

М236780

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

НЕ ВЫДАЕТСЯ
Н. ДОМ

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

МАРТИРОСЯН Рафаэль Саркисович

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГОРИЗОНТАЛЬНО-РАСТОЧНЫХ
СТАНКОВ МАЛЫХ ГАБАРИТОВ
С УСТРОЙСТВОМ ДЛЯ РАЗГРУЗКИ НАПРАВЛЯЮЩИХ
НА ТОЧНОСТЬ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СТОЛА**

(05.03.01 — «Металлорежущие станки и автоматические
линии»)

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



1236180

Мартиросян Р. С. Исследования

Работа выполнена в МВТУ им. Н. Э. Баумана и Чаренца-
ванском станкостроительном заводе.

Научный руководитель —

доктор технических наук, профессор ШАУМЯН Г. А.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор ПУШ В. Э.

кандидат технических наук, доцент КОСИЛОВА А. Г.

Ведущее предприятие — Закавказский филиал ЭНИМС

Автореферат разослан « »

1974 г.

Защита диссертации состо

на заседании Ученого Совета
организации производства Мо
Трудового Красного Знамен
им. Н. Э. Баумана по адре
ская ул., дом 5.

Ваши отзывы в 2-х экзема
лим выслать по указанному

С диссертацией можно
лица.

Ученый секретарь Со

M236180

Из большого комплекса решаемых в девятой пятилетке научно-технических проблем наиболее важными для станкостроения являются две. Первая - осуществление комплексной механизации и автоматизации в машиностроении. Вторая - всемерное повышение качества выпускаемой продукции, улучшение эксплуатационной надежности и достижение по всем выпускаемым изделиям уровня лучших мировых стандартов.

Одним из основных требований, предъявляемых к современным горизонтально-расточным станкам, является повышение и сохранение длительное время точности обработки. К наиболее важным факторам, влияющим на точность обработки корпусных деталей на расточных станках, относится точность позиционирования поперечного стола, которая складывается из точности его перемещения и точности положения. Точность перемещения характеризуется величиной рассогласования между столом и конечным звеном его привода, чем и определяется погрешность перестановки стола. Рассогласование перемещений поперечного стола возникает из-за наличия резко выраженной неравномерности движения, которое происходит прерывисто, с периодически чередующимися срывами и остановками. Появление неравномерного движения при медленных перемещениях объясняется возникновением самоподдерживающихся колебаний, или релаксационных автоколебаний.

В I главе диссертации дан анализ основных работ посвященных релаксационным автоколебаниям. Показано, что в области изучения автоколебаний накоплены важные сведения о природе их возникновения, зависимостях от различных факторов, и самое главное, о методах их устранения. Накопленный опыт по исследованию автоколебательных процессов является основой для решения практических задач, связанных с повышением точности перемещений столов расточных станков.

Задача обеспечения устойчивости медленных (скользящих) перемещений и точности перестановки узлов расточных станков приобрела в настоящее время особую актуальность в связи со все возрастающими требованиями к качеству обработки корпусных деталей и особенно в связи с развитием автоматизации процессов установки узлов расточных станков на координаты.

Анализ существующих способов повышения точности перемещений столов по направляющим показал, что большинство известных способов до конца не решают поставленную задачу. В этом отношении обнадеживает новый, весьма простой в техническом отношении способ разгрузки направляющих, предложенный Г.А. Шаумяном (авт. свид. № 230606), по принципу которого была разработана конструкция узла разгрузки стола горизонтально-расточных станков малых табаритов. Сущность данного ме-

им Н. З. Баузаид
БИБЛИОТЕКА

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ

тогда разгрузки заключается в том, что большая часть веса стола, постоянно действующего на чугунные направляющие, переносится на пробки. Уменьшение силы трения движения и покоя в направляющих стола, при использовании данной конструкции разгрузки, достигается применением в качестве материала для пробок фторопласта-4, обладающего очень низким и практически постоянным коэффициентом трения при покое и движении ($0,02+0,06$) и, что еще важнее, малым скачком силы трения при переходе от покоя к движению ($0,02$). Кроме того, величина коэффициента трения практически не зависит ни от скорости скольжения, ни от продолжительности неподвижного контакта.

Следовательно, разработанная конструкция разгрузки должна создавать на направляющих поперечного стола расточных станков благоприятные характеристики трения, обеспечивающие повышение равномерности медленных перемещений и точности перестановки столов расточных станков. В работе выделены особо качественные стороны разработанной конструкции разгрузки и показано, что данный метод разгрузки отличается от известных технической новизной, совершенством и простотой применения в современных станках. Целью настоящей работы являлось теоретическое и экспериментальное исследование влияния разработанной конструкции разгрузки направляющих на точность позиционирования стола. Поскольку погрешность перестановки стола расточного станка зависит от характера его перемещения в теоретической части работы ставилась задача, на основе динамического анализа системы "стол-салазка", определить условия устойчивости стола, движущегося по разгруженным направляющим.

Во II главе для проведения динамических исследований системы "стол-салазка" с разгруженными направляющими разработана оригинальная общая методика динамического анализа. Сущность данного метода заключается в том, что динамические исследования осуществляются методом постепенного перехода от конкретного объекта исследования к эквивалентным типовым динамическим моделям. Переход от объекта исследования (О) к схеме динамической системы (СДС), а затем к динамической модели (ДМ) осуществляем введением упрощений в соответствии с принятыми допущениями и ограничениями. Кроме того, при переходе от (СДС) к (ДМ) особо важно сохранить равенство таких существенных показателей, как элементарная работа действующих сил, кинетическая и потенциальная энергии. Математическое описание (ДМ) производится с помощью дифференциальных уравнений, которые в математических символах моделируют механику двигательных-силовых процессов, происходящих в исследуемом объекте. В качестве теоретической основы при динамическом исследовании и определении условий устойчивости системы "стол-салазка" принята гид-

к характеристическому уравнению пятого порядка. Достаточные условия устойчивости дает критерий Рауса-Гурвица.

Для характеристического уравнения пятого порядка имеем (считая $a_0 > 0$)

$$a) D_1 = a_1 > 0; \quad б) D_2 = a_1 a_2 - a_0 a_3 > 0; \quad в) D_3 = a_1(a_2 a_0 - a_1 a_4) + a_5 D_2 > 0;$$

$$г) D_4 = a_1 D_3 - a_5(a_1 a_2^2 + a_5 a_0^2 - a_3 a_2 a_0 - a_1 a_4 a_0) > 0; \quad д) D_5 = a_5 D_4 > 0$$

Выражения D_1 и D_2 при подстановке в них значений a_0, a_1, a_2, a_3 оказываются положительными. Остается потребовать выполнения условий $D_3 > 0$ и $D_4 > 0$. При этом условие д) также будет выполнено, т.е. $D_5 > 0$.

Произведя в D_4 некоторые алгебраические преобразования и учитывая, что $a_1 > 0; a_5 > 0$ окончательно получаем, что необходимо выполнить условие:

$$a_3 > 0; \quad D_4 > 0$$

Так как для станков имеющих чугунные направляющие $C_y \gg C_z$ и $h_y \gg h_z$ сделав ряд допущений: $C_y^k \ll C_y^n, C_y^m \ll C_y; h_z^k \ll h_z^m, h_z^k \ll h_y$ и упростив значения a_i из условия $a_3 > 0$ получим:

$$h_y^k [h_z(C_y + C_y^n) + C_z(h_y + h_y^n) - S_q(f_0 C_y + f_2 C_y^n)] + C_y^n (h_y h_z + m C_z + m C_y) > 0$$

Отсюда первое условие устойчивости:

$$h_z(C_y + C_y^n) + C_z(h_y + h_y^n) > S_q(f_0 C_y + f_2 C_y^n) \quad (I.1)$$

Из условия $D_4 > 0$, проведя ряд преобразований и обозначив $\chi = \frac{D_3}{D_2}$ получим второе условие устойчивости

$$\chi^2 - a_3 \chi + a_1 a_5 < 0$$

Функция $F(\chi) = \chi^2 - a_3 \chi + a_1 a_5$ является обычной параболой (считаем χ — независимой переменной).

Если устойчивое движение возможно, то лишь при условии

$$a_3^2 > 4 a_1 a_5 \quad (I.2)$$

Данное неравенство соответствует требованию положительности дискриминанта. Кроме того, т.к. a_1 и a_5 положительны, то и $\chi > 0$ и $\chi > 0$.

Удовлетворяя условию $a_3 > 0$ не использовано h_y^k . Выполним

(I.2) изменяя h_y^k .

Представим a_3 и a_1 в удобном виде:

$$a_3 = A h_y^k + B; \quad a_1 = C h_y^k + D \quad (I.3)$$

где: $A = h_z(C_y + C_y^n) + C_z(h_y + h_y^n) - S_q(f_0 C_y + f_2 C_y^n);$

$$B = C_y^n (h_y h_z + m C_z + m C_y); \quad C = m (h_z + h_y^m); \quad D = m^2 C_y^n.$$

Подставим (I.3) в (I.2) получим неравенство.

$$\text{График } f(h_y^k) = A^2 (h_y^k)^2 + 2(AB - 2CA_5) h_y^k + B^2 - 4DA_5$$

(левая часть неравенства) представляет собой параболу.

Если дискриминант (Φ) положителен, то в зависимости от знака $AB - 2CA_5$ ось симметрии параболы будет находиться в левой или правой полуплоскости (можно показать, что $B^2 - 4DA_5 > 0$). Анализ показал, что:

1) Если $\Phi < 0$, то условие (I.2) выполняется при любых h_y^k .

2) Если $\Phi > 0$, то условие (I.2) выполняется, если значения h_y^k находятся между нулем и меньшим корнем или больше большего корня уравне-

ния $f(h_y^k) = 0$ (в случае $AB < 2Ca_5$).
 В случае $AB > 2Ca_5$, то (1.2.) выполняется при любом h_y^k (т.к. $h_y^k > 0$).
 3) $\phi = 0$ этот случай можно рассматривать как и 2), считая, что меньший и больший корни совпадают.

Обратим внимание на то, что (1.2) дает достаточное условие для выполнения неравенства $\Phi_y > 0$, только совместно с требованием, что τ попадает между τ_1 и τ_2 . Учет одновременно условий 1), 2), 3) и условия $\tau_1 < \tau < \tau_2$ дает область изменения h_y^k , которая обеспечивает выполнение условия $\Phi_y > 0$ (второго условия устойчивости). Разумеется, возможен случай, когда такой общей области не будет. Значит не будет и устойчивого движения, если хотим его добиться только за счет изменения h_y^k .

В III главе описывается методика экспериментальных исследований. Экспериментальными исследованиями рассматривались основные факторы, полученные из условий устойчивости, влияющие на характер перемещения стола. Методикой предусматривалось осуществление следующих четырех этапов экспериментов: 1. исследование упругих перемещений элементов конструкции узла стола от действия нагрузок и механизмов зажима, 2. экспериментальное исследование влияния параметров разгрузки на характеристики трения в направляющих, 3. установление влияния параметров разгрузки направляющих и жесткости привода на устойчивость перемещений стола при установке на координаты, 4. экспериментальное исследование влияния параметров разгрузки направляющих на точность позиционирования стола.

Все четыре этапа экспериментов подчинены основной цели—определению влияния параметров разгрузки на точность позиционирования стола.

Экспериментальные исследования проводились на расточном станке модели 2615Ф-I с диаметром шпинделя 80мм. Координатные перемещения стола осуществлялись автоматической отсчетной системой с цифровой индикацией установленных координат типа УПУ-13М. Станок имеет три режима работы: "позиционирование", "фрезерование" и "индикация". К станку в различных этапах экспериментирования, в соответствии с задачами исследования, пристраивалась та или иная установка с соответствующей измерительной аппаратурой. Первый этап экспериментального исследования включает: определение влияния степени разгрузки на контактную жесткость направляющих поперечного стола, измерение деформаций поворотного стола и его упругих перемещений относительно салазок, исследование влияния жесткости салазок и механизмов зажима на точность положения стола.

В отличие от существующих методов измерения контактных перемеще-

ний, при которых имеет место статическое нагружение и измерение деформаций в статическом состоянии, при выполнении первого этапа экспериментов применен метод плавного динамического нагружения стола с непрерывным (по нагружению) процессом измерения деформаций. Для этой цели был использован прибор ВЕ-58 "измеритель статических характеристик металлорежущих станков" Вильнюсского филиала ЭНИМС.

Исследование упругих перемещений элементов конструкции узла стола полностью проведено указанным прибором.

Для выполнения второго этапа экспериментальных исследований была изготовлена простая установка, пристраиваемая к концу ходового винта. Для ее использования ходовому винту, при перемещении стола, дается возможность осевого смещения (снят один упорный подшипник в опоре винта). Ходовой винт через шарик передает осевую нагрузку на динамометр сжатия (ДССМ 0,2, либо ДССМ-I в зависимости от величины нагружения стола). Вторым концом динамометр через шарик упирается в короткий неподвижный жесткий винт. На динамометры наклеены проволочные тензодатчики, подключаемые через усилитель 8АНЧ-7М к осциллографу Н-700. С помощью данной установки произведены исследования по определению влияния параметров разгрузки на характеристики трения в направляющих стола при различных скоростях перемещения (режим "фрезерование"), включая и "ползуние" скорости (режим "позиционирование").

Определение влияния разгрузки направляющих на характер перемещения стола (третий этап) осуществлялось регистрацией параметров движения. Смещения стола относительно ходового винта станка регистрировались индуктивным датчиком БВ-844. Корпус датчика закреплялся на специальной бронзовой гайке, которая при вращении ходового винта свободно перемещается по нему синхронно со столом. Сердечник датчика закреплен к столу. Выход датчика подсоединяется к самописцу БВ-662. Выбор данной схемы измерения объясняется возможностью определить влияние разгрузки и жесткости нижних салазок на характер движения стола на больших ходах перемещения. Эксперименты проводились при различных нагружениях стола.

Учитывая, что точность установки столов расточных станков на координаты в значительной степени предопределяется жесткостью привода, исследовалось её влияние на характер перемещения стола при различных параметрах разгрузки. Изменение жесткости привода осуществлялось введением упругих элементов с различной крутильной жесткостью. Тарировка упругих элементов произведена на машине КМ-50, предназначенной для испытания образцов на кручение.

С целью экспериментального исследования влияния параметров раз-

грузки направляющих на точность перестановки стола было изготовлено специальное устройство (четвертый этап). На станине станка неподвижно установлена на кронштейнах специальная рама с точной микрометрической стеклянной оцифрованной линейкой. Отсчет координат производился с помощью микроскопа со спиральным окулярным микрометром. Микроскоп крепится на поперечном столе кронштейном. Получение четкого изображения на всем ходе стола достигнуто точной выверкой линейки по микроскопу как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях. Отсчетный микроскоп использован с горизонтального компаратора ИЗА-2. Точность отсчета $0,0001$ мм. Для повышения точности измерения наводка и отсчет повторялись по пять раз и брались средние значения. К полученному отсчету прибавлялись (алгебраически) поправки штриховой шкалы по ее аттестату.

Необходимо отметить, что разработанная методика предусматривает проведение всех исследований на реальном станке, в отличие от исследований на стендах. Полученные результаты экспериментов будут учитывать действующие на узел стола реального станка факторы: сорт и вязкость смазки, качество обработанных поверхностей направляющих и планок, перекашивающие моменты, качество сборки и др.

В IV главе описаны результаты I этапа экспериментальных исследований. Исследования проведены при центральном нагружении стола плавно изменяющейся нагрузкой от 0 до 1000 кгс и изменении коэффициента разгрузки от $K=0$ до $K=1,0$. Полученные результаты экспериментального исследования влияния параметров разгрузки на контактную жесткость направляющих показывают, что с ростом коэффициента разгрузки значения контактных деформаций увеличиваются, а жесткость стыков направляющих при этом уменьшается. При достижении коэффициентом разгрузки значений $K=1,0$ стол отрывается от направляющих нижних салазок (образуется зазор между направляющими), что недопустимо по причине резкого уменьшения точности положения стола.

Анализ полученных осциллограмм показал, что при всех остальных значениях коэффициентов разгрузки имеет место надежное контактирование поверхностей и отрыв поперечного стола от направляющих нижних салазок не происходит (зазор в направляющих отсутствует). Результаты исследований упругих перемещений в стыке поперечного стола при $K=0,8$ показали, что контактная жесткость, несмотря на указанное выше уменьшение, остается достаточно высокой ($C_y = 69 \cdot 10^4$ кгс/мм). Кроме того, при более высоком значении K (при условии высокой C_y) значительно улучшаются характеристики трения и характер перемещения стола, что должно привести к повышению точности позиционирования. На основе

полученных результатов по контактной жесткости значение $K=0,8$ считаем приемлемым для столов расточных станков малых габаритов.

Исследование упругих перемещений поворотного стола относительно нижних салазок, при центральном воздействии на стол и деформаций самих нижних салазок, при перемещении стола из одного крайнего положения салазок в другое, показали, что поворотные столы и нижние салазки расточных станков малых габаритов имеют недостаточную изгибную жесткость (относительные деформации поверхности стола при этом составляют $0,015\text{мм}$, а деформации нижних салазок $0,03 \pm 0,04\text{мм}$). Необходимо повысить жесткость корпуса нижних салазок, а также уменьшить консольную (выступающую) часть салазки, расширением станины и ее направляющих. Для устранения возникающих при зажиме изгибающих моментов, действующих на салазку, следует улучшить конструкцию механизма зажима. Кроме того, необходимо изменить конструкцию направляющих станины, перейдя от направляющих типа "ласточкин хвост" на прямоугольные. С целью повышения жесткости поворотного стола необходимо повысить отношение высоты (h) стола к его ширине (B). Результаты сравнений показали, что данное отношение у станков малых габаритов (с диаметром шпинделя до 80мм) меньше, чем у других моделей в $1,5 \div 4,2$ раза.

В У главе описаны результаты экспериментальных исследований по определению влияния параметров разгрузки на характеристики трения и характер перемещения поперечного стола. Сила статического трения (покоя) измерялась при изменении коэффициента разгрузки в диапазоне $K=0 \div 1,0$ и удельной нагрузки на направляющие $P=0,37 \pm 1,0 \text{ кгс/см}^2$. Время неподвижного контакта для всей серии экспериментов устанавливалось 10 минут. Смазка направляющих — масло "Индустриальное 30". Результаты экспериментов показали, что разгрузка приводит к уменьшению коэффициента и силы трения покоя во всем диапазоне нагружения стола. Причем, при коэффициенте разгрузки $K=0,8$ имеет место уменьшение силы трения покоя на $11 \div 19\%$, в зависимости от веса детали, устанавливаемой на стол. При разгрузке данным методом и веса детали, сила трения покоя может быть уменьшена до 30% . Однако, сложность разгрузки веса детали заключается в том, что необходимо знать веса обрабатываемых деталей и в каждом случае (соответственно с весом детали) производить регулировку механизма разгрузки. Большой эффект получится при автоматизации данного процесса.

Исследования влияния разгрузки направляющих на силу кинетического трения (трение движения) производились в диапазоне скоростей $V=2,2 \div 365 \text{ мм/мин}$ при режиме "фрезерование" и в диапазоне $V=0,5 \div 1,0 \text{ мм/мин}$ при режиме "позиционирование". Нагрузка на стол изменя-

лась от $0+1000$ кгс. Для обеспечения одинаковых условий экспериментов все измерения силы трения велись на одном и том же участке перемещения поперечного стола. Полученные результаты показывают, что зависимости силы и приведенного коэффициента трения от скорости имеют падающий характер при всех значениях коэффициентов разгрузки. Необходимо отметить, что при скоростях $V=2,1+28$ мм/мин происходит более интенсивное падение силы трения по скорости. При значениях скоростей $V>28$ мм/мин интенсивность падения силы трения резко уменьшается и графики зависимостей $f_{прв}-V$ идут со слабым наклоном или почти параллельно оси абсцисс. В этом интервале скоростей сила трения очень слабо зависит от скорости перемещения. С разгрузкой направляющих интенсивность падения силы трения резко уменьшается именно в диапазоне скоростей $V<28$ мм/мин. Так, например, при неразгруженном столе ($G=0$) величина падения силы трения в указанном диапазоне составила 19,7% в то время как при разгрузке направляющих ($K=0,8$) - всего 7%. Данное явление объясняется тем, что коэффициент трения трущейся пары фторопласт-чугун практически от скорости перемещения не зависит. Такое свойство данной конструкции разгрузки позволяет, при автоматической установке на координаты, переключать перемещение стола с "быстрых" скоростей на более низкие "ползучие" скорости без существенного повышения силы трения. При аналогичном способе установки на координаты стола без разгрузки направляющих такое переключение приводит к резкому повышению силы трения, которое может (при определенных условиях) стать причиной возникновения релаксационных автоколебаний. Исследование влияния степени разгрузки на изменение силы трения в направляющих в 2-х диапазонах скоростей: $V=28+365$ мм/мин и $V=2,1+28$ мм/мин показало, что в первом диапазоне скоростей и средних нагрузках на стол сила трения в среднем от разгрузки ($K=0,8$) уменьшается на $10+14\%$, а в диапазоне $V=2,1+28$ мм/мин - на $14+20\%$. При "ползучих" скоростях ($V=0,5+1,0$ мм/мин) сила трения с разгрузкой, уменьшается в среднем на $20+24\%$. Следовательно, разгрузка направляющих приводит к понижению значений сил трения движения во всем диапазоне скоростей и нагрузок. Причем, разгрузка направляющих стола при "ползучих" скоростях в 2 раза эффективнее, чем при более высоких скоростях перемещения.

При поверхностном рассмотрении полученного условия устойчивости (I.1) видно, что скорость перемещения непосредственно не входит в данное выражение и как будто не влияет на характер перемещения. Однако, более подробное рассмотрение показывает, что влияние скорости движения стола сказывается косвенно, посредством параметров S_d ; S_f и S_N . Как видно из выражения (I.0) данные параметры зависят от всплывания

γ_0 , являющегося нелинейной функцией от скорости движения V . Следовательно, скорость оказывает существенное влияние на характер перемещения стола. Экспериментальные исследования подтвердили сделанные выводы. Установлено, что увеличение V в исследуемом диапазоне приводит к увеличению значения размаха, а, следовательно, и амплитуды колебаний в 1,5-2 раза. Выявлено, что имеются такие значения промежуточных скоростей (в исследуемом диапазоне), после которых с увеличением V происходит убывание амплитуды колебаний (срыв амплитуды). Скорости, при которых происходят срывы амплитуды, имеют различные значения в зависимости от соотношений между параметрами системы стола. Разгрузка направляющих, изменяя некоторые параметры системы, приводит к значительному (в среднем от 2-х до 3-х раз) уменьшению размаха (амплитуды) колебаний стола во всем диапазоне исследуемых скоростей. Причем, с увеличением коэффициента разгрузки плавность перемещений повышается. Разгрузка направляющих, кроме значительного уменьшения амплитуды колебаний, существенно изменяет характер зависимостей амплитуды колебаний от скорости перемещения ($2A-V$). С разгрузкой направляющих исчезают срывы амплитуды колебаний при всех значениях нагружения стола и при всех его положениях на салазках.

До экспериментальных исследований влияния жесткости привода на характер перемещения стола, определено условие, при котором влияние жесткости привода наиболее существенно.

Полученное условие устойчивости (I.1) приведем к виду:

$$\left[\frac{A_2(C_1+C_2^2)}{A_1+A_2} - \frac{A_1A_2(C_1+C_2^2)}{A_1+A_2} \right] + C_2 > 0$$

или, обозначив выражение в квадратных скобках через B получим:

$$B + C_2 > 0$$

Следовательно, влияние жесткости привода на характер перемещения стола имеет существенное значение только при условии $B < 0$, в противном случае (при $B > 0$) система абсолютно устойчива и увеличение жесткости привода не будет оказывать влияния на характер перемещения стола. Если же $B < 0$, то устойчивость системы может быть обеспечена за счет выбора необходимой жесткости привода. Экспериментальные исследования подтвердили полученное условие, при котором влияние жесткости существенно. Экспериментами установлено, что увеличение жесткости привода C_2 (при $K=0$) уменьшает значение амплитуды колебаний при всех скоростях перемещения. При разгруженных направляющих увеличение C_2 не привело к заметному понижению амплитуды колебаний. Это объясняется тем, что с разгрузкой направляющих B возрастает, приближая систему к границе устойчивости и увеличение жесткости при этом уже не оказывает существенного влияния на характер перемещения стола. Следовательно, при разгруженных направляющих возможно обеспечение плавности перемещения стола

при сравнительно низком значении жесткости привода. Исследование влияния жесткости привода на характер перемещения стола при "ползучих" скоростях показало, что разгрузка приводит к резкому уменьшению линейной величины скачков. В среднем разгрузка уменьшает величину скачков от 3 до 10 раз в зависимости от значения жесткости привода и ползучей скорости перемещения. Следовательно, разгрузка наиболее эффективна при ползучих скоростях перемещения, что очень важно для точной автоматической установки стола на координаты.

В VI главе описаны результаты экспериментальных исследований по точности перемещения стола с разгруженными направляющими. Точность установки стола на координаты (Δ) измерялась на половине поперечного хода стола от координаты 0 до 420мм (участок I-I). В свою очередь участок I-I разбит на три исследуемых участка 1, 2 и 3 с промежутками в 140мм. Результаты измерений точности перестановки на другой половине хода стола (участок II-II) показали аналогичную картину с точки зрения влияния разгрузки направляющих на Δ . Однако, обработка полученных результатов была произведена только для участка I-I как для наихудшего, т.к. жесткость салазки, влияющая на точность установки из-за большого вылета, на участке I-I меньше, чем на участке II-II.

Для определения влияния на точность установки только разгрузки направляющих, измерялась Δ при небольших величинах перемещения стола (на 0,3мм) в центральной части салазки (участок 0-0).

Эксперименты проводились при изменении нагрузки на стол в пределах 0-1000 кгс. Установка стола на каждую координату, при различных K, повторялась 18 раз. Результаты экспериментов получены в виде большого набора чисел по погрешности установки, сведенные в таблицы распределения. Для оценки влияния разгрузки направляющих на точность установки и определения характера зависимости Δ от коэффициента разгрузки и номера участка (жесткости салазки) произведена статистическая обработка экспериментальных данных.

Первоочередная задача при статистической обработке полученных результатов - это выявление вида зависимости между переменными величинами - погрешностью установки X_3 (результативный признак) от коэффициента разгрузки X_2 и номера участка X_1 (факториальные признаки).

Установлено, что при малых ходах перемещения стола погрешность установки X_3 находится в корреляционной зависимости только от величины разгрузки X_2 и связь между ними выражается обыкновенными корреляционными уравнениями. При больших ходах перемещения стола случайная величина X_3 зависит от 2-х факторов X_2 и X_1 и связь между ними выражается уже множественными корреляционными уравнениями.

Установление обыкновенных и множественных корреляционных уравнений и аналитическое решение задачи определения коэффициентов этих уравнений произведено способом Чебышева. Определено, что значения корреляционных отношений лежат в пределах $\rho = 0,62 \pm 0,83$, а значения совокупного коэффициента корреляции $\rho_{\text{сов}} = 0,73 \pm 0,9$, что свидетельствует о сильной степени линейной связи между рассматриваемыми признаками X_3 и X_1 ; X_2 . Получены общие выражения по определению Δ при любых значениях нагружения стола. Анализ полученных результатов по точности установки и их статистическая обработка показали, что разгрузка приводит к значительному повышению точности установки для всех случаев нагружения и на всех участках перемещения стола. В среднем разработанная конструкция разгрузки приводит к повышению точности установки стола (при $K=0,8$) в $1,3 \pm 3$ раза. Причем, на краях салазки разгрузка повышает точность установки в $1,3 \pm 1,5$ раза, а в середине до 3-х раз (в отдельных случаях даже до 5 ± 10 раз). На основе полученных результатов, оптимальным значением коэффициента разгрузки, для столов расточных станков малых габаритов, устанавливается $K=0,8$, поскольку данный коэффициент приемлем не только по контактной жесткости, но и по точности установки стола на координаты. Рекомендуемую конструкцию разгрузки направляющих возможно в дальнейшем усовершенствовать введением устройства автоматизирующего процесс разгрузки веса детали, устанавливаемой на стол. Один из предложенных вариантов основан на использовании того фактора, что изменение веса детали приводит, при установочных перемещениях, к изменению силы тока потребляемого электродвигателем подачи, что служит входным сигналом для регулирования процесса разгрузки.

Основные выводы.

1. Для обеспечения плавного перемещения стола по разгруженным направляющим необходимо повышать жесткость привода C_k и увеличить его демпфирование h_k , улучшить микрогеометрию трущихся поверхностей S_k и, самое главное, уменьшить значения приведенного коэффициента трения. Кроме того, при соблюдении определенных условий, можно добиться устойчивости движения изменением демпфирования в компенсаторе механизма разгрузки. Полученные условия устойчивости показывают основные направления решения задачи обеспечения устойчивости установочных движений столов расточных станков.

2. Применением данной конструкции разгрузки значительно улучшаются характеристики трения движения и покоя, которые являются одними из основных факторов, повышающих точность перемещений.

Разгрузка приводит к уменьшению силы статического трения на

II+19%, а силы трения движения (во всем диапазоне исследуемых скоростей) на 10+24%. Причем, с точки зрения улучшения характеристик трения разгрузка в 2 раза эффективнее при "ползучих" скоростях, при которых сила трения уменьшается в среднем на 20+24%, что очень важно, поскольку на этих скоростях осуществляется автоматическая установка стола на координаты.

3. Разработанная конструкция разгрузки позволяет, при автоматической установке стола на координаты, переключать перемещения с "быстрых" ходов на более низкие "ползучие" скорости без существенного изменения значения силы трения, чем предотвращается возможность возникновения релаксационных автоколебаний и повышается точность перестановки.

4. Разгрузка направляющих, изменяя некоторые параметры системы, приводит к значительному уменьшению размаха (амплитуды) колебаний стола. Амплитуда колебаний уменьшается в среднем от 2-х до 3-х раз, в зависимости от величины нагрузки. Кроме значительного уменьшения амплитуды колебаний, разгрузка существенно изменяет характер зависимостей амплитуды колебаний от скорости перемещения. С разгрузкой исчезают срывы амплитуды колебаний при всех значениях нагружения стола.

5. Разгруженные направляющие, во всем диапазоне исследуемых скоростей, могут обеспечить плавность перемещений при сравнительно низких значениях жесткости привода. Существенное влияние разгрузка направляющих оказывает на характер перемещения стола при "ползучих" скоростях и при достаточно высоких значениях жесткости привода. При указанных условиях разгрузка уменьшает величину скачков стола от 4 до 10 раз.

6. Разработанная конструкция разгрузки направляющих приводит к повышению точности установки стола на координаты в среднем от 1,3 до 3-х раз. Причем, наибольший эффект от разгрузки получен при значении $K=0,8$ и при перемещении стола в средней части салазки, где упругие деформации салазок не оказывают существенного влияния на точность установки. Для этой части салазки (при $K=0,8$) достигнуто повышение точности установки в отдельных случаях до 5+10 раз.

7. Оптимальным значением коэффициента разгрузки для столов расточных станков малых габаритов устанавливается $K=0,8$, так как данный коэффициент приемлем не только по точности установки на координаты, но и по контактной жесткости.

8. Поворотные столы и нижние салазки расточных станков малых габаритов не обладают достаточной собственной жесткостью, что влияет на точность обработки. Требуется модернизировать указанные станки с целью повышения жесткости узла "стол-салазка".

9. Разработанную конструкцию разгрузки направляющих возможно в дальнейшем усовершенствовать введением устройства автоматизирующего процесс разгрузки.

Автоматическое устройство позволит произвести одновременно разгрузку как веса стола, так и веса обрабатываемой детали, чем можно обеспечить более повышенную точность позиционирования стола.

Основные результаты работы опубликованы в следующих изданиях:

1. Мартиросян Р.С. Экспериментальное исследование точности положения стола горизонтально-расточных станков малых габаритов. По материалам первого научного семинара молодых специалистов по вопросам станкостроения, посвященного 50-летию ДКСМ Армении.

Вопросы новых технологических процессов и точности металлообработывающих станков. Ереван, 1971.

2. Мартиросян Р.С., Фролов Б.А. Повышение плавности перемещений столов горизонтально-расточных станков малых габаритов. "Промышленность Армении" № 1, 1972.

3. Мартиросян Р.С., Мартиросян Г.М., Фролов Б.А. Методика динамических расчетов системы "стол-салазка" на устойчивость при перемещении по разгруженным направляющим. "Сборник научных трудов Ереванского политехнического института" Том 28, вып.3, 1972.

4. Мартиросян Р.С. Улучшение характеристик трения направляющих столов горизонтально-расточных станков малых габаритов с целью повышения плавности установочных перемещений. "Промышленность Армении" № 1, 1973.

5. Мартиросян Р.С. Исследование нового метода разгрузки направляющих стола горизонтально-расточных станков (IPC) с целью повышения точности его установки на координату. Материалы четвертой республиканской научной конференции молодых научных работников, посвященной 50-летию Ленинского Комсомола Армении, апрель 1971г.