных функций и углов давления) ППМ различных конструкций (клавишный рычаг - коромысло, клавишный рычаг - шатун);

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ. Предложенный метод синтеза, разработанные алгоритмы и программы позволяют решать задачу проектирования рациональных ГМ по всем их 45-ти (или 46-ти) пространственным кинематическим цепям. Предложенный метод анализа, разработанные алгоритмы и программы позволяют дать сравнительную оценку легкости работы и пробивной способности различных ГМ по всем их 45-ти (или 46-ти) пространственным кинематическим цепям.

РЕАЛИЗАЦИЯ РАБОТЫ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ. Результаты диссертационной работы использованы Курским СКБ средств отображения информации (бывш. СКБ пишущих машин) в опытно-конструкторских разработках и при проектировании печатающего механизма новой модели портативной пишущей машины. Суммарная экономическая эффективность от внедрения результатов работы составила 493 тыс.руб.

АПРОБАЦИЯ РАБОТЫ. Основные положения и результаты работы доложены и обсуждены на: I Всесоюзной межвузовской научно-технической конференции "Автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении", г.Ворошиловград, 1973; III республиканской научно-технической конференции "Научные основы проектирования машин и автоматизации производственных процессов", г.Ворошиловград, 1975; Всесоюзной научно-технической конференции "Промышленные роботы и робототехнологические комплексы", г.Киев, 1980; республиканской научно-технической конференции "Молодежь - научно-техническому прогрессу в машиностроении", г.Ворошиловград, 1981; Всесоюзном совещании по проблеме "Современные методы синтеза машин-автоматов и их систем", г.Тамбов, 1981; Всесоюзном семинаре ТММ научного совета АН СССР по теории машин и систем машин, Институт машиноведения им. А.А.Благонравова АН СССР, 1981.

ПУБЛИКАЦИИ. По теме диссертации опубликовано 6 печатных работ.

ОБЪЕМ РАБОТЫ. Работа состоит из введения, шести глав и заключения, изложенных на 137 страницах машинописного текста, списка литературы из 86 наименований и приложений на 87 страницах. Работа иллюстрирована 55 рисунками и графиками.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ. Обзор литературы по печатающим механизмам показал, что все теоретические и экспериментальные исследования как у нас в стране, так и за рубежом, в облас-

В основу конструкции печатающего механизма положен принцип клавиатуры, дающий возможность оперировать сложным механизмом с помощью всех пальцев. Печатание всех литерных знаков происходит в одной определенной точке бумагоопорного вала, что вызывает необходимость веерообразного расположения литерных рычагов. Вследствие этого каждый передаточный механизм, связывающий клавишу с соответствующим ей литерным рычагом, является пространственным механизмом.

В настоящее время в аналитических методах анализа и синтеза пространственных механизмов используются все достижения современного математического аппарата. Практическое использование их стало возможным благодаря ЭЕМ. При этом применение ЭВМ изменило подход к решению этих задач, определив математическое моделирование основой современных методов исследования и проектирования механизмов.

Однако построение математической модели механизма — только первый этап при решении задачи его проектирования. Для реализации цифрового моделирования на ЭВМ необходимо выбрать либо разработать достаточно эффективный метод оптимизации.

В соответствии с вышеизложенным, в работе были поставлены следующие основные задачи:

1. Разработать математическую модель ППМ.
2. Разработать и реализовать на ЭВМ метод поиска оптимума на математической модели ПМ.
3. Разработать и отладить комплекс алгоритмов и программ.
4. Реализовать на ЭВМ цифровое моделирование ПМ и определить его размеры по всем 45-ти пространственным кинематическим цепям.
5. Подтвердить натурными экспериментальными исследованиями работоспособность и улучшенные эксплуатационные качества нового ПМ.
6. Внедрить полученные результаты в производство печатающих механизмов пишущих машин.

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕЧАТАЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ

Передаточная функция печатающих механизмов является основной характеристикой ПМ, влияющей на его динамику, что установлено в работах советских авторов — А.С.Немкевича, Ю.С.Ульянова, Б.И.Новикова. Качество конструкции ПМ определяется легкостью работы, пробивной способностью (количеством качественных оттисков на писчей бумаге) и возможной скоростью печатания. Для обеспечения этих качеств передаточная функция в начале хода клавиши должна иметь

наименьшие значения, по мере опускания клавиши медленно увеличиваться, а в конце хода резко возрасти и достигнуть наибольшего значения. С точки зрения биомеханических свойств руки человека применительно к рабочему процессу печатания на пишущих машинах с ручным приводом для снижения затрат энергии оператора, его утомляемости и повышения производительности труда передаточная функция в начале хода клавиши должна также иметь наименьшие значения.

Для определения передаточных функций пространственных печатающих механизмов различных конструкций (клавишный рычаг – коромысло, клавишный рычаг – шатун) в работе разработаны методики и алгоритмы, отлажены программы на ЭВМ ЕС-1022. При этом, учитывая специфику печатающих механизмов, в качестве передаточной функции взята функция изменения отношения линейных скоростей литеры и клавиши в зависимости от перемещения (хода) клавиши S :

$$\Phi(s) = \frac{V_L(s)}{V_K(s)} = \frac{\omega_L(s) \cdot R_L}{\omega_K(s) \cdot R_K} \quad (I)$$

Методика определения передаточной функции ППМ (рис.1), у которого клавишный рычаг АВ является коромыслом, разработана на основе математических зависимостей, выведенных при решении уравнений замкнутости пространственных векторных контуров. Для определения величины полного хода клавиши S_K механизма применена процедура оптимизации, в которой реализован метод последовательного изменения параметров для функции с одной переменной.

При определении передаточной функции ИПМ (рис.2), у которого клавишный рычаг ВС является шатуном, процедура оптимизации применена трижды: при решении задачи о положениях, в задаче о скоростях и при определении величины хода клавиши S_K . При решении этих задач ведущим звеном условно принято коромысло АВ. При помощи процедур оптимизации на ЭВМ определяются перемещения и скорости этого звена, соответствующие заданным перемещениям и скоростям действительного ведущего звена – клавиши ВС.

По разработанным программам на ЭВМ ЕС-1022 проведен кинематический анализ 1М пишущих машин мод.121-2, Украина-2, ЕК1КА, ОРТ1МА, и ADLER UNIVERSAL, который показал, что кинематические свойства передаточных механизмов, а именно, значения S_K и $\Phi(s)$ по всем кинематическим цепям неодинаковы. На крайних цепях значения $\Phi(s)$ в конце хода клавиши $S = S_K$, резко возрастают. Например, в 1М пишущей машины мод.121-2 в верхнем положении сегмента (нижний регистр) наибольшее расчетное значение хода клавиши S_K (без учета влияния зазоров в соединениях рычагов и тяг) равно 15,51 мм, наи-

Печатающий механизм пишущей машины мод. I2I-2

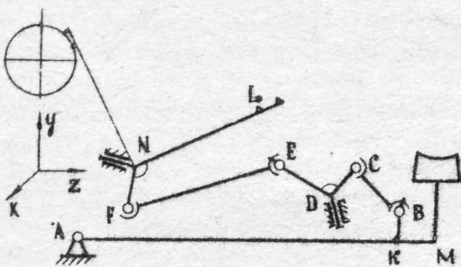


Рис. I

Печатающий механизм
пишущей машины мод. Украина-2

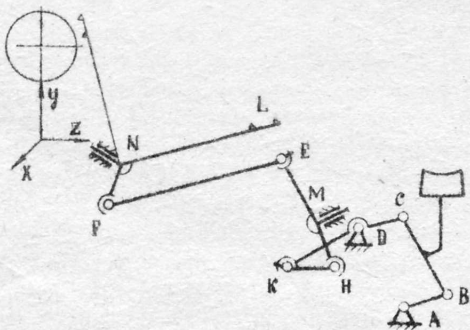


Рис. 2

меньшее — 12,38 мм, т.е. разброс значений δ_k по всем кинематическим цепям составляет 3,128 мм. Значения передаточной функции $\Phi(s)$ при $s = s_k$ на крайней кинематической цепи равно 33,74, на центральной — 21,27, т.е. перепад значений $\Phi(s)$ составляет 12,47. В начале хода клавиши, $s = 0$, значения $\Phi(s)$ по всем цепям находятся в диапазоне 4,02 — 5,4. В ПМ, у которых клавишный рычаг — коромысло, значения $\Phi(s)$ зависят от того, в каком ряду клавиатуры находится соответствующая клавиша, т.е. от длины клавишного рычага.

Сравнительный анализ передаточных функций ПМ портативных пишущих машин мод. I2I-2 и ERIKA и ПМ канцелярских пишущих машин мод. Украина-2, OPTIMA и ABLETT UNIVERSAL показал, что ПМ пишущих машин мод. I2I-2 и Украина-2 по своим кинематическим свойствам уступают ПМ пишущих машин мод. ERIKA, OPTIMA и ABLETT UNIVERSAL, т.к. у них передаточная функция в начале хода клавиши растет значительно быстрее. Это вызывает, при всех прочих равных условиях, резкое возрастание в начале хода клавиши величин приведенных сил сопротивлений, что отрицательно влияет на легкость работы и пробивную способность ПМ.

УГЛЫ ДАВЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ПЕЧАТАЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ

Легкость работы и пробивная способность ПМ зависят от его динамических свойств и, в первую очередь, от условий передачи сил в процессе его работы. Так как каждая кинематическая цепь механизма в структурном отношении состоит из двух (или трех) последовательно соединенных элементарных пространственных шарнирных четырехзвенников, то условия передачи сил в нем зависят от величин углов давления на ведомые коромысла в каждом четырехзвеннике. В работе показано, что в ПМ вследствие пространственного расположения сил величина одного угла давления δ не характеризует полностью условия передачи сил. Для исследования условий передачи сил в механизме, кроме угла давления δ , следует проверять еще один угол — либо угол δ^n , либо угол δ^r (рис.3).

Анализ углов давления ПМ пишущих машин мод. I2I-2 и Украина-2 показал, что с точки зрения условий передачи сил все 45 (46) пространственных передаточных механизмов находятся не в одинаковом положении. Наилучшие условия передачи сил наблюдаются в средних кинематических цепях, где углы давления δ , δ^n , δ^r имеют минимальные

Схема действия сил и углы давления
на ведомое коромысло

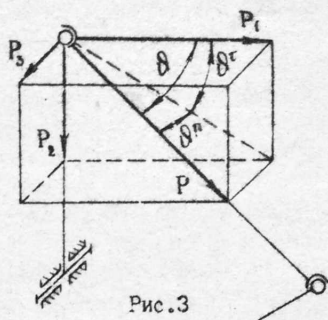


Рис.3

значения. Наихудшие условия передачи сил наблюдаются в крайних кинематических цепях, особенно в шести крайних, т.к. в этих передаточных механизмах резко возрастает углы давления. Во время работы ПМ каждой цепи наибольшие значения всех углов давления наблюдаются в конце хода клавиши, т.е. в момент удара литерного рычага по бумагоопорному валу. Для ПМ, у которых клавишный рычаг – коромысло, значения углов давления в конце хода клавиши зависят от длины клавишного рычага.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕЧАТАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА

Для решения задачи синтеза на ЭВМ в работе разработана математическая модель пространственного печатающего механизма, определены переменные, сформулированы и формализованы критерии качества механизма, перечислены и формализованы ограничения, выведена целевая функция.

Основными критериями качества ПМ приняты требования к характеру изменения передаточной функции каждой цепи механизма, при которых обеспечивается снижение затрат энергии оператора, повышение качества и скорости печатания, а именно:

Передаточная функция в начале хода клавиши должна иметь наименьшие значения, т.е.

$$\Phi_j(s_0, \bar{X}_j) \rightarrow \min, \text{ но при этом } \Phi_j(s_c, \bar{X}_j) \geq 0, \quad (2)$$

где $\Phi_j(s_0, \bar{X}_j)$ – передаточная функция при $s = 0$;

s – скалярный аргумент ее, ход клавишного рычага;

$\bar{X}_j$ - вектор оптимизирующих переменных, независимых параметров j -той цепи ПМ, по которым проводится синтез;
 j - номер кинематической цепи механизма, $j = 1, 2, \dots, 45$.

В начале хода клавиши передаточная функция должна увеличиваться как можно медленнее, т.е.

$$\left. \frac{\partial \Phi_j}{\partial s} \right|_{s=0} \rightarrow \min, \text{ но при этом } \left. \frac{\partial \Phi_j}{\partial s} \right|_{s=0} \geq 0. \quad (3)$$

В конце хода клавиши передаточная функция должна резко возрасти,

$$\left. \frac{\partial \Phi_j}{\partial s} \right|_{s=s_k} \rightarrow \max. \quad (4)$$

При этом передаточная функция должна достигнуть наибольшего значения,

$$\Phi_j(s_k, \bar{X}_j) \rightarrow \max. \quad (5)$$

Так как легкость работы и пробивная способность ПМ зависят от величин углов давлений на ведомые коромысла в каждой его пространственной кинематической цепи, одним из критериев качества ПМ принято требование обеспечить в каждой цепи механизма необходимые величины углов давления. Это требование формализовано в виде ограничений на углы давления в шарнирах С и Г (см.рис.1) в конце хода клавиши

$$(\delta_c)_j |_{s=s_k} < [\delta_c]_j, \quad (6)$$

$$(\delta_g)_j |_{s=s_k} < [\delta_g]_j. \quad (7)$$

Для обеспечения процесса печатания каждый литерный рычаг перед ударом по бумагопоршню валу должен своим выступом удариться об опорное кольцо сегмента. В этот момент, в конце хода клавиши, угол $\varphi_{гн}; (s_k)$ каждого литерного рычага с осью, перпендикулярной плоскости сегмента в точке N качания литерного рычага (см. рис.1) должен достигнуть определенного значения $(\varphi_{гн})_{ком.}$. Это требование к ПМ в его математической модели формализовано в виде

$$|(\varphi_{гн})_{ком.} - \varphi_{гн}; (s_k)| \rightarrow 0. \quad (8)$$

Учитывая требования ГОСТ 8274-78, по которому величина хода каждой клавиши, с учетом влияния зазор в соединениях рычагов и тяг, не должна превышать 18 мм, а также стремясь выравнять значение ходов клавиш по всем 45-ти пространственным передаточным механизмам, одним из критериев качества ПМ в работе принято требование обеспечить минимальное отклонение расчетной величины хода $(s_k)_j$

каждой клавиши от некоторого среднего значения, т.е.

$$|(S_k)_{\text{ср.}} - (S_k)_j| \rightarrow \min. \quad (9)$$

При этом величина хода каждой клавиши не должна выходить за заданные пределы

$$S_{k \min} < (S_k)_j < S_{k \max}. \quad (10)$$

В качестве параметров синтеза (оптимизирующих переменных) в работе приняты независимые параметры

$$(\varphi_{\text{ГН}})_0, \ell_{\text{ГН}}, (\varphi_{\text{БГ}})_0, \ell_{\text{БГ}}, (\varphi_{\text{БС}})_0, \text{ВК},$$

влияющие в передаточных механизмах каждой кинематической цепи на положение шарниров Г, Е, С и В (см.рис.1).

Область допустимых значений параметров синтеза ПМ ограничена из конструктивных и технологических соображений. Поэтому, решением задачи по каждой кинематической цепи является такой вектор $\bar{X}_j$, координаты которого x_{je} удовлетворяют неравенствам

$$x_{1je} < x_{je} < x_{2je}. \quad (11)$$

Как видно, при разработке математической модели ПМ выделены шесть (2,5,8,9) локальных критериев оптимизации и четыре (6,7,10,11) — ограничения. Целевая функция составлена в виде обобщенного критерия, являющегося линейной комбинацией перечисленных критериев с помощью весовых коэффициентов c_{ij} :

$$f_j(\bar{X}_j) = c_{1j} \Phi_j(s_0, \bar{X}_j) + c_{2j} \left. \frac{\partial \Phi_j}{\partial s} \right|_{s=0} + c_{3j} (\Phi_j(s_k, \bar{X}_j))^I + c_{4j} \left(\left. \frac{\partial \Phi_j}{\partial s} \right|_{s=s_k} \right)^I + |(\varphi_{\text{ГН}})_{\text{кон.}} - \varphi_{\text{ГН}j}(s_k)| + |(S_k)_{\text{ср.}} - (S_k)_j|. \quad (12)$$

Вариант передаточного механизма каждой j -той цепи печатающего механизма (точнее его модельное представление) определится, если сформулировать задачу синтеза в виде: Найти вектор $\bar{X}_j, \bar{X}_j \in E^n$, для которого $f_j(\bar{X}_j) = \min f_j(\bar{X}_j)$ при ограничениях

$$(\delta_c)_j|_{s=s_k} < [\delta_c]_j, \quad (\delta_r)_j|_{s=s_k} < [\delta_r]_j, \quad (13)$$

$$S_{k \min} < (S_k)_j < S_{k \max}, \quad x_{1je} < x_{je} < x_{2je}.$$

Так как печатающий механизм представляет собой совокупность 45-ти пространственных передаточных механизмов, то задача синтеза всего механизма состоит в том, чтобы найти матрицу X

$$X = \begin{vmatrix} x_{1,1} & \dots & x_{1,6} & \dots & x_{1,6} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{j,1} & \dots & x_{j,6} & \dots & x_{j,6} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{45,1} & \dots & x_{45,6} & \dots & x_{45,6} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \bar{X}_1 \\ \dots \\ \bar{X}_j \\ \dots \\ \bar{X}_{45} \end{vmatrix}, \quad \begin{cases} j = 1, 2, \dots, 6, \\ j = 1, 2, \dots, 45. \end{cases}$$

РАЗРАБОТКА МЕТОДА НЕЛИНЕЙНОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ И РЕАЛИЗАЦИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОГО СИНТЕЗА ПЕЧАТАЮЩЕГО МЕХАНИЗМА НА ЕС ЭВМ

Задача синтеза j -той цепи ПМ представляет собой задачу нелинейного программирования. Алгоритмы нелинейного программирования требуют использования эффективной процедуры безусловной минимизации. Поэтому в работе реализован, так называемый, универсальный метод безусловной оптимизации (УМО), в основу которого положен алгоритм метода вращающихся координат по Розенброку с модификациями. Так как задача содержит ограничения, то для ее решения в работе объединены метод безусловной минимизации УМО с методом барьерных поверхностей Кэрролла. В результате построен параметрический метод внутренней точки, преобразующий задачу нелинейного программирования в эквивалентную последовательность безусловных минимизаций ряда штрафных функций, образованных путем присоединения к исходной целевой функции функций, задающих ограничения.

Метод Кэрролла основывается на использовании штрафной функции вида

$$F(\bar{X}, RC) = f(\bar{X}) + RC \cdot FF(\bar{X}), \quad (14)$$

где $f(\bar{X})$ — целевая функция, которая в задаче имеет вид (12);

$FF(\bar{X}) = \sum_{i=1}^P \frac{1}{g_i(\bar{X})}$ — штрафная добавка (штраф);

$g_i(\bar{X})$ — ограничения в задаче, имеющие вид неравенств.

Как только хотя бы одна из функций $g_i(\bar{X}) \rightarrow 0$ внутри допустимой области, штраф $FF(\bar{X}) \rightarrow \infty$, т.е. возникает своего рода "барьер".

RC — параметр (штрафной коэффициент), значения которого положительны и образуют монотонно убывающую последовательность

$\{RC | RC^{(0)} > RC^{(1)} > \dots > 0\}$, в результате предельная точка последовательности безусловных минимумов штрафных функций $F(\bar{X}, RC)$ совпадает с безусловным минимумом исходной целевой функции $f(\bar{X})$, и, следовательно, экстремум $F(\bar{X}, RC)$ совпадает с экстремумом $f(\bar{X})$.

Штрафная добавка $FF_j(X_j)$ в задаче синтеза j -той цепи ПМ с учетом (13) и (14) имеет вид

$$FF_j(X_j) = \sum_{i=1}^n (x_{2ji} - x_{ji})^{-1} (x_{ji} - x_{1ji})^{-1} + \\ + (s_{k \max} - (s_k)_j)^{-1} ((s_k)_j - s_{k \min})^{-1} + \\ + ([\vartheta_c]_j - (\vartheta_c)_j |_{s=s_k})^{-1} + ([\vartheta_r]_j - (\vartheta_r)_j |_{s=s_k})^{-1}. \quad (15)$$

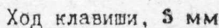
Для нахождения глобального минимума или, хотя бы, локального минимума, близкого к глобальному, при решении задачи оптимизации каждой j -той цепи ПМ в работе применен адаптивный метод поиска минимума, основанный на вычислительных экспериментах. В процессе вычислительных экспериментов, на основе анализа результатов пробных оптимизационных расчетов по каждой кинематической цепи формировалось представление об оптимальном варианте соответствующей цепи ПМ, накапливался опыт, уточнялись значения весовых коэффициентов C_{ij} в целевой функции и начальное значение вектора оптимизируемых переменных $X_j^{(0)}$. Таким образом, решение задачи синтеза печатающего механизма по всем его 45-ти пространственным кинематическим цепям фактически представляет собой совокупность решений 45-ти задач оптимизации, в каждой из которых решена задача синтеза и определены параметры передаточного механизма своей кинематической цепи.

Кинематический анализ полученного нового ПМ показал, что его кинематические свойства по сравнению с исходным ПМ пишущей машины мод. I2I-2 значительно улучшились, а именно, разброс значений хода клавиш уменьшился с 3,128 до 0,139 мм; значения передаточных функций в начале хода клавиш уменьшились, например на крайних ($j=1$) кинематических цепях с 4,628 до 0,001 (рис. 4, а), на центральных ($j=23$) с 4,866 до 0,009 (рис. 4, б); характер изменения передаточной функции каждой цепи улучшился, так, все кривые передаточной функции нового ПМ лежат ниже соответствующих кривых исходного ПМ.

Это позволяет сделать вывод, что в новом ПМ уменьшились в начале хода клавиш величины приведенных масс и приведенных сил сопротивления, что улучшает такие показатели качества ПМ, как легкость работы и его пробивная способность.

Анализ углов давления ϑ_c , ϑ_c^a , ϑ_r , ϑ_r^a на ведомых коромысла в шарнирах С и Г каждой цепи нового ПМ показал, что углы

для крайних и центральных кинематических цепей



Ход клавиши. 5 мм

б - центральная кинематическая цепь ($j = 23$)

13

давления нового ПМ не превышают соответствующих углов давления исходного ПМ; в процессе работы передаточных механизмов каждой цепи как нового, так и исходного ПМ наибольшие значения углов давления наблюдаются в конце хода клавиш; наихудшие условия передачи сил из всех 45-ти передаточных механизмов как нового, так и исходного ПМ наблюдаются в крайних цепях, наилучшие — в центральных.

НАТУРНЫЕ СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ ПЕЧАТАЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ

Для того, чтобы проверить работоспособность и подтвердить улучшенные эксплуатационные качества нового механизма, в работе проведены натурные сравнительные испытания нового и исходного ПМ. Первый этап испытаний на соответствие качества отпечатков требованиям ГОСТ 8274-78 на всех экземплярах оригинала проводился в условиях Курского СИБ пишущих машин. Второй этап испытаний по исследованию ударной способности ПМ на всех литерных рычагах проводился в ВМИ на установке, разработанной и изготовленной в работе.

Анализ результатов испытаний показал, что качество нового ПМ, его пробивная способность и легкость печатания улучшились. Исходный ПМ пишущей машины мод. 121-2 на крайних литерных рычагах №1 (знаки "§" и "+") и №2 (знаки "я" и "й") при воздействии на соответствующие клавиши стальным грузом массой 0,095 кг с высоты 0,15 м (согласно требованию ГОСТ 8274-78) не обеспечивает получение отпечатков даже на первом экземпляре оригинала. Это согласуется с результатами второго этапа испытаний, при воздействии на эти клавиши эталонным грузом на экране осциллографа не возникает электрический сигнал. Новый ПМ на крайних литерных рычагах №1 и №2 при воздействии на клавиши эталонным грузом обеспечивает получение отпечатка на всех экземплярах оригинала. На литерных рычагах №5 (знаки "я" и "й") и №23 (знаки "р" и "Р") значения пиковых напряжений осциллограмм, а следовательно, и величины ударных сил этих литерных рычагов на бумагоопорный вал возросли по сравнению с исходным ПМ соответственно в 1,4 и 1,6 раза.

При анализе результатов исследований ударной способности ПМ на всех литерных рычагах выявлено, что из всех 45-ти кинематических цепей ПМ, наибольшие величины ударных сил литерных рычагов по бумагоопорному валу наблюдаются на центральных цепях. Величины ударных сил уменьшаются по мере удаления соответствующей цепи от центральной цепи механизма, и на крайних цепях достигают наименьшего значения. Для ПМ, у которых клавишный рычаг является коромыслом,

величины ударных сил зависят от того, в каком ряду клавиатуры расположена соответствующая клавиша, т.е. от длины клавишного рычага.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

Проведенные в работе исследования, а также результаты практического внедрения могут быть кратко изложены следующим образом:

1. Построена математическая модель ПМ, определены переменные, сформулированы и формализованы критерии его качества, перечислены и формализованы ограничения, выведена целевая функция. В качестве основных критериев качества ПМ приняты требования к характеру изменения передаточной функции каждой цепи, при которых обеспечивается снижение затрат энергии оператора, повышение качества и скорости печатания. Требование обеспечить в процессе работы каждой цепи ПМ достаточные условия передачи сил формализованы в математической модели в виде ограничений на углы давления.

2. Разработаны методики и алгоритмы, отлажены программы определения передаточных функций ПМ различных конструкций (клавишный рычаг - коромысло, клавишный рычаг - шатун).

3. Разработаны методика и алгоритм, отлажена программа определения углов давления на ведомые коромысла ПМ.

4. Проведен анализ кинематических свойств и углов давления ПМ различных пишущих машин.

5. Разработан и реализован на ЭВМ метод безусловной минимизации УМО, в основу которого положен алгоритм метода вращающихся координат по Розенброку с модификациями.

6. Так как задача оптимизационного синтеза печатающего механизма представляет собой задачу нелинейного программирования при наличии ограничений, то для ее решения объединены метод безусловной минимизации УМО с методом барьерных поверхностей Кэрролла.

7. Решена задача синтеза и определены размеры звеньев печатающего механизма по всем его 45-ти пространственным кинематическим цепям.

8. Проведены натурные сравнительные экспериментальные исследования качества печати и ударной способности нового и исходного ПМ на всех их литерных рычагах, которые показали, что качество нового ПМ, его легкость работы и пробивная способность улучшились.

9. Предложенный метод синтеза ПМ, разработанные алгоритмы и программы использованы Курским СКБ пишущих машин при реальном проектировании печатающего механизма новой модели портативной пишущей машины. Предложенный метод анализа ПМ (исследование передаточных

функций и углов давления), разработанные алгоритмы и программы использованы в опытно-конструкторских разработках Курского СКБ пишущих машин. Суммарная экономическая эффективность от внедрения результатов работы составила 493 тыс.руб.

10. Опыт использования разработанных методов анализа и синтеза в реальном проектировании печатающих механизмов пишущих машин позволяют рекомендовать результаты работы для широкого внедрения в практику проектирования и опытно-конструкторских разработок печатающих механизмов различных машин.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Применение математико-статистических методов к решению задач повышения качества машин и приборов/М.П.Семесенко,С.С.Пономаренко, Е.Г.Кузнецов,М.И.Семенцова.- Автоматизация технологической подготовки производства в машиностроении: Тез.докл. I Всесоюз. межвуз. науч.-техн.конф.- Ворошиловград, 1973, с.213.

2. Оптимизация размеров печатающих механизмов с помощью ЭВМ/М.П.Семесенко,С.С.Пономаренко,М.И.Семенцова,Н.С.Шкуратько.-Научные основы проектирования машин и автоматизации производственных процессов: Тез.докл. III Респ.науч.-техн.конф.-Ворошиловград, 1975,с.201.

3. Пономаренко С.С. Оптимизация параметров пространственных рычажных печатающих механизмов.-Современные методы синтеза машин-автоматов и их систем: Тез.докл.Всесоюз.совещ.-Тамбов, 1981, с.19.

4. Пономаренко С.С. Кинематический анализ плоских рычажных механизмов на ЭВМ.- Конструирование и производство транспортных машин: Респ.межвед.науч.-техн.сб.-Харьков,1981,вып.13, с.110-113.

5. Пономаренко С.С., Прасолов В.Г. Оптимизация параметров пространственных рычажных механизмов на ЕС ЭВМ.- Конструирование и производство транспортных машин: Респ.межвед.науч.-техн.сб.-Харьков, 1982, вып.14, с.100-104.

6. Пономаренко С.С. Кинематический анализ пространственных шарнирно-рычажных механизмов на ЕС ЭВМ.- Конструирование и производство транспортных машин: Респ.межвед.науч.-техн.сб.-Харьков, 1983, вып.15, с.97-103.

