

Климанов Михаил Михайлович

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ
НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ
ТОЧНОСТИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

Специальности

05.02.07 Технология и оборудование механической и физико–технической
обработки

05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (в машиностроении)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2010

Работа выполнена
на кафедре «Стандартизация и сертификационные испытания техники»
Государственного образовательного учреждения
Высшего профессионального образования
Московский государственный технологический университет «Станкин»
(ГОУ ВПО МГТУ «Станкин»)

Научный руководитель: кандидат технических наук, профессор
Юркевич Владимир Васильевич

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Тимирязев Владимир Анатольевич

кандидат технических наук, профессор
Набатников Юрий Федорович

Ведущее предприятие: Государственный научный центр РФ
ОАО НПО «ЦНИИТМАШ»

Защита диссертации состоится «__» _____ 2010 г. в ___ часов ___ минут
на заседании диссертационного совета Д212.142.01 в ГОУ ВПО МГТУ
«Станкин» по адресу: 127994, ГСП–4, Москва, Вадковский пер., д. 3а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГОУ ВПО МГТУ
«Станкин».

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью
учреждения (организации), высылать по указанному адресу в диссертационный
совет Д212.142.01.

Автореферат разослан «__» _____ 2010 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат технических наук

М.А. Волосова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Стремительно возрастающая роль систем контроля и технического диагностирования обусловлена постоянным повышением уровня автоматизации технологических процессов и усложнением управления этими процессами. Встроенные автоматические системы контроля и диагностирования становятся обязательной частью большинства сложных машин, поэтому разработка таких систем является важной задачей.

При изготовлении высокоточных деталей и деталей высокой стоимости особо важно исключить брак, который приносит значительные материальные потери. А это значит, что в процессе обработки таких деталей необходимо получать информацию, которая будет характеризовать состояние технологического процесса обработки и показатели точности, которые будут получены, когда деталь будет окончательно обработана.

В настоящее время для достижения необходимой точности изготовления деталей разработаны критерии работоспособности токарных станков, которые регламентируются государственными стандартами и другой технической документацией. Основными критериями работоспособности станка по обеспечению требуемой точности являются: геометрическая и кинематическая точность, статическая жесткость, точность позиционирования, теплостойкость, вибростойкость, износостойкость, а также другие критерии. Однако даже в случае, когда значения указанных критериев будут отвечать требованиям стандартов, не гарантируется изготовление детали, полностью соответствующей требованиям рабочего чертежа.

В связи с этим актуальным становится повышение точности изготавливаемых деталей в технологических процессах механической обработки с использованием автоматических систем контроля и технического диагностирования.

Цель работы. Повышение точности изготовления деталей в процессе токарной обработки на основе автоматической системы контроля точности траекторий формообразования с элементами технического диагностирования, позволяющей использовать имеющееся технологическое оборудование для достижения требуемого качества.

В соответствии с поставленной целью в работе решались следующие задачи:

1. Разработка алгоритмических и математических моделей для расчета показателей точности изготавливаемых деталей в процессе токарной обработки;
2. Разработка программного математического обеспечения для реализации разработанных моделей и автоматической системы контроля точности с элементами технического диагностирования;
3. Проведение экспериментальных исследований на реальном токарно-винторезном станке, который оснащен автоматической системой контроля точности с элементами технического диагностирования, при реальной обработке заготовки и в реальном времени.

Научная новизна работы состоит в:

- алгоритмах расчета регламентированных показателей точности изготавливаемых деталей в процессе токарной обработки с использованием метода измерения формообразующих траекторий, построения на их основе геометрического образа в поперечном и продольном сечении детали и расчета по нему прогнозируемых показателей точности;
- корреляционных зависимостях между показателями точности (погрешность размера, отклонение от круглости, овальность, радиальное биение) изготавливаемых деталей при токарной обработке, которые позволяют выбрать оптимальное соотношение между отдельными показателями точности, полученных с использованием метода измерения формообразующих траекторий токарного станка;
- алгоритмах автоматического контроля и технического диагностирования состояния технологической системы, базирующихся на цифровой обработке дискретных измерительных сигналов и реализованных в специализированном программном математическом обеспечении «Архимед», входящем в состав автоматической системы контроля точности с элементами технического диагностирования;
- вихретоковой пятиканальной автоматической системе контроля точности траекторий формообразования при токарной обработке с элементами технического диагностирования параллельного типа, реализующей одновременное выполнение функций автоматического контроля, измерения и технического диагностирования и обеспечивающей повышение качества изготавливаемых деталей.

Практическая ценность работы состоит в:

- рекомендациях по оснащению токарных и токарно-винторезных станков автоматической системой контроля точности токарной обработки с элементами технического диагностирования, предназначенной для повышения точности изготавливаемых деталей;
- специализированном программном математическом обеспечении «Архимед», обеспечивающем применение в процессе токарной обработки автоматической системы контроля точности траекторий формообразования с элементами технического диагностирования;
- повышении точности за счет использования в процессе токарной обработки на токарных и токарно-винторезных станках автоматической системы контроля точности с элементами технического диагностирования и устройства определения показателей точности при токарной обработке.

Методы исследования. При исследовании применялись методы технологии машиностроения, теории резания, математической статистики, линейной алгебры, аналитической геометрии и теории эксперимента.

Реализация работы. Автоматическая система контроля точности токарной обработки с элементами технического диагностирования внедрена на ОАО «МЭЛ». Получен патент на полезную модель №78721 «Устройство определения показателей точности при токарной обработке».

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на:

1. научно-технической конференции «Машиностроение – традиции и инновации» (МТИ–08), ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», г. Москва, ноябрь 2008 г.;
2. I всероссийском конкурсе молодых ученых имени академика В.П. Макеева, г. Миасс, сентябрь 2009 г.;
3. XII научной конференции МГТУ «Станкин» и «Учебно-научного центра математического моделирования МГТУ «Станкин» – ИММ РАН», г. Москва, май 2009 г.

Публикации. По материалам выполненных исследований и разработок опубликовано 8 печатных работ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, основных выводов, списка используемой литературы и приложений. Содержание диссертации изложено на 145 страницах машинописного текста, содержит 96 рисунков, 12 таблиц, список литературы включает в себя 103 наименования.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дается общая характеристика работы, обосновывается ее актуальность, научная новизна и практическая значимость.

В первой главе анализируется состояние вопроса, дается обзор научных исследований, которые послужили базой для настоящей работы. Сформулированы цель и задачи работы.

Общими вопросами точности обработки занимались Д.Н. Решетов, В.А. Кудинов, В.С. Корсаков, В.Г. Старостин, С.П. Троненский, В.Г. Головатенко, Ю.И. Городецкий, Б.М. Дмитриев, И.А. Шумейко и другие.

Исследованиям в области технического диагностирования токарных станков посвящены работы И.А. Биргера, П.П. Пархоменко, Ю.С. Аполлонова, С.Н. Григорьева, Ю.Г. Кабалдина, А.М. Шпилева, Е.Г. Нахапетяна.

Вопросы измерения и использования траекторий формообразующих элементов токарного станка с целью оценки точности изготовления деталей были развиты в работах А.П. Соколовского, Б.С. Балакшина, Б.М. Базрова, Ю.М. Соломенцева, В.А. Тимирязева, А.Г. Схиртладзе и В.В. Юркевича.

Б.С. Балакшин и Б.М. Базров сняли траекторию оси шпинделя на токарно-винторезном станке с использованием промышленной аппаратуры.

В.В. Юркевич произвел снятие траекторий оси детали и вершины резца для токарного станка и разработал запатентованную методику расчета и построения геометрического образа изготавливаемой детали.

Вторая глава посвящена разработке алгоритмических и математических моделей для расчета показателей точности при токарной обработке с использованием системы для проведения измерений траекторий формообразования. На рис. 1 представлена система для проведения измерений траекторий формообразования, которая была установлена на токарно-винторезном станке ТВ–7. Она состоит из измерительной части, платы 13

ввода–вывода информации и компьютера 14. Измерительная часть, в свою очередь, состоит из датчика, фиксирующего угол поворота шпинделя 11, датчиков 6 и 2, фиксирующих траекторию оси детали, и датчиков 10 и 4, фиксирующих траекторию перемещения вершины резца. В качестве датчика 11 угла поворота шпинделя использовался преобразователь угловых перемещений ЛИР–158А. Принцип его действия основан на фотоэлектронном сканировании штриховых растров. В качестве осветителей используются инфракрасные светодиоды, а приемниками излучения служат кремниевые фотодиоды. Датчик ЛИР–158А через упругую муфту соединяется с левым торцом шпинделя. На выходе из датчика используются два сигнала: базовая метка и референтная метка. Сигнал базовой метки выдает всплеск один раз за оборот шпинделя и служит для расчета частоты вращения шпинделя и используется при обработке сигналов от датчиков перемещения 2, 4, 6, 10. Сигнал референтной метки выдает всплеск 200 раз за один оборот шпинделя и служит для текущего считывания показаний датчиков перемещения 2, 4, 6, 10.

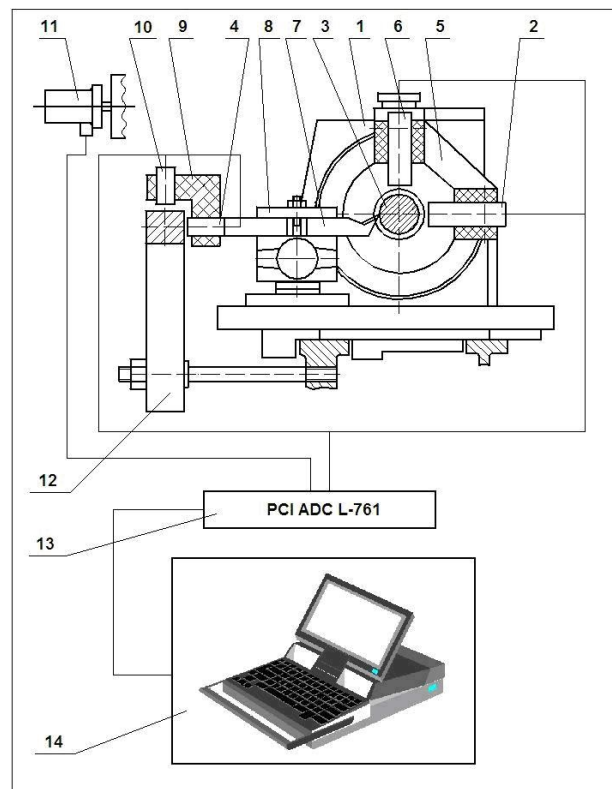


Рис. 1. Система измерения траекторий формообразования

В шпинделе токарного станка закрепляется прецизионная оправка 3, на которой крепится сменная деталь. Прецизионная оправка 3 имеет пояс, с которым взаимодействуют датчики 2 и 6 перемещения. Поясок оправки 3 обработан с высокой точностью. Отклонение от круглости не превышает 0,1 мкм. На корпусе 1 шпиндельной бабки закрепляется державка 5, в которой закрепляются два датчика 2 и 6 перемещения. Оси датчиков 2 и 6 составляют угол 90°, что соответствует декартовой системе координат. В качестве датчиков используются вихретоковые датчики АЕ2Х фирмы НПП «СБД», которые являются бесконтактными, и расстояние между их наконечниками и оправкой 3

составляет величину 0,8–1,2 мм. Выходной сигнал подается непосредственно на плату ввода–вывода информации. На станине станка шпильками закреплена прецизионная линейка 12, а в резцедержательной головке 8 кроме резца 7 закрепляется кронштейн 9, в котором крепятся датчики 4 и 10 перемещения, чувствительные наконечники которых взаимодействуют с линейкой 12 и фиксируют перемещения вершины резца. Сигналы от датчиков также поступают через плату ввода–вывода на компьютер. В качестве датчиков 4 и 10 также используется датчики *AE2X*.

В процессе обработки детали с датчиков записываются следующие измерительные сигналы: сигнал базовой метки (рис. 2,а), сигнал референтной метки (рис. 2,б), сигналы перемещений оси заготовки по осям *X* (плоскость формообразования) и *Y* (вертикальная ось) (рис. 3,а), сигналы перемещений вершины резца по осям *X* и *Y* (рис. 3,б). Процесс записи ведется непрерывно до окончания обработки детали.

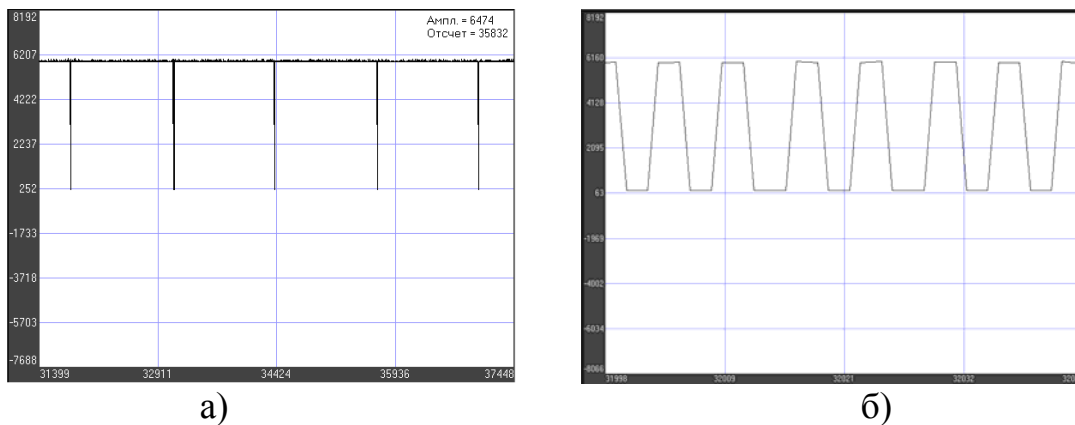


Рис. 2. Образец записи сигналов: а – базовой метки; б – референтной метки

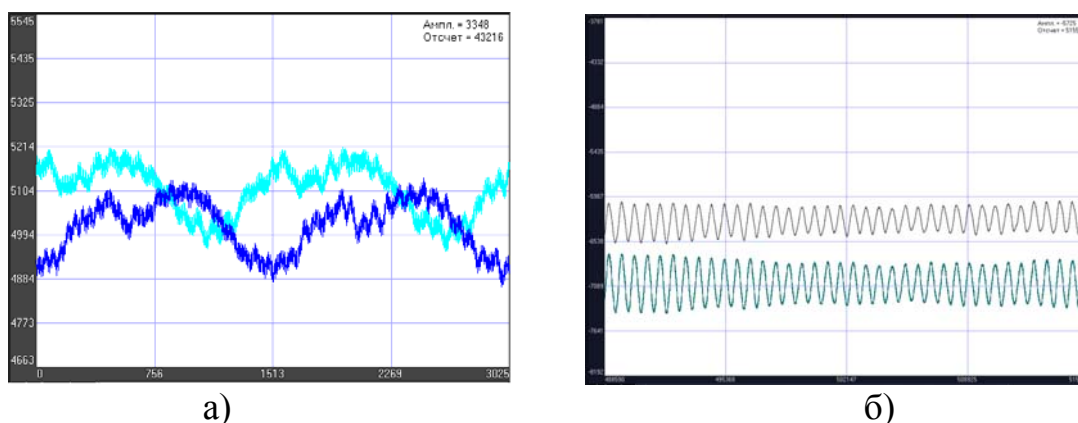


Рис. 3. Образец записи перемещений: а – оси заготовки; б – вершины резца по осям *X* и *Y* при $n=975$ об/мин; $t=0,70$ мм; $S=0,10$ мм/об

В основу математического определения геометрического образа в поперечном сечении заложена формула определения расстояния между двумя точками, лежащими на плоскости:

$$d = \sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2} .$$

Для нашего случая эта формула используется для определения отрезка:

$$AP = \sqrt{(OP \mp X_{Di} \pm X_{Pi})^2 + (Y_{Di} - Y_{Pi})^2}.$$

Так как отрезок AP – это мгновенный радиус обработки заготовки, а расстояние OP соответствует настроечному радиусу обработки заготовки $OP = D_d/2$, то можно записать окончательно:

$$R_d = \sqrt{\left(\frac{D_d}{2} - X_{Di} + X_{Pi}\right)^2 + (Y_{Di} - Y_{Pi})^2}. \quad (1)$$

Это выражение является обобщенной функцией геометрического образа при токарной обработке. Определив экспериментально траекторию оси заготовки, то есть текущие координаты X_{Di} и Y_{Di} , и траекторию режущей кромки, то есть текущие координаты X_{Pi} и Y_{Pi} , по углу поворота φ и, подставив их в формулу (1) можно определить форму изготавливаемой поверхности детали. Экспериментальные исследования показали, что у токарных станков смещения заготовки X_d и Y_d и смещение резца X_p и Y_p при обработке детали составляют величины, измеряющиеся десятками микрометров и, во всяком случае, они не превышают 100 мкм. В то же время величины настроечного диаметра D_d для деталей, имеющих наибольшее распространение, составляет десятки и более миллиметров. Это позволяет сделать заключение о том, что в уравнении (1) первый член на три – четыре порядка больше второго, а это значит с незначительной погрешностью можно пренебречь вторым членом по малости.

Для того чтобы можно было произвести расчет показателей точности необходимо для каждого геометрического образа иметь базовую окружность. Стандарт *DIN ISO 1101* рекомендует для определения базовой окружности четыре варианта, получившие обозначения *MZC*, *LSC*, *MIC*, *MCC*. В настоящее время в машиностроительной практике наибольшее распространение получил вариант *LSC*, который рекомендует определять радиус базовой окружности как окружность, имеющую минимальную величину суммы квадратов расстояний от базовой окружности до профиля геометрического образа. На взгляд автора этот вариант наиболее правильно отражает суть физических процессов, происходящих при соединении двух деталей с натягом, когда выступы в отверстиях и на валу пластически деформируются и материал из них перемещается во впадины отверстия и вала, образуя соединение. Определение центра базовой окружности производится по формуле:

$$a = \frac{2 \sum_{i=1}^n X_i}{n}; \quad b = \frac{2 \sum_{i=1}^n Y_i}{n},$$

где X_i и Y_i – текущие координаты точек, лежащих на геометрическом образе; a – смещение центра базовой окружности относительно центра построения геометрического образа по оси X ; b – аналогично относительно оси Y ; n – число точек построения геометрического образа, в проводимом эксперименте $n = 400$.

Радиус базовой окружности определяется по формуле:

$$R_{\text{БАЗ}} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n},$$

где R_i – текущий радиус геометрического образа изготовленной поверхности.

Из массива R_i выбирается максимальное $\max(R_i)$ и минимальное $\min(R_i)$ значение текущего радиуса геометрического образа. Их разность соответствует отклонению от круглости (некруглости) поперечного сечения изготовленной поверхности:

$$\Delta_{OK} = \max(R_i) - \min(R_i).$$

Затем производится расчет диаметров геометрического образа по формуле:

$$D_i = R_i + R_{(i+n/2)}.$$

Погрешность размера поперечного сечения рассчитывается по формуле:

$$\Delta_{\text{ПР}} = \max(D_i) - \min(D_i),$$

где $\max(D_i)$ и $\min(D_i)$ – максимальное и минимальное значения диаметра геометрического образа.

Далее производится расчет разности диаметров геометрического образа, которые располагаются под углом 90° друг к другу.

$$D_i - D_{(i+n/4)}$$

Из полученного ряда выбиралось максимальное значение по абсолютное величине, которое будет соответствовать максимальной овальности геометрического образа в поперечном сечении:

$$\Delta_{OB} = \max(D_i - D_{(i+n/4)}).$$

Радиальное биение для геометрического образа в поперечном сечении рассчитывается на основе следующей формулы:

$$\Delta_{PB} = \sqrt{(a^2 + b^2) + (R_i)^2 - (a^2 + b^2) \cdot (R_i) \cdot \cos(90^\circ - \varphi_i + \tan(b/a))},$$

где a – смещение центра базовой окружности относительно центра построения геометрического образа по оси X , b – аналогично относительно оси Y , R_i – текущий радиус геометрического образа изготовленной поверхности, φ_i – текущий угол поворота.

Количественная оценка волнистости производилась по отклонениям профиля волнистости, получаемого путем исключения шероховатости и низкочастотных отклонений формы на длине участка измерения волнистости l_w . Базой для оценки отклонений служит средняя линия профиля волнистости m_w – линия, имеющая форму номинального профиля и делящая профиль волнистости таким образом, что на длине l_w среднее квадратическое отклонение точек профиля волнистости от этой линии имеет минимальное значение. Стандартизованы следующие параметры: высота волнистости, наибольшая высота волнистости и средний шаг волнистости.

Высота волнистости W_z – это среднее арифметическое значение из пяти значений высоты волнистости W_1, W_2, \dots, W_5 для текущего геометрического

образа, которые определяются на пяти одинаковых участках измерения волнистости $l_{W_1}, l_{W_2}, \dots, l_{W_5}$ как вертикальные расстояния между линиями, эквидистантными к средней линии и соприкасающимися с профилем волнистости в наивысших и наинизших точках одной полной волны. Высота волнистости рассчитывается по формуле:

$$W_Z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 W_i.$$

Наибольшая высота волнистости W_{\max} – расстояние между наивысшей и наинизшей точками профиля волнистости для текущего геометрического образа в пределах отдельных участков измерения от l_{W_1} до l_{W_5} , измеренное на одной полной волне. Наибольшая высота волнистости рассчитывается по следующей формуле:

$$W_{\max} = \max(W_i).$$

Средний шаг волнистости S_W – среднее арифметическое значение длин волн S_{W_i} профиля волнистости для текущего геометрического образа, измеренных по средней линии. Средний шаг волнистости определяется согласно формуле:

$$S_W = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_{W_i}.$$

Разработано программное обеспечение «Архимед», которое позволяет программно реализовать алгоритмические и математические модели для расчета показателей точности при токарной обработке. Блок – схема программы, отражающая общие принципы и концепции ее построения представлена на рис. 4. Программное обеспечение предусматривает следующие функциональные возможности:

- просмотр записанных в процессе резания измерительных сигналов, используемых в процессах анализа данных;
- построение траекторий оси заготовки и вершины резца, на основе анализа измерительных сигналов;
- расчет геометрического образа и базовой окружности в поперечных сечениях изготавливаемой детали и показателей точности;
- построение продольных сечений заготовки с расчетом показателей точности;
- расчет и визуализация виртуальной копии изготавливаемой детали.

При выборе функциональной возможности «расчет геометрического образа и базовой окружности в поперечных сечениях изготавливаемой детали и показателей точности» по нажатию кнопки «Геометрический образ» появляется окно программы с построенным геометрическим образом, базовой окружностью и рассчитанными показателями точности рис. 5. Рассчитанные показатели точности включают показатели, характеризующие геометрический образ (отклонение от круглости, овальность, погрешность размера, радиальное биение, высотные и шаговые параметры волнистости) и базовую окружность

(смещения центра базовой окружности по координатным осям X и Y , радиус базовой окружности).

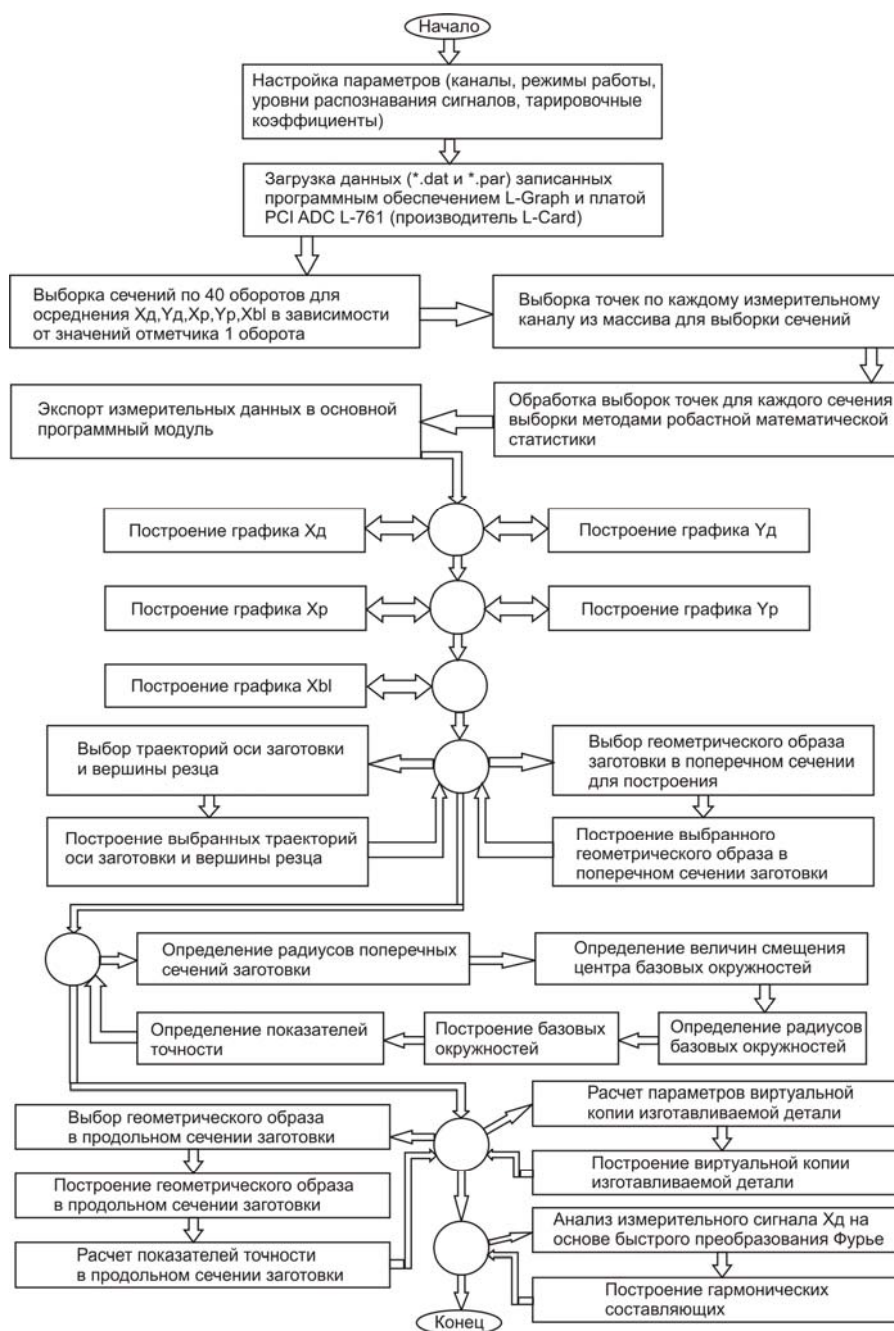


Рис. 4. Блок – схема программы «Архимед»

При выборе функциональной возможности программы «построение продольных сечений заготовки с расчетом показателей точности» по нажатию кнопки «Продольное сечение» появляется активное рабочее окно (рис. 6) с построенным продольным сечением изготавливаемой детали и рассчитанными регламентированными показателями точности. Использование модели базового цилиндра по *DIN ISO 1101* дает возможность численного расчета показателей точности в продольных сечениях изготавливаемой детали. Рассчитанные показатели точности включают: отклонение профиля продольного сечения,

отклонение от цилиндричности, отклонение от соосности, полное радиальное биение.

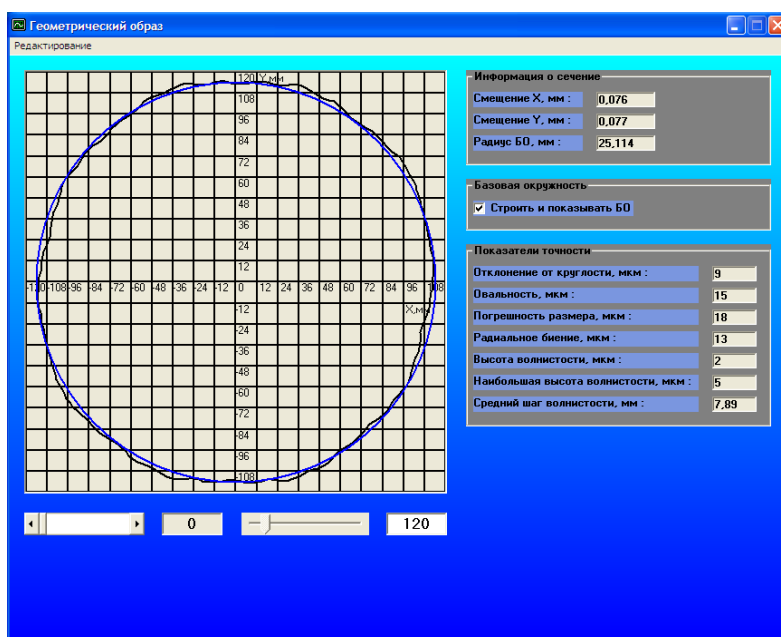


Рис. 5. Интерфейс окна модуля программы для построения геометрического образа заготовки и расчета параметров точности

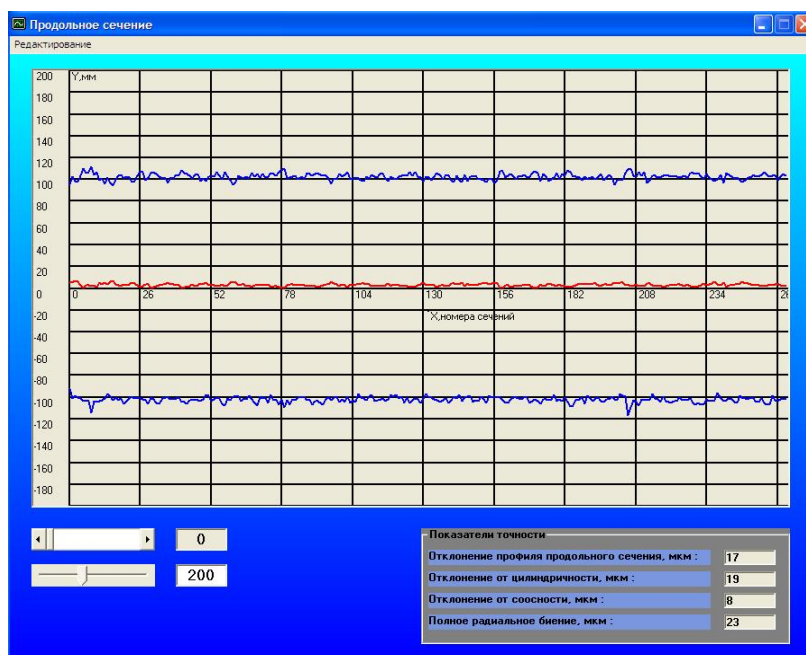


Рис. 6. Интерфейс построения геометрического образа в продольном сечении

Третья глава посвящена повышению точности токарной обработки на базе автоматической системы контроля точности с элементами технического диагностирования. Структурная схема разработанной автоматической системы контроля точности токарной обработки с элементами технического диагностирования представлена на рис. 7. Как видно из структурной схемы, автоматическая система контроля точности с элементами технического диагностирования состоит из измерительной части системы, платы ввода–

вывода информации *PCI ADC L-761*, компьютера и специализированного программного математического обеспечения «Архимед». Измерительная часть системы является пятиканальной измерительной подсистемой параллельного типа и включает пять датчиков: датчик угла поворота ЛИР-158А, и четыре вихретоковых датчика серии *AE2X*, которые фиксируют перемещения оси заготовки и вершины резца.

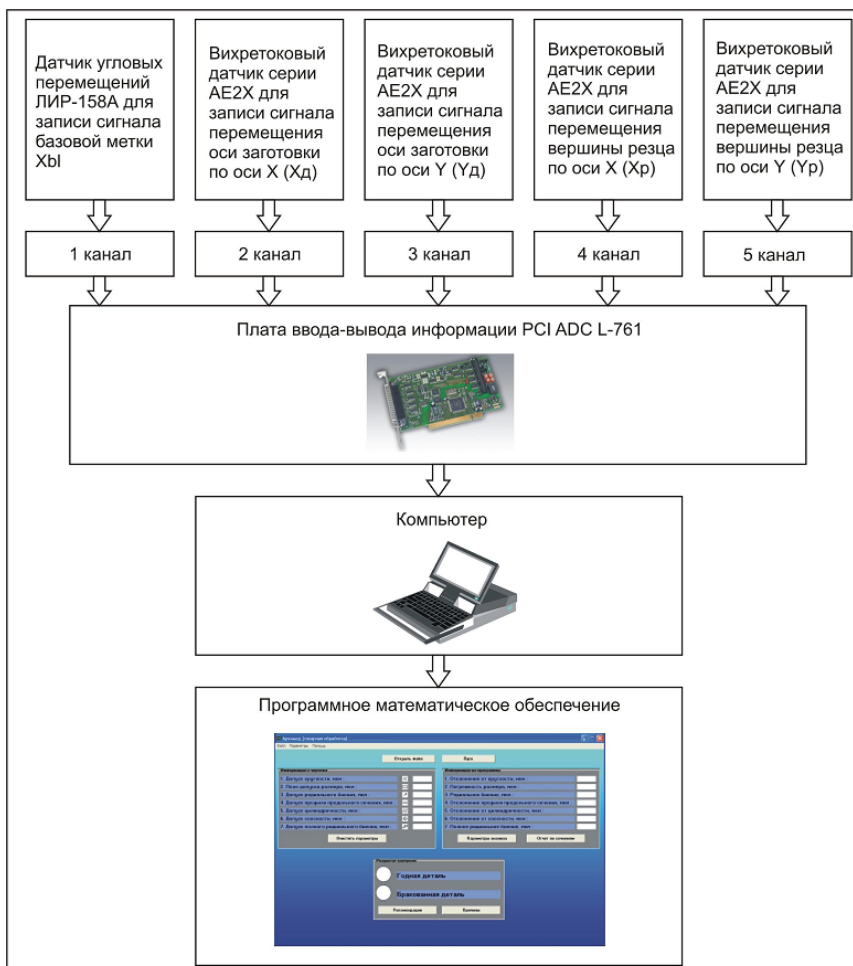


Рис. 7. Структурная схема автоматической системы контроля точности с элементами технического диагностирования

Автоматическая система контроля точности с элементами технического диагностирования работает следующим образом. На токарном станке размещается измерительная часть системы, состоящая из пяти датчиков, которые в процессе обработки заготовки осуществляют передачу информации в виде измерительных сигналов на интерфейсную плату ввода-вывода информации. Плата ввода-вывода информации выполняет преобразование измерительных сигналов в цифровой код и передает информацию в цифровом виде в компьютер, который с использованием программного математического обеспечения «Архимед» выполняет функции контроля с элементами технического диагностирования. Функция контроля заключается в признании детали годной или бракованной, а функция технического диагностирования необходима в случае получения бракованной детали, для того чтобы указать

оператору причины превышения допусков при изготовлении деталей, которые приводят к получению брака и дать рекомендации по повышению точности обработки.

Разработанное программное математическое обеспечение «Архимед» для автоматической системы контроля точности токарной обработки с элементами технического диагностирования обеспечивает реализацию основных функций системы, то есть автоматического контроля и технического диагностирования. Программный интерфейс окна основного модуля программного обеспечения «Архимед» для автоматической системы контроля точности токарной обработки с элементами технического диагностирования представлен на рис. 8.

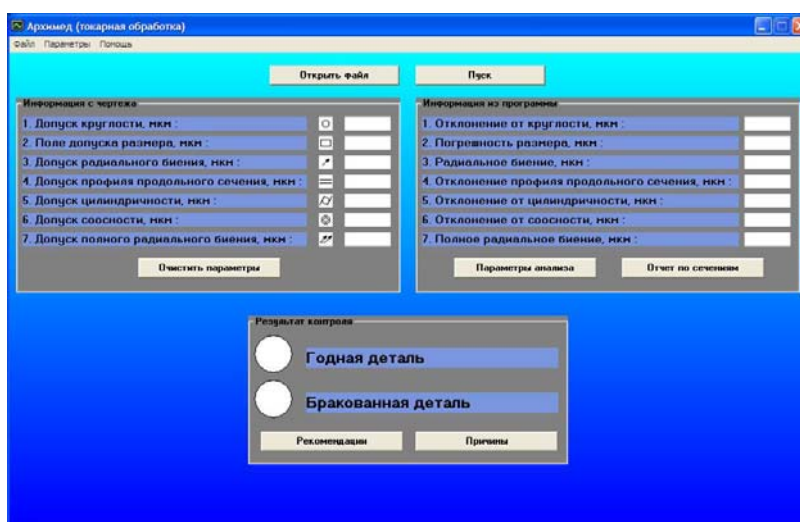


Рис. 8. Интерфейс окна основного модуля программы «Архимед»

Программа для автоматической системы контроля точности токарной обработки с элементами технического диагностирования «Архимед» предусматривает следующие функциональные возможности:

- расчет геометрического образа и базовой окружности в поперечных сечениях детали, изготовленной в процессе токарной обработки, и показателей точности;
- расчет продольных сечений детали и показателей точности;
- определение и отображение предельных значений каждого рассчитанного параметра точности для осуществления сравнения со значениями допусков с чертежа;
- принятие решения о годности или негодности детали в результате обработки измерительной информации, записанной в реальном времени при резании заготовки на основе алгоритмов расчета показателей точности и их последующего сравнения со значениями допусков с рабочего чертежа детали в автоматическом режиме;
- мультифакторный анализ на основе экспертных и интеллектуальных алгоритмов и определение причин превышения допуска указанного на рабочем чертеже;

- анализ, формирование и отображение причин превышения допусков по каждому показателю точности с использованием интеллектуальных алгоритмов и базы данных априорной информации;
- выработка, формирование и отображение рекомендаций для улучшения получаемых показателей точности изготавливаемой детали по каждому показателю посредством применения экспертных и интеллектуальных алгоритмов и базы данных априорной информации.

Блок – схема программы, отражающая общие принципы и концепции ее построения представлена на рис. 9. Основной функцией программы является выдача результата контроля, то есть принятие решения о годности или негодности изготовленной на токарном станке детали, поэтому рассмотрим последовательность действий автоматически выполняемых программой для выработки данного решения. В процессе работы с программой осуществляется настройка параметров программы; ввод информации о станке, о параметрах режима резания, детали и резце; ввод информации с чертежа (поле допуска размера и допуски формы). Информация о станке включает модель станка; параметры режима резания: частоту вращения шпинделя, глубину резания и подачу; параметры детали: материал, твердость, диаметр, длина и установка; параметры резца: главный угол в плане, задний угол в плане, передний угол, задний угол, радиус при вершине, наклон режущей кромки и материал твердосплавной пластины. После внесения этой информации осуществляется загрузка измерительных данных с платы сбора информации с датчиков *PCI ADC L-761* (производитель *L-Card*) и первичная их выборка, пересортировка и статистическая обработка, а также последующий экспорт измерительных данных в основной программный модуль. На основании экспортированных измерительных данных, программой выполняется расчет геометрических образов в поперечных и продольных сечениях заготовки с дальнейшим расчетом экспертными алгоритмами показателей точности в поперечных и продольных сечениях заготовки. Рассчитанные показатели точности поделены условно на две группы, на те, для которых существуют соответствующие допуски и поэтому они могут подвергаться контролю (основные показатели точности), и на те, для которых не существует соответствующих допусков, что затрудняет и исключает их участие в процессе контроля (дополнительные показатели точности). Но дополнительные показатели точности нужны для выполнения диагностических функций автоматической системы контроля точности с элементами технического диагностирования. К основным показателям точности относятся: отклонение от круглости, погрешность размера, радиальное биение, отклонение профиля продольного сечения, отклонение от цилиндричности, отклонение от соосности, полное радиальное биение. Им соответствуют следующие допуски: допуск круглости, допуск размера, допуск радиального биения, допуск профиля продольного сечения, допуск цилиндричности, допуск соосности, допуск полного радиального биения. А к рассчитываемым дополнительным показателям точности относятся: овальность, высота волнистости, наибольшая высота волнистости, средний шаг волнистости.

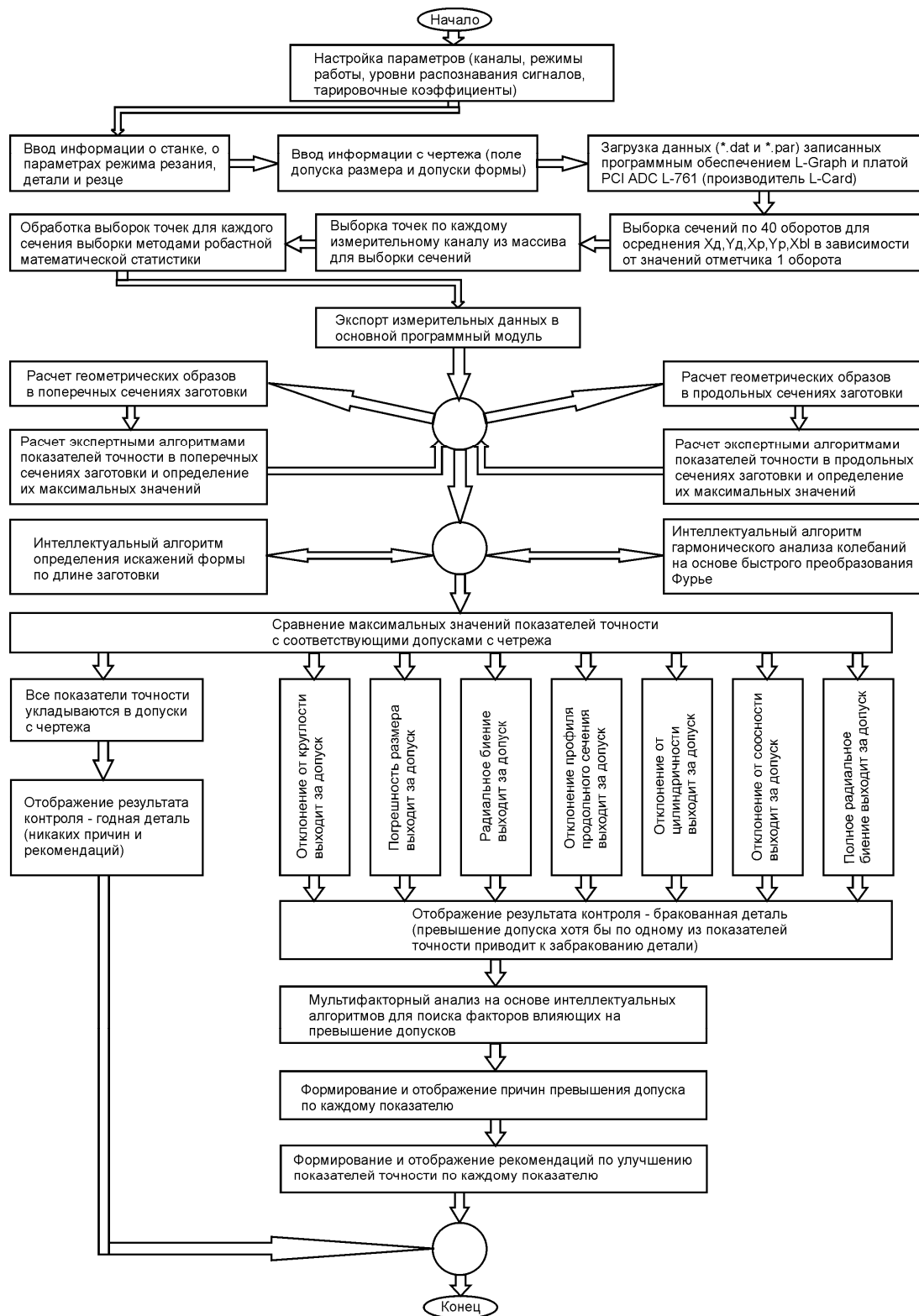


Рис. 9. Блок – схема программы для автоматической системы контроля

Для рассчитанных основных и дополнительных показателей точности в продольных и поперечных сечениях, определяются их максимальные значения, и именно они сравниваются с допуском размера и допусками формы, введенными с чертежа. Если в результате сравнения максимальных значений показателей точности с соответствующими значениями допусков оказывается,

что показатели точности не превышают допусков не по одному из показателей, то деталь признается годной. Если в результате контроля превышен допуск хотя бы по одному из показателей, то деталь признается бракованной.

Дополнительные диагностические функции программного математического обеспечения служат для того, чтобы помочь оператору разобраться в причинах получения бракованных изделий в процессе токарной обработки. Если по результатам контроля изготовлена годная деталь, в причинах получения бракованных деталей нет необходимости. Выполнение дополнительных функций технического диагностирования происходит параллельно с выполнением основной функции программы, то есть контроля деталей, поэтому результаты диагностики текущего состояния технологической системы могут быть получены в то же время, что и результат контроля изготовленной детали. Для выполнения функций технического диагностирования программа делает мультифакторный анализ на основе интеллектуальных алгоритмов для поиска факторов влияющих на превышение допусков. К ним, в частности относятся: интеллектуальный алгоритм определения искажений формы по длине заготовки и интеллектуальный алгоритм гармонического анализа колебаний на основе быстрого преобразования Фурье.

Четвертая глава посвящена описанию проведенных экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования проводились на токарно-винторезном станке ТВ-7, оснащенный автоматической системой контроля точности с элементами технического диагностирования, в условиях реального резания и в реальном времени. В качестве заготовки использовалась предварительно обработанная из стали 35 втулка, которая крепилась на прецизионной оправке. Обработка производилась резцом с твердосплавной пластиной Т15К6 с углами заточки $\varphi = 45^\circ$; $\varphi_1 = 45^\circ$; $\gamma = 6^\circ$; $\alpha = 6^\circ$. Точение на станке проводилось на режимах чистовой и грубой обработки при этом частота вращения шпинделя изменялась в пределах $n = 60 - 975$ об/мин, глубина резания $t = 0,1 - 1,6$ мм, а подача $S = 0,05 - 0,16$ мм/об. В качестве бесконтактных датчиков перемещения использовались вихретоковые датчики серии АЕ2Х, которые состоят из вихретокового пробника, кабельного переходника, удлинительного кабеля, драйвера, блока питания и подключаются к интерфейсу ввода-вывода информации. Функции датчика угла поворота выполнял преобразователь угловых перемещений ЛИР-158А. Реализация аппаратного интерфейса была выполнена на основе платы ввода-вывода информации *PCI ADC L-761*.

Для определения корреляционных зависимостей было проведено 23 испытания на различных частотах вращения шпинделя, при различных глубинах резания и подачах. Как известно в корреляционном анализе ставится задача изучить и измерить степень зависимости случайных величин. Для расчетов была использована линейная корреляция, когда равным изменениям одной величины в среднем соответствуют равные изменения другой величины. Расчеты корреляционных зависимостей производились с использованием

стандартной программы *Statistica 6.0*. На рис. 10 – 12 приведены графики по результатам определения корреляционных зависимостей между отдельными показателями точности в поперечном сечении, скопированные с экрана монитора. Как видно из рисунков, показатели точности располагаются в ограниченной зоне вблизи от корреляционной прямой, что говорит о достаточно высоком коэффициенте корреляции.

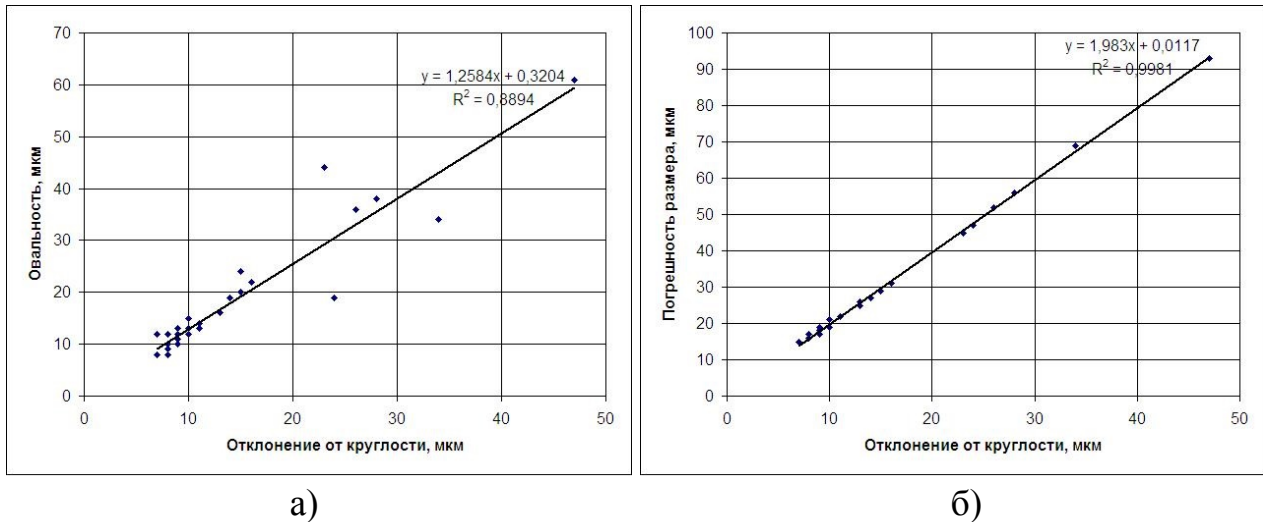


Рис. 10. Корреляционная зависимость между: а – отклонением от круглости и овальностью; б – отклонением от круглости и погрешностью размера

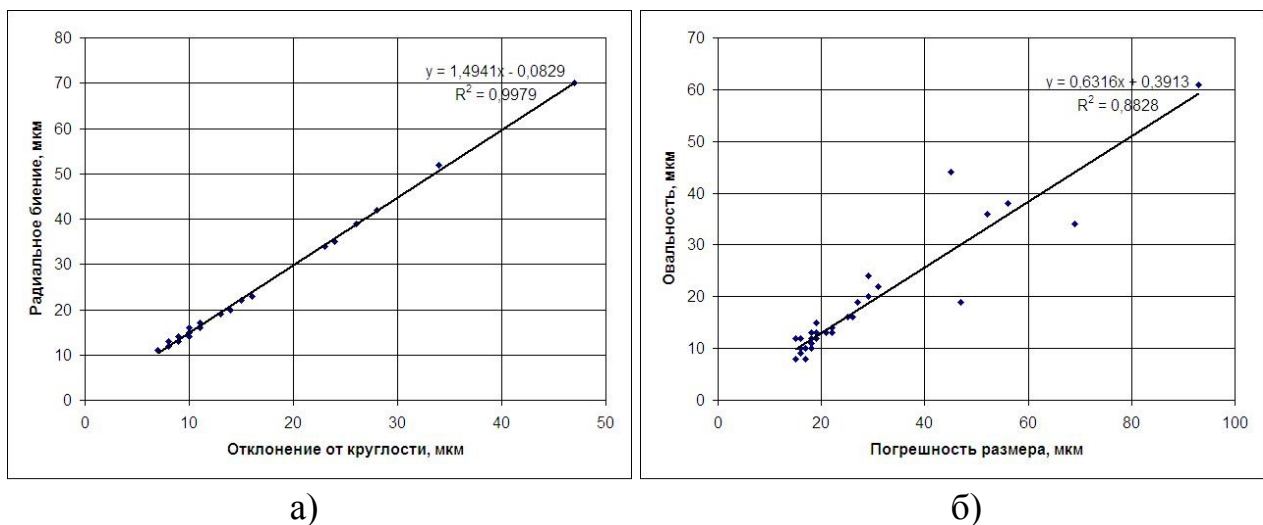
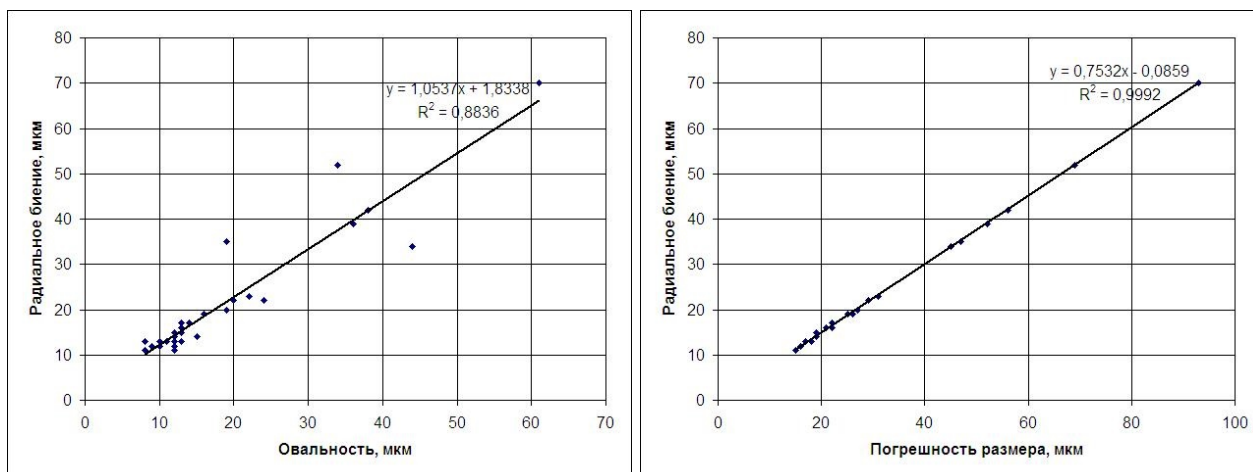


Рис. 11. Корреляционная зависимость между: а – отклонением от круглости и радиальным биением; б – погрешностью размера и овальностью

В таблице 1 приведены корреляционные уравнения и полученные значения коэффициента корреляции для поперечного сечения изготовленной поверхности. Прежде всего, следует отметить, что значения коэффициента корреляции очень высоки – самый минимальный коэффициент корреляции составляет 0,883. Большая величина коэффициента корреляции говорит о том, что связь показателей точности между собой очень велика и приближается к функциональной связи.



а)

б)

Рис. 12. Корреляционная зависимость между: а – овальностью и радиальным биением; б – погрешностью размера и радиальным биением

Из рассмотрения корреляционных уравнений видно, что корреляционные связи образуют две группы. К первой группе относятся те связи, в которых у второго показателя точности коэффициент изменяется в пределах 1,258–1,983 – это овальность, погрешность размера, радиальное биение. Грубо говоря, отклонение от круглости почти в 2 раза меньше овальности, погрешности размера и радиального биения. Ко второй группе связей относятся те, в которых коэффициент составляет 0,632–1,054 – это овальность, погрешность размера, радиальное биение. Таким образом, эти погрешности одного порядка.

Таблица 1

Корреляционные зависимости между показателями точности в поперечном сечении

Показатели точности	Корреляционное уравнение	Коэффициент корреляции
$\Delta_{ок}, \Delta_{ов}$	$\Delta_{ов} = 0,320 + 1,258\Delta_{ок}$	0,889
$\Delta_{ок}, \Delta_{пр}$	$\Delta_{пр} = 0,012 + 1,983\Delta_{ок}$	0,998
$\Delta_{ок}, \Delta_{б}$	$\Delta_{б} = -0,083 + 1,494\Delta_{ок}$	0,998
$\Delta_{пр}, \Delta_{ов}$	$\Delta_{ов} = 0,391 + 0,632\Delta_{пр}$	0,883
$\Delta_{ов}, \Delta_{б}$	$\Delta_{б} = 1,834 + 1,054\Delta_{ов}$	0,884
$\Delta_{пр}, \Delta_{б}$	$\Delta_{б} = -0,086 + 0,753\Delta_{пр}$	0,999
$\Delta_{ок}$ – отклонение от круглости, $\Delta_{ов}$ – овальность, $\Delta_{пр}$ – погрешность размера, $\Delta_{б}$ – радиальное биение.		

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что устанавливать допуски и посадки на рабочих чертежах деталей независимо друг от друга нельзя. Установив какой-то один параметр допуска, тем самым обуславливают и величину других показателей точности. В инженерной практике обычно исходят из определения посадок, которые регламентированы различными

стандартными и отраслевыми нормами. После чего определяются другие показатели точности, в основном отклонения от круглости и биение.

Основной целью разработки устройства определения показателей точности, послужила необходимость решения задачи, заключающейся в значительном расширении номенклатуры измеряемых показателей точности в поперечном и продольном сечении изготавливаемой поверхности.

Устройство определения показателей точности при токарной обработке содержит (рис. 13) датчик 1 угловых перемещений ЛИР–158А, вихретоковый датчик серии *AE2X* 2 для измерения перемещения шпинделя в горизонтальной плоскости, вихретоковый датчик серии *AE2X* 3 для измерения перемещения резца в горизонтальной плоскости, плату 4 ввода–вывода информации *PCI ADC L-761* и компьютер 5. Корпус датчика 1 угловых перемещений закрепляется на корпусе шпиндельной бабки, а его ротор через упругую муфту соединяется со шпинделем. При вращении шпинделя синхронно вращается ротор датчика 1 угловых перемещений. Вихретоковый датчик 2 перемещений шпинделя с помощью кронштейна 6 закрепляется на корпусе шпиндельной бабки так, чтобы чувствительный наконечник находился на расстоянии 0,8 – 1,2 мм от поверхности шпинделя. Вихретоковый датчик 3 перемещения резца крепится с помощью кронштейна 7, который закреплен на резцедержательной головке 8. При этом чувствительный наконечник вихретокового датчика 3 находится на расстоянии 0,8 – 1,2 мм от поверхности прецизионной линейки 9, которая закреплена на станине 10 токарного станка.

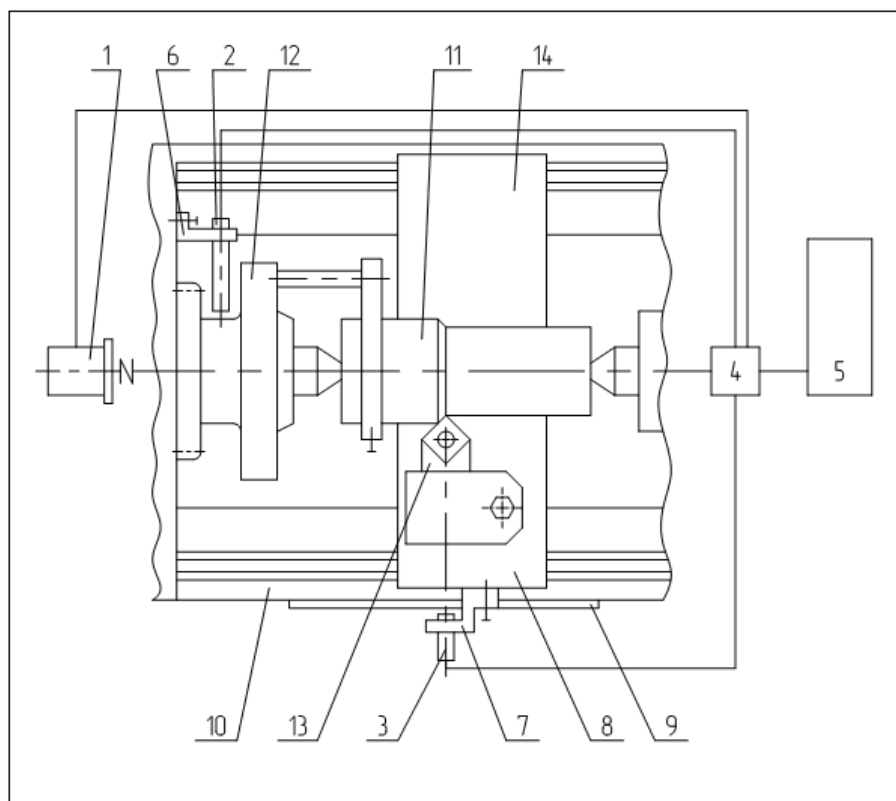


Рис. 13. Схема устройства определения показателей точности при токарной обработке

Устройство определения показателей точности при токарной обработке работает следующим способом. Обработка детали 11 производится в центрах обычным способом. При вращении шпинделя 12 вращается деталь 11 и резец 13 снимает стружку при перемещении суппорта 14 вдоль образующей детали. Датчик 1 угловых перемещений при вращении шпинделя 12 вырабатывает две метки. Базовая метка, которая вырабатывается один раз за оборот шпинделя на 360° и референтная метка, которая вырабатывается 200 раз за один оборот шпинделя. Сигналы базовой метки и референтной метки подаются на плату 4 ввода–вывода информации. Базовая метка необходима при проведении статистических расчетов. Референтные метки служат сигналом для снятия дискретных показаний вихретоковых датчиков перемещения. Бесконтактный вихретоковый датчик 2 перемещения при перемещении шпинделя 12 в горизонтальной плоскости выдает аналоговый сигнал, который поступает на плату 4 ввода–вывода информации. Бесконтактный вихретоковый датчик 3 перемещения при перемещении резца 13 в горизонтальной плоскости выдает аналоговый сигнал, который поступает на плату 4 ввода–вывода информации. Показания датчиков снимаются на протяжении всего прохода. Плата ввода–вывода информации производит обработку поступающих сигналов, переводит их в двоичный код и подает информацию в компьютер 5.

По разработанной программе «Архимед» компьютер рассчитывает текущий радиус изготавливаемой поверхности

$$R_i = \frac{D}{2} - X_{III} + X_P$$

где R_i – мгновенный радиус обработки заготовки, $D/2$ – настроечный радиус обработки заготовки, X_{III} и X_P – текущие координаты траектории оси заготовки и траектории режущей кромки в горизонтальной плоскости, и строит на экране монитора геометрический образ изготавливаемой поверхности в рассматриваемом сечении. Для определения базовой окружности используется вариант *LSC* стандарта *DIN ISO 1101*, что позволяет произвести численный расчет величин показателей точности в поперечном сечении изготавливаемой поверхности. К ним относятся: отклонение от круглости, погрешность размера, овальность, радиальное биение, высота волнистости, наибольшая высота волнистости и средний шаг волнистости. Компьютер, используя программу «Архимед» производит построение необходимого количества геометрических образов в поперечном сечении при перемещении резца по длине детали, что позволяет произвести построение геометрического образа изготавливаемой поверхности в продольном сечении. Построение базового цилиндра по *DIN ISO 1101* позволяет произвести численный расчет показателей точности в продольных сечениях изготавливаемой поверхности. К ним относятся: отклонение профиля продольного сечения, отклонение от соосности оси, полное радиальное биение, отклонение от цилиндричности.

Полученные показатели точности сравниваются с допусками, приведенными на рабочем чертеже изготавливаемой детали, что позволяет установить соответствует ли деталь рабочему чертежу или она является браком.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. В работе решена актуальная научно–техническая задача, имеющая важное значение для машиностроительных производств – повышение точности изготовления деталей в процессе токарной обработки на основе автоматической системы контроля точности траекторий формообразования с элементами технического диагностирования.
2. Создано устройство определения показателей точности при токарной обработке (защищено патентом на полезную модель №78721), обеспечивающее повышение точности изготавливаемых деталей за счет решения задачи, заключающейся в значительном расширении номенклатуры измеряемых регламентированных показателей точности в поперечном и продольном сечении изготавливаемой поверхности.
3. Разработаны алгоритмические и математические модели для расчета показателей точности изготавливаемых деталей в процессе токарной обработки на основе использования метода измерения формообразующих траекторий, построения на их основе геометрического образа и расчета по нему прогнозируемых показателей точности, что позволило разработать специализированное программное математическое обеспечение «Архимед» для определения показателей точности в процессе токарной обработки.
4. Разработаны структура и алгоритмы функционирования программного математического обеспечения для повышения точности изготавливаемых деталей в процессе токарной обработки на основе автоматической системы контроля точности токарной обработки с элементами технического диагностирования, что дает возможность реализовать в системе одновременное выполнение функций автоматического контроля, измерения и технического диагностирования.
5. Разработанная интерфейсная реализация программного математического обеспечения позволяет повысить точность изготавливаемых деталей в процессе токарной обработки и входит в состав автоматической системы контроля точности с элементами технического диагностирования в качестве специализированного программного математического обеспечения «Архимед» для выполнения в процессе работы системы основных функций, то есть автоматического контроля и технического диагностирования.
6. Определены зависимости для повышения точности изготавливаемых деталей в процессе токарной обработки. Полученные корреляционные зависимости между разными показателями точности при токарной обработке:

$$\Delta_{\text{ов}} = 0,320 + 1,258\Delta_{\text{ок}}, \Delta_{\text{пр}} = 0,012 + 1,983\Delta_{\text{ок}}, \Delta_{\text{б}} = -0,083 + 1,494\Delta_{\text{ок}},$$

$$\Delta_{\text{ов}} = 0,391 + 0,632\Delta_{\text{пр}}, \Delta_{\text{б}} = 1,834 + 1,054\Delta_{\text{ов}}, \Delta_{\text{б}} = -0,086 + 0,753\Delta_{\text{пр}}$$

рекомендуются для внедрения в производство. Использование полученных корреляционных зависимостей в технологической практике позволит выбрать оптимальное соотношение между отдельными показателями точности, что будет способствовать как повышению качества изделий, так и

совершенствованию технологического процесса, что в конечном итоге приведет к снижению себестоимости механической обработки.

7. Результаты работы используются в лекциях по курсу «Мониторинг технологических процессов и систем» кафедры «Стандартизация и сертификационные испытания техники» ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», а также автоматическая система контроля точности токарной обработки с элементами технического диагностирования внедрена на ОАО «МЭЛ».

Основные публикации по теме диссертации

1. Юркевич В.В., Климанов М.М., Быков В.В. Показатели точности при токарной обработке // Вестник машиностроения. Ежемесячный научно-технический и производственный журнал, №11, 2008. с. 55–58.
2. Патент на полезную модель 78721 РФ, МПК В23Q 15/00. Устройство определения показателей точности при токарной обработке / Юркевич В.В., Климанов М.М. (РФ). – №2008120098/22; заявлено 22.05.2008; опубл. 10.12.2008, Бюл. №34. – 2 с.
3. Юркевич В.В., Климанов М.М. Экспертная система для токарной обработки // Вестник МГТУ «Станкин». Научный рецензируемый журнал, №1, 2009. с. 117–123.
4. Климанов М.М. Система автоматического контроля для токарной обработки // Наука и технологии. Итоги диссертационных исследований. Том 2. Избранные труды Российской школы. – М.: РАН, 2009. с. 67–81.
5. Юркевич В.В., Климанов М.М., Искра Д.Е. Контроль точности фрезерной обработки // Техника машиностроения. Ежеквартальный научно-технический журнал, №2, 2007. с. 13–22.
6. Климанов М.М. Программный комплекс для контроля точности фрезерной обработки // Сборник докладов XII научной конференции МГТУ «Станкин» и «Учебно-научного центра математического моделирования МГТУ «Станкин» – ИММ РАН» по математическому моделированию и информатике. – М.: ИЦ ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», 2009. с. 281–283.
7. Климанов М.М. Автоматическая система контроля точности с элементами технического диагностирования // Сборник докладов XIII научной конференции МГТУ «Станкин» и «Учебно-научного центра математического моделирования МГТУ «Станкин» – ИММ РАН» по математическому моделированию и информатике. – М.: ИЦ ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», 2010. с. 250–252.
8. Климанов М.М. Корреляционный анализ показателей точности при токарной обработке // Сборник докладов XIII научной конференции МГТУ «Станкин» и «Учебно-научного центра математического моделирования МГТУ «Станкин» – ИММ РАН» по математическому моделированию и информатике. – М.: ИЦ ГОУ ВПО МГТУ «Станкин», 2010. с. 253–255.

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Климанов Михаил Михайлович

**ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ТОКАРНОЙ ОБРАБОТКИ
НА ОСНОВЕ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ
ТОЧНОСТИ С ЭЛЕМЕНТАМИ ТЕХНИЧЕСКОГО
ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

Специальности

05.02.07 Технология и оборудование механической и физико–технической
обработки

05.13.06 Автоматизация и управление технологическими процессами и
производствами (в машиностроении)

Подписано в печать ____ . ____ . 2010 г.
Формат 60x90 1/16. Бумага 80 г.
Усл. печ. л. 6. Тираж 100 экз. Заказ № ____ .

Отпечатано в Издательском центре
ГОУ ВПО Московский государственный технологический университет «Станкин».
127055, Москва, Вадковский пер., 3а.
Тел.: 8(499) 973-31-93