

Ижевский механический институт

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ
РЕЗАНИЯ И ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ
МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Научный редактор
доцент, кандидат техн. наук В.В. Пузанов

Ижевск - 1968

В сборнике трудов кафедры станков и инструментов представлены работы по некоторым вопросам теории и практики обработки металлов резанием таких, как кинематика контактного течения при резании и определение температур в зоне контакта стружки с инструментом, обработка нержавеющей сталей, чугунов по корке и различной по твердости резины.

Рассмотрены некоторые вопросы совершенствования режущего инструмента.

Значительное место занимают работы, посвященные повышению точности станков и исследованию динамических явлений, возникающих при их работе, рассмотрены также некоторые вопросы совершенствования конструкций отдельных узлов металлорежущих станков.

Материалы сборника могут быть интересны инженерно-техническим работникам машиностроительных заводов и научно-исследовательских учреждений.

Н.К.Остроумов, И.П.Потехин,
В.Ф.Иванов

СИСТЕМА ЦИФРОВОЙ ИНДИКАЦИИ ПОЛОЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТА ВЫСОКОТОЧНОГО ТОКАРНОГО СТАНКА

Системы цифровой индикации положения исполнительных органов металлорежущих станков находят все большее применение как у нас, так и за рубежом.

Опыт эксплуатации таких систем показал, что в ряде случаев оснащение обычных универсальных станков системами цифровой индикации значительно повышает их производительность [1, 2].

Существующие системы цифровой индикации по типу применяемых датчиков для измерения перемещения исполнительных органов станков можно разделить на механические, оптические и электрические.

Механические системы состоят, как правило, из ходового винта и лимба, по которому производится отсчет перемещений. Благодаря простоте конструкции, данные системы нашли самое широкое распространение.

К недостаткам их можно отнести небольшую точность отсчета - 0,01 мм и неудобство чтения числа на лимбе.

Оптические системы, основанные на замере положений исполнительного органа по точной линейке с использованием оптических нониусов, обеспечивают разрешающую способность до 0,001 мм и выше. Однако эти системы более сложны и неудобны тем, что место наблюдения жестко связано с положением мерительной линейки на станке, а яркость изображения ограничена из-за опасности тепловых деформаций линейки.

Имеются попытки использования квантовых генераторов для точного измерения положения исполнительных органов станков, но такие системы еще очень сложны и несовершенны [3].

Электрические системы измерения с использованием индуктивных датчиков, несмотря на их сравнительную сложность, обеспечивают высокую разрешающую способность — 0,001 мм [4] и, кроме того, позволяют фиксировать измеряемую величину перемещения на табло, в котором для индикации используются электронные лампы — декастроны. Причем табло возможно установить в любом удобном для рабочего месте, т.к. размеры и яркость цифр на табло позволяют вести наблюдение со значительного расстояния.

Разработанная авторами система цифровой индикации перемещения поперечного суппорта (рис. 1) была применена для высокоточного токарного станка мод. 97ИТ (см. рис. 1*), который предназначен для тонкого точения алмазным, минералокерамическим и твердосплавным инструментом.

Данная система двухотсчетная: для грубого отсчета применена механическая система, а для точного — электрическая.

Грубый отсчет, с точностью до миллиметра, производится нормальным десятичным счетчиком, встроенным в механизм ручной подачи поперечного суппорта, рис. 1. При вращении рукоятки 2, закрепленной на диске 3, через беззазорную цилиндрическую передачу 4 и 5 вращение сообщается ходовому винту 6, который охватывается двумя гайками 7 и 8, соединенными с поперечным суппортом 1. Люфт между винтом и гайками выбирается подтягиванием клиновой вставки 9.

★

См. статью в сборнике Н.К.Остроумова, В.Ф.Иванова, Б.М.Малкина "Тиристорный привод главного движения высокоточного токарного станка".

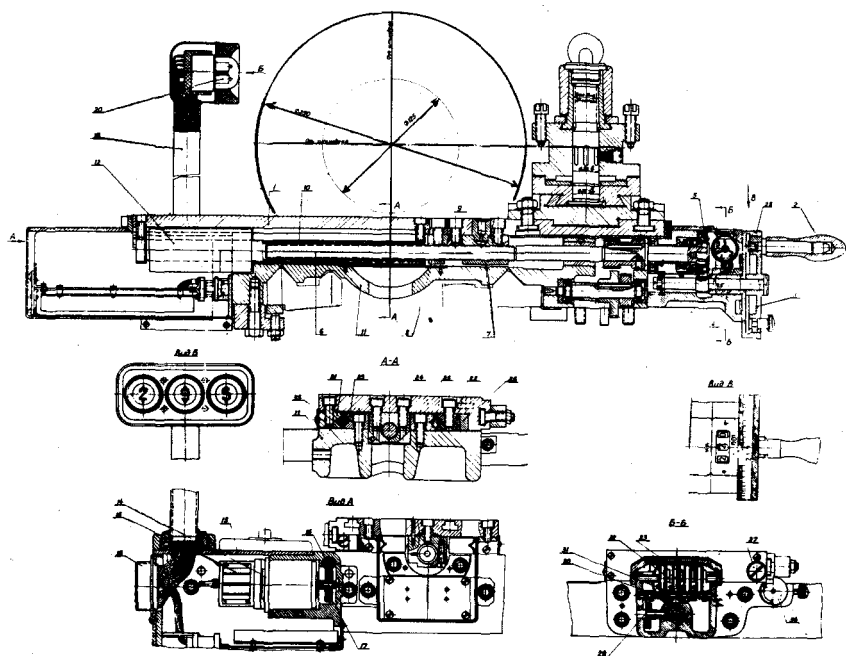


Рис. 1. Конструкция поперечного суппорта
токарного станка мод. 97ИТ.

Поперечный суппорт 1 получает движение по роликовым направляющим 23 и 24, закрепленным на каретке продольного суппорта 11. Предварительный натяг между планкой 21, роликами 35 и направляющей 23, а также между планкой 22, роликами 25 и направляющей 24 осуществляется клином 26.

Вращение на десятичный счетчик при перемещении поперечного суппорта передается от цилиндро-конической шестерни, нарезанной на лимбе 28, на колеса 29 и 30, которые вращают через специальные передачи 31 и 32 диски 33 счетчика. Цифры, нанесенные на периферии дисков 33, читаются в окне, расположенном около рукоятки 2 (рис.1, вид В).

Например, число 220, прочтенное на счетчике, означает, что инструмент настроен на диаметральный размер обрабатываемой детали, равный 220 мм.

Точный отсчет положения суппорта в пределах 1 мм, с ценой отсчета 0,001 мм, осуществляется системой электронной цифровой индикации. Величина перемещения суппорта фиксируется на трехразрядном световом табло 20, которое закреплено на стойке 19 к каретке 11 продольного суппорта. Число 295 на табло (рис.1, вид Б) читается как 0,295 мм.

В качестве датчика точного отсчета применяется линейный фазовый датчик, который состоит из стального двухзаходного полого винта 10, прикрепленного к поперечному суппорту 1, и диэлектрической втулки 12, закрепленной на каретке 11. Между винтом и втулкой имеется воздушный зазор Δ .

Электрическая схема линейного датчика с однофазной запиткой показана на рис. 2. Первичная обмотка выполнена в виде проводников, уложенных в канавки двухзаходного винта и соединенных последовательно.

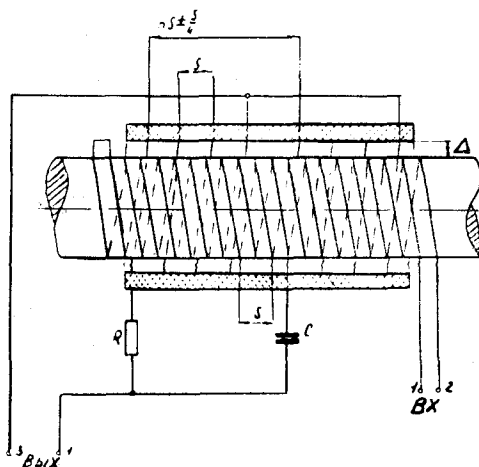


Рис. 2. Электрическая схема линейного фазового датчика положения.

Вторичная обмотка выполнена на втулке, охватывающей винт, и состоит из двух секций, смещенных относительно друг друга на четверть оборота. Обе секции сое-

динены последовательно и нагружены на цепочку RC . Если выполнено условие $\omega RC = 1$, то выходной сигнал имеет вид

$$U = U_0 \cdot \cos\left(\omega t + \frac{2\pi}{S} \cdot X\right),$$

где S — шаг датчика в мм;

X — относительное перемещение винта и катушки в мм;

ω — круговая частота питающего датчик тока.

Таким образом, фаза выходного сигнала датчика, снимаемого с RC — цепочки, изменяется по линейному закону в функции пути.

Непосредственно около датчика к каретке 11 продольного суппорта (рис.1) крепится электронный блок 13, в котором размещаются: усилитель датчика положения (УДП), формирователь импульсов длительности (ФИД) и синусно-косинусный вращающийся трансформатор (СКВТ) для установки нуля. Остальная аппаратура смонтирована в отдельном электронном блоке размерами (800 x 500 x 500), который устанавливается рядом со станком и подключается разъемом 18.

Совпадение отсчетов двух систем при настройке можно осуществлять двумя способами: за счет поворота лимба 28 грубого отсчета без вращения ходового винта, и за счет смещения нуля точного отсчета, при повороте СКВТ установки нуля 14. Поворот СКВТ осуществляется ручкой 34, через червяк 16 и червячное колесо 17.

Погрешности измерения системы точного отсчета во многом зависят от погрешности датчика, которые можно разделить на две группы:

- а) циклические в пределах одного шага резьбы;
- б) накопленные на всей длине измерения.

Циклические погрешности в большей степени зависят от присутствия высших гармоник в выходном сигнале. Эти погрешности могут быть до некоторой степени скомпенсированы. Третья гармоника по перемещению, например, легко компенсируется при изготовлении вторичной обмотки из двух секций со сдвигом на угол $\frac{\pi}{3}$.

Амплитуды высших гармоник зависят от шага резьбы винта, величины зазора между обмотками Δ , формы зубьев винта и других факторов [5].

Накопленные погрешности зависят от погрешности нарезки резьбы винта и температурных деформаций датчика.

Из-за большой длины катушки датчика, погрешности винта в пределах одного шага и на длине катушки усредняются, а в отсчет переносится только накопленная погрешность винта датчика.

Погрешности от температурных деформаций можно уменьшить до необходимой величины, выбрав небольшой ток запитки датчика.

Значительное влияние на точность датчика оказывает шаг намотки. С уменьшением шага намотки максимальные погрешности в пределах одного шага уменьшаются. В табл.1 показаны результаты измерения точности датчиков с различным шагом.

Таблица 1

№ п/п	Шаг датчика, мм	Максимальная погрешность шага в микр.
1	10,25	± 8
2	5,12	± 4
3	2,56	$\pm 2,5$
4	2,00	$\pm 1,5$
5	1,00	$\pm 1,0$

На станке установлен датчик с шагом 1,00 мм, т.к. дальнейшее уменьшение шага затруднительно.

Схема замера положения суппорта с использованием этого датчика показана на рис. 3. Г - генератор импульсов, стабилизированный кварцем; ФИЗ - формирователь

синусоидальных колебаний для запитки датчика; ДП - датчик положения; УДП - усилитель датчика, повышающий уровень сигнала после него; СКВТ - фазовращатель для ручной установки нуля; ФИД - формирователь импульсов и ФИ - измеритель фазы с цифровой индикацией. Измеритель фазы сравнивает фазу генератора Г с фазой сигнала после ДП и СКВТ и выдает значение разности фаз.

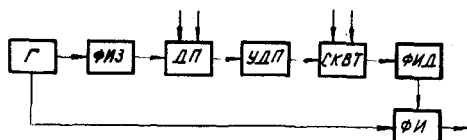


Рис. 3. Блок-схема измерения положения поперечного суппорта.

Непосредственный цифровой отсчет получил большое распространение в различных приборах для контроля электрических параметров: напряжения, разности фаз, сопротивления и т.д.

Принцип таких приборов основан на том, что эти параметры предварительно преобразовываются во временной интервал между двумя сериями импульсов, который и измеряется. Разность фаз уже есть временной интервал и не требует преобразования. На рис. 4 показан принцип цифрового измерения фазы. Генератор импульсов Г, с частотой следования значительно большей, чем частота измеряемых импульсов, подает сигнал на селектор Сел, который пропускает их в счетчик только при положении триггера Т на 1. Триггер Т с двумя входами записывается измеряемыми сигналами. Временная диаграмма показывает, что на отрезке времени $\mathcal{Y}_1 - \mathcal{Y}_2$, пропорциональном сдвигу фазы селектор пропускает импульсы в счетчик, который их и считает. По числу импульсов в одной пачке и получается отсчет на счет-

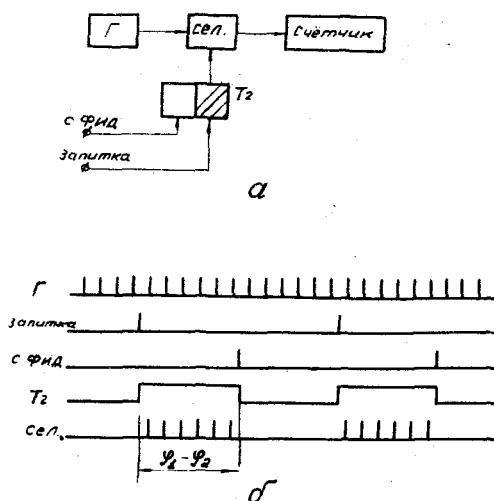


Рис. 4. Принцип цифрового измерения фазы:

- а) блок-схема;
б) временная диаграмма.

чике. Разрешающая способность по фазе такого счетчика равна

$$\Delta A = \frac{F(\varphi_{\max} - \varphi_{\min})}{f},$$

где F - частота измеряемого сигнала;
 f - частота задающего генератора;
 $\varphi_{\max} - \varphi_{\min}$ - предел измерения фазы.

В этом случае при разрешающей способности системы 0,001 мм и шаге винта 1 мм разрешающая способность по фазе будет

$$\Delta A = \frac{0,001 \cdot 360^\circ}{1,000} = 0,36^\circ,$$

так как $\varphi_{\max} - \varphi_{\min} = 360^\circ$.

Оптимальная частота запитки датчика установлена 10 кгц, тогда $f = \frac{360^\circ - 0^\circ}{0,360^\circ} \times 10 \text{ кгц} = 10 \text{ мгц}.$

Таким образом, при частоте измерительного генератора 10 мгц и частоте запитки датчика 10 кгц мы получили необходимую разрешающую способность системы в 0,001 мм.

При практической реализации такой системы измерения на станке возник ряд затруднений, связанных с наличием паразитных сигналов, наводок и вибраций, что приводило к неустойчивой работе счетчиков и индикации в непрерывном режиме измерения. Для устранения вышеуказанных погрешностей была применена схема усреднения измерения и схема устранения краевого эффекта.

Сущность работы силы усреднения заключается в том, что производится многократное измерение временного интервала с периодической выдачей на запоминающий регистр усредненного результата замеров. Это происходит за счет включения в схему устройства счетчика числа циклов работы селектора и промежуточного делителя в цепь "селектор-основной счетчик".

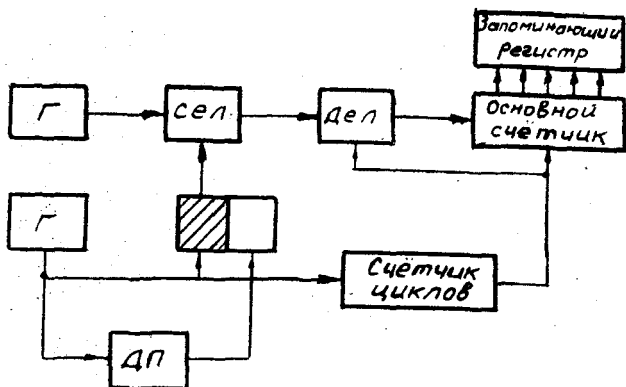


Рис. 5. Блок-схема усреднения.

Работа схемы усреднения (рис.5) происходит следующим образом. На вход основного счетчика поступают пакки импульсов, модулированные по длительности в соответствии с положением фазового датчика. Перенос информации со счетчика в запоминающий регистр осуществляется выходным импульсом счетчика циклов работы селектора, т. е. после поступления на вход основного

счетчика N пачек импульсов, где N — емкость счетчика циклов. В этот же момент осуществляется сброс основного счетчика и промежуточного делителя в нулевое состояние, т.е. происходит подготовка к следующему циклу измерения.

Если коэффициент деления промежуточного делителя равен емкости счетчика циклов, то на вход основного счетчика поступит среднее арифметическое значение числа входных импульсов генератора каждого цикла работы селектора.

Для обеспечения устойчивости показаний на цифровом табло необходимо соблюдение двух условий: во-первых, емкость счетчика циклов должна превышать максимальный разброс числа выходных импульсов селектора за каждый цикл его работы, во-вторых, промежуток времени, в течение которого происходит усреднение, должен превышать период флуктуаций выходного сигнала датчика. В системе оказалось возможным установить емкость счетчика равным 100 импульсов (2 декады), т.е. производить усреднение ста измерений.

Для устранения краевого эффекта, т.е. слабой разрешающей способности отсчета в узловых точках, когда сдвиг фазы равен 0° , служит схема (рис.6). Принцип ее работы основан на искусственном увеличении длительности стробирующего импульса, поступающего на селектор, на постоянную величину путем включения промежуточных делителей в цепь "источник сигнала запитки датчика — селектор" и в цепь "датчик положения — селектор". За счет этого длительность стробирующего импульса меняется только на часть своей величины, обеспечивая гарантированную длительность временного интервала, в течение которого импульсы задающего генератора проходят на основной счетчик. Это позволяет существенно увеличить разрешающую способность в узловых точках, тем самым получить устойчивые показания на цифровом табло при измерении перемещений, превышающих цену оборота фазы датчика. Работа схемы устранения краевого эффекта (рис.6) происходит следующим образом.

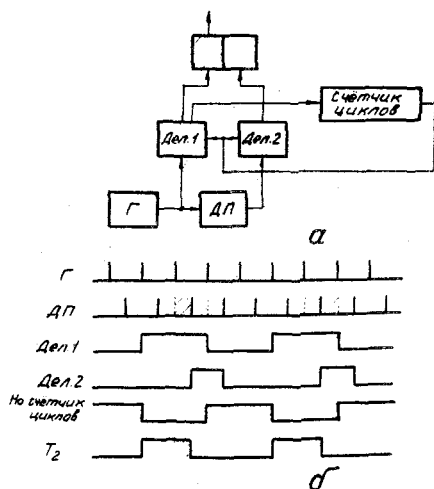


Рис. 6. Схема устранения краевого эффекта:

а) блок-схема;

б) временная диаграмма для
 $K=4; \quad i=2; \quad j=3; \quad p=4.$

Селектор открывается в момент прихода на промежуточный делитель 1 i -го импульса запитки датчика и закрывается в момент прихода на делитель 2 j -го импульса с выхода датчика. Число импульсов, прошедшее на вход основного счетчика, равно

$$N = \frac{Y_0 + Y_{j-i}}{T_r} = \frac{Y_0}{T_r} + \frac{Y_{j-i}}{T_r} = N_y + N_{const},$$

где Y_0 - сдвиг фаз, вносимый датчиком;
 Y_{j-i} - постоянный сдвиг фаз между i и j импульсами;
 T_r - период следования импульсов задающего генератора;
 N_y - число импульсов, пропорциональное положению датчика, меняющееся от 0 до $N_{y_{max}}$,
 N_{const} - постоянная величина, равная $\frac{Y_{j-i}}{T_r}$.

Число импульсов P подсчитывается основным счетчиком. Импульс на вход счетчика циклов поступает в момент прихода на делитель 1 $P-20$ импульса запитки датчика. Если емкость основного счетчика равна $P_{y_{max}}$, то из P импульсов P_{const} импульсов будет являться переполнением основного счетчика и в запоминающий регистр переноситься не будет, туда будет занесено число, равное P_y , пропорциональное положению датчика.

Для обеспечения нормальной работы схемы устранения краевого эффекта необходимо соблюдение следующих соотношений:

$$j-l \geq 1; (k+l)-j \geq 2; j \leq p \leq k,$$

где $k \geq 3$ - емкость промежуточных делителей 1 и 2.

В системе установлены промежуточные делители с $K=10$ (одна счетная декада).

Система цифровой индикации положения поперечного суппорта станка мод. 97ИТ (рис. 7) работает следующим образом.

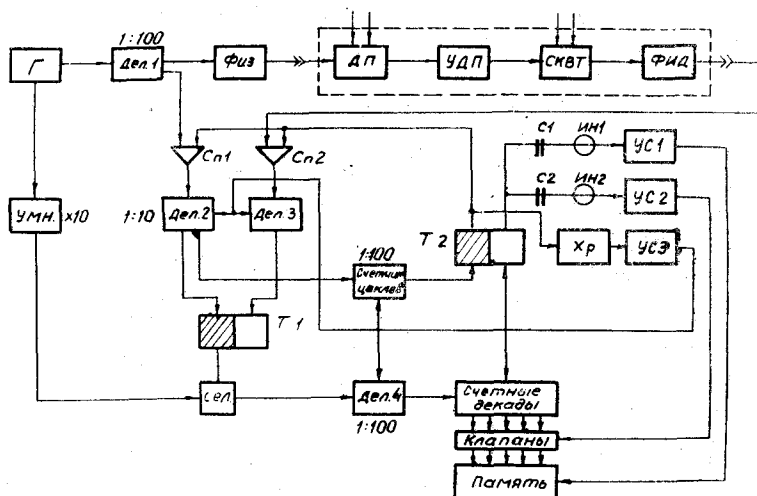


Рис. 7. Блок-схема системы цифровой индикации токарного станка мод.97ИТ.

Кварцевый генератор Г выдает кварцованную частоту 1 мгц, которая поступает на делитель 1 и умножитель частоты на 10. С выхода умножителя частоты прямоугольные импульсы частотой 10 мгц поступают на вход селектора. С выхода делителя 1 импульсы частотой 10 кгц поступают на формирователь импульсов запитки датчика (ФИЗ) и схему совпадения Сп 1. С ФИЗ мощные импульсы частотой 10 кгц поступают на вход датчика положения ДП, с выхода которого снимается синусоидальный сигнал, усиливается на усилителе датчика УДП и поступает на СКВТ установки нуля, а с него - на формирователь импульсов ФИД. С выхода формирователя импульсы датчика поступают на схему совпадения Сп 2.

Работу схемы удобнее всего рассматривать с момента окончания импульса сброса.

Счетные декады, делители 2, 3, 4, счетчик циклов, триггеры T_1 и T_2 находятся в нулевом состоянии. С единичного выхода триггера T_1 снимается отрицательный потенциал, который запирает селектор. Отрицательным потенциалом, снимаемым с единичного выхода триггера управления T_2 , схемы совпадений Сп 1 и Сп 2 открыты, а хронизатор удерживается в ждущем режиме.

Импульсы запитки датчика, частотой 10 кгц, поступающие на схему совпадения Сп 1 с делителя 1, проходят на делитель 2, а с его выхода - на запускающий вход триггера T_1 и на счетчик циклов. Импульсы с ФИД проходят через схему совпадения Сп 2 на делитель 3, а с его выхода на вход срыва триггера T_2 . Делители 2 и 3 представляют собой схему устранения краевого эффекта, о которой было сказано выше. Триггер T_1 формирует стробирующий импульс, длительность которого пропорциональна разности фаз между импульсами запитки и импульсами ФИД. При поступлении строб. импульса на управляющий вход селектора, последний открывается и импульсы частотой 10 мгц проходят на счетные декады.

Число импульсов, поступивших на запуск триггера, считается счетчиком циклов, импульсом переполнения которого триггер управления T_2 перебрасывается в единичное состояние. С единичного выхода триггера T_2 снима-

ется потенциал, близкий к нулю, которым закрываются схемы совпадений Сп 1 и Сп 2. Импульсы запуска и срыва на T_1 не поступают, селектор закрывается и поступление импульсов на счетные декады прекращается. Этим же потенциалом хронизатор переводится в автоколебательный режим.

Отрицательный перепад с нулевого выхода триггера дифференцируется и поступает на устройство деформирования импульсов сброса памяти УС1 и устройство формирования импульсов переноса УС2. Так как емкость конденсатора С1 меньше емкости конденсатора С2, то длительность импульса переноса больше длительности импульса сброса памяти, который кончается раньше, в результате чего происходит перенос информации из счетных декад в память. Время переноса информации равно 600 миллисекундам. На это время индикаторы памяти гаснут. Однако глаз не замечает мелькания даже при небольшой периодичности измерений (10 герц).

После окончания одного периода колебаний хронизатор выдает импульс на узел сброса УС3, который вырабатывает мощный импульс отрицательной полярности. Импульс сброса устанавливает в нулевое состояние счетные декады, делители 2, 3, 4, счетчик циклов и триггер управления T_2 . Начинается новый цикл измерения.

Таким образом, применение схемы усреднения и схемы устранения краевого эффекта в электрической части системы цифровой индикации токарного станка мод. 97ИТ, а также использование для поперечного суппорта направляющих качения с предварительным натягом, качественное изготовление всех элементов системы, удачное расположение датчика, СКВТ, усилителей, изолированных от зоны обработки, позволило получить стабильную работу системы с разрешающей способностью 0,001 мм и сократить время, потребное для точной настройки инструмента на диаметральный размер обрабатываемых деталей.

Л и т е р а т у р а

1. *American Machinist* 1967, т.9, стр.5.
2. *Spirer Herbert F., Edwards Richard C.*
Digital readout devices.
Electromech. Design. 1967, 11, №1.
3. *Mansion D.* *Interféromètre à Laser*
pour machines-outils de précision.
Inter électron, 1967, 22, №1.

4. И.И.Княжицкий, М.П.Рашкович, Индуктивные проходные преобразователи в станках с программным управлением. М., Машгиз, 1962.

5. А.К. Клименко и А.А.Фарафонов, Линейный фазовый датчик и способы повышения его точности. "Станки и инструмент", № 6, 1967.