

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КЛАССА ЧИСТОТЫ ШЕРОХОВАТЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Чичикало Н.И., Железниченко В.В., Железниченко Н.В

Донецкий национальный технический университет,
кафедра электронной техники
E-mail: Chichikalo@Rambler.ru

Abstract

Chichikalo N.I., Zheleznychenko W.W., Zheleznychenko N.W. Method of determination of class of cleanness rough surfaces. Controls rough surfaces which provide the automated input of information in MYKRO-EVM are offered. An algorithm and software for determination and visualization of profylogrammy and class of cleanness of rough surfaces is developed.

Актуальность проблемы контроля шероховатых поверхностей. Растущие требования к качеству выпускаемых машин и приборов связаны с необходимостью повышения их точности, надёжности, долговечности, которые в значительной степени определяются эксплуатационными свойствами деталей и узлов. Последние зависят от качества сопрягающихся поверхностных слоев, которые определяются геометрическими и физико-механическими свойствами, а также взаимным расположением неровностей на сопрягаемых поверхностях. Поверхность обработанной детали отличается от заданного чертежом контура (номинального) наличием микро и макрогеометрических отклонений Δ (неровностей). Микрогеометрические отклонения определяют *шероховатость*, макрогеометрические — *волнистость* и *отклонения формы*. Их можно классифицировать по отношению шага S к значению Δ . При $S/\Delta < 40$, неровности относят к шероховатости, при $1000 > S/\Delta > 40$ — к волнистости, при $S/\Delta > 1000$ — к отклонениям формы. Характеристики шероховатости поверхности строго нормируются по ГОСТ 2789-73 и подвергаются постоянному анализу в технологических исследованиях и контролю в процессе производства. Поэтому актуальным является совершенствование средств и методов их контроля.

Анализ известных решений. Шероховатость поверхности — важная эксплуатационная характеристика, от нее зависят коррозионная стойкость, износостойкость, коэффициент трения и ряд других механических характеристик. Существуют различные способы измерения шероховатости поверхности, однако, предпочтение отдается оптико-физическим методам, так как они являются неконтактными, неразрушающими и легче поддаются автоматизации. Основные методы — это метод светового сечения, метод теневой проекции, микроинтерференционный метод, поляризационный метод, рефлектометрический метод, щуповой (контактный) метод измерения неровностей поверхности, где в качестве щупа используют остро заточенную иглу. При движении по испытуемой поверхности механические колебания иглы преобразуются в электрические. Снятый с преобразователя полезный сигнал усиливают, а затем измеряют его параметры, характеризующие неровности исследуемой поверхности (*профилометрирование*), или записывают параметры профиля поверхности в вертикальном и горизонтальном масштабах (*профилографирование*).

Основными приборами для оценки микронеровностей по стандарту являются профилометры, профилографы и оптические приборы (двойной микроскоп и микроинтерферометр). *Профилометр* — электродинамический прибор, определяющий величину среднеквадратического отклонения ($N_{ск}$). Профилометры (конструкции Киселева и Аббота) пригодны для измерения микронеровностей с $N_{ск}$ не более 6 мк. Профилографы Левина и Аммона измеряют неровности высотой до 90 мк, двойной микроскоп Линника — от 1 до 60 мк, микроинтерферометр Линника — от 0,1 до 5 мк. В этом приборе индукционная катушка, жестко соединенная с ощупывающей иглой, переме-

щастяється в поле постійного магніта; возбуждаемый в катушке ток усиливается усилителем, стрелка гальванометра указывает значение среднеквадратического отклонения. *Оптико-механические профилографы* Левина и Аммона основаны па фотозаписи луча света, очерчивающего в увеличенном виде профиль неровностей при ошупывании их алмазной иглой. Профиль может быть увеличен по вертикали до 15000 раз и по горизонтали — в 500 раз. *Двойной микроскоп Линника* основан на методе «светового сечения». Свет через узкую щель падает на поверхностные неровности под углом в 45° или 60° и очерчивает контуры неровностей, которые рассматриваются и измеряются с помощью микроскопа с окуляр микрометром или могут фотографироваться при употреблении фото насадки. Прибор увеличивает неровности в 50...600 раз.

Микроинтерферометр Линника основан на явлении интерференции света, темные и светлые полосы, позволяют оценивать высоту микронеровностей.

Постановка задачи исследований. Разработать математическое обеспечение для определения параметров шероховатости поверхности. Разработать программу, реализующую определение параметров шероховатости поверхности и вывод на экран конечных результатов: величину среднеарифметического отклонения Ra, и величину среднеквадратического отклонения H_{СК} класса чистоты.

Цель исследований: Разработать структуру прибора, позволяющего автоматизированным путем определять класс чистоты шероховатых поверхностей на основании использования предложенного способа.

Основной материал исследований. Для решения поставленной задачи разработан способ определения класса чистоты шероховатых поверхностей (рис.1).

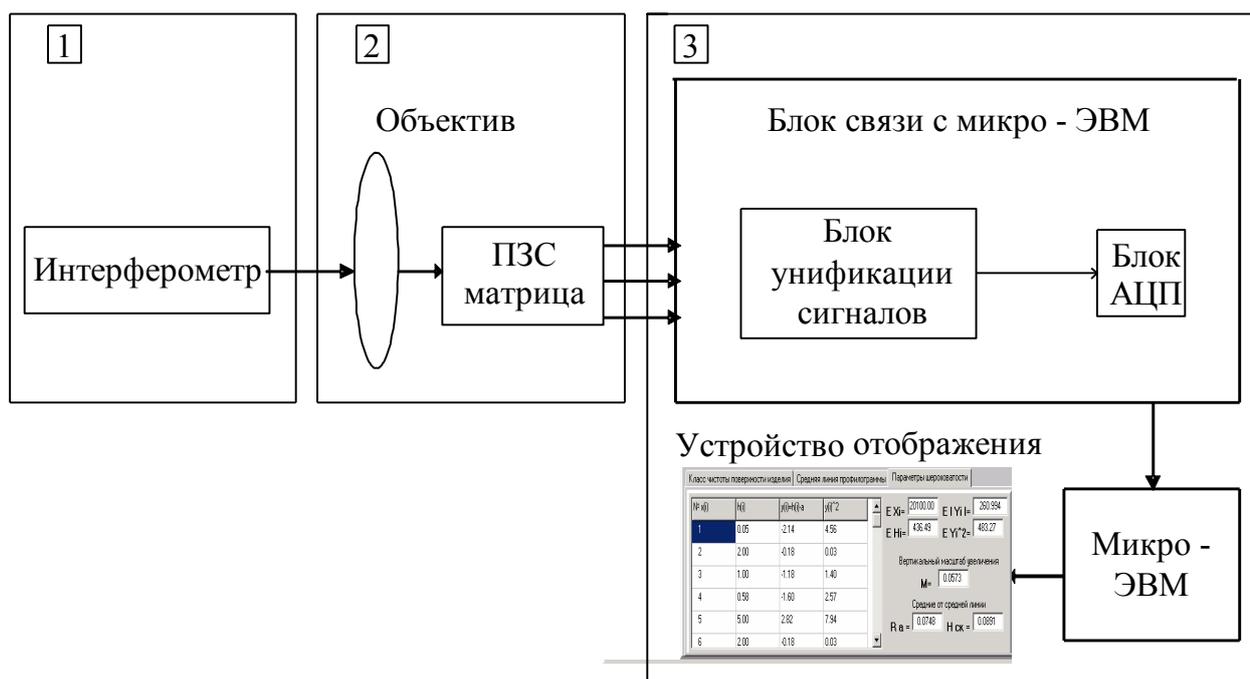


Рисунок 1 — Структура прибора, реализующая способ определения класса чистоты шероховатых поверхностей

Способ реализуется с помощью следующих функциональных узлов: 1 — стандартного интерферометра, 2 — цифровой видеокамеры, 3 — анализатора шероховатости поверхности.

Интерферометр подключается к исследуемому объекту и выдает профилограмму поверхности изделия в следующем виде (рис. 2)

Для системы измерения шероховатости поверхности универсальные мега пиксельные камеры среднего класса позволят получить изображения вполне приемлемого качества. Существует много моделей, которые оцифровывают изображения при помощи сенсоров с раз-

решением от 320x240 до 1344x1024 пикселя. Большинство производителей приводят в описаниях два параметра размеров матрицы ПЗС: диагональный массив матрицы, который обычно находится в интервале от 1/4 до 1/2 дюйма (от 6,35 до 12,7 мм) и количество элементов ПЗС в матрице, выраженное в миллионах пикселях или мега пикселях. Общее число сенсоров обычно превышает максимальное выходное разрешение, которое выражается значениями разрешения, получаемого камерой изображения в пикселях по горизонтали и вертикали. Несколько производителей, среди которых Agfa, Epson, Creative и Polaroid, для повышения выходного разрешения применяют технологии улучшения изображений.

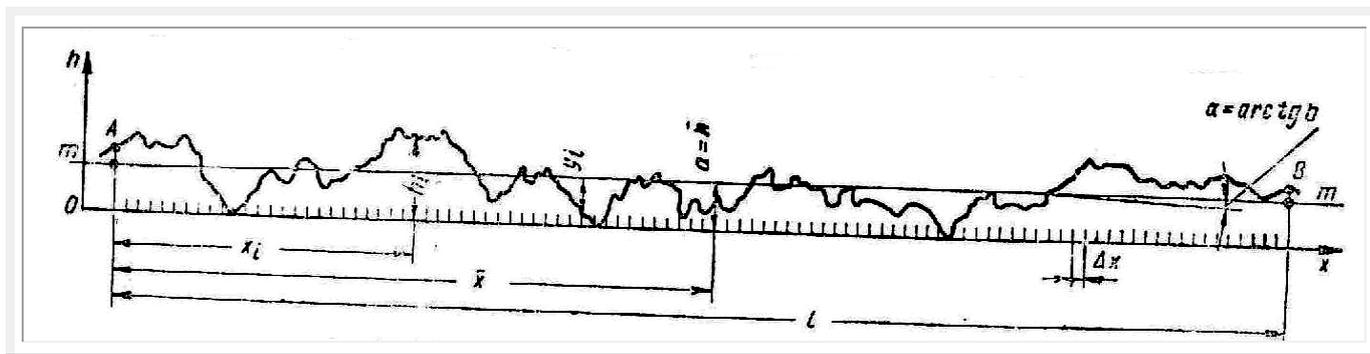


Рисунок 2 — Профилограмма поверхности изделия

Выбор цифровой камеры произведем по следующим параметрам: размер (дюймы); разрешение по горизонтали (число телевизионных линий); чувствительность (люкс).

Размер диагонали матрицы описывается параметром, называемым формат. Он измеряется в дюймах и принимает значения: 1", 2/3", 1/2", 1/3", 1/4". Размер матрицы важен при определении необходимого угла обзора камеры. С одинаковыми объективами камера на основе матрицы 1/2" имеет больший угол зрения, чем камера с матрицей 1/3".

Разрешение — этот параметр определяет возможности камеры по воспроизведению мелких деталей изображения. Чем выше разрешение, тем больше детальность, информативность картинки. Разрешение измеряется в телевизионных линиях (ТВЛ) и зависит не только от числа пикселей в матрице, но и от параметров электронной схемы камеры. В большинстве случаев разрешение 380–400 ТВЛ вполне достаточно для наблюдения. Разрешение по вертикали у всех камер стандарта CCIR одинаково, ибо ограничено телевизионным стандартом — 625 строк телевизионной развертки. Основное различие камер состоит в разрешении по горизонтали, и обычно указывается в технических описаниях. Чувствительность — это минимальная освещенность на объекте, при которой можно различить переход от черного к белому. Обычно указывают минимальную освещенность, измеренную в стандартизованных условиях: коэффициент отражения объекта 0.75 и светосила объектива 1.4. Автоматический электронный затвор, функциональный аналог выдержки фотоаппарата, обеспечивает компенсацию изменения уровня освещенности и постоянную среднюю яркость изображения. Это достигается за счет изменения времени накопления фото заряда и амплитуды видеосигнала. Скорость переключения затвора (время накопления) может достигать до 1/100000 секунды.

Как в любом фотоаппарате, качество снимка в цифровой камере в первую очередь зависит от оптики. Даже мега пиксельная камера не позволит добиться качественного изображения, если она оборудована слабой оптикой. Качество оптики определяется диапазонами фокусного расстояния и диафрагмы, а также диаметром объектива, — чем больше диаметр, тем больше света попадает на ПЗС-матрицу и тем больше информации для алгоритма обработки изображения. Линзы желательны стеклянные и асферические, лучше с просветленной оптикой.

Основные параметры, по которым следует выбирать объектив: фокусное расстояние, мм; относительное отверстие — светосила F (относительные единицы); угол зрения объектива для конкретного формата матрицы, градусы; наличие/отсутствие авто диафрагмы; тип управления авто

диафрагмой: VS — видеосигналом, DC — постоянным током; стандарт крепления объектива: C или CS. Фокусное расстояние объектива определяет угол зрения. Более широкий угол обеспечивается меньшим фокусным расстоянием. И наоборот — чем фокусное расстояние больше, тем меньше угол зрения объектива. Светосила объектива F влияет на выходное изображение. Малое F означает, что объектив пропускает больше света, соответственно, камера лучше работает в темное время суток. Все объективы с авто диафрагмой используют фильтр нейтральной плотности для увеличения максимального F . Апертура (F) влияет так же и на глубину резкости.

Нормальный угол зрения ТВ камеры эквивалентен углу зрения человека, при этом объектив имеет фокусное расстояние, пропорциональное размеру диагонали матрицы ПЗС. Объективы принято делить на нормальные, короткофокусные (широкоугольные), длиннофокусные (телеобъективы). Выбор фокусного расстояния объектива диктуется целями и задачами проводимого наблюдения и особенностями размещения камеры. Для разрабатываемого устройства необходимо использовать объектив для макросъемки. Также при выборе фокусного расстояния объектива необходимо учитывать такой фактор, как глубина резкости. Глубина резкости показывает, какая часть поля зрения находится в фокусе. Объективы с широким углом зрения обеспечивают большую глубину резкости. Объективы с авто диафрагмой используются в тех случаях, когда телекамера работает в условиях сильно меняющейся освещенности или когда требуется максимальная глубина резкости, которая достигается при максимально закрытой диафрагме объектива, а также, когда необходимо более четко передать границы ярких объектов.

Кроме того, объективы подразделяются по двум параметрам — наличие оптического трансфокатора (ZOOM) и наличие резьбы на объективе для сменных насадок. Порой камеры с приличной трансфокацией (вплоть до 3-кратной) не имеют резьбы, в то же время встречаются камеры без трансфокатора, но с резьбой, позволяющей установить длиннофокусные и широкоугольные насадки, а также линзы для макросъемки (фотографирование мелких объектов с минимального расстояния). В отличие от оптического цифровой трансфокатор использует центральную часть ПЗС-матрицы, интерполируя изображение до стандартного разрешения, что приводит к ухудшению качества кадра, поэтому данный режим рекомендуется использовать в тех случаях, когда фотографии не требуется выводить на принтер.

Для анализа и визуализации шероховатости исследуемых объектов используется стандартная цифровая видеокамера, подключаемая к интерфейсу компьютера USB, фирмы Creative Labs модель Video Blaster WebCam Plus. В данной камере используется стандартный короткофокусный широкоугольный объектив. Использование цифровой камеры позволяет автоматизировать процесс обработки профилограммы.

По этому графику происходит обработка профилограммы. Для вычисления R_a или H_{sk} необходимо определить положение средней линии исследуемой профилограммы, найденное способом наименьших квадратов, планиметрирования или на глаз. Способ наименьших квадратов позволяет найти точное положение средней линии с соблюдением условий минимума суммы квадратов ординат от средней линии до точек профиля. Воспользуемся этим способом. На профилограмме в пределах базовой длины проводится вспомогательная прямая, параллельная «общему направлению профиля». На рис. 2 этой прямой является линия Ox . Эта прямая разбивается на равные интервалы $\Delta x = 2$ мм. В точках, соответствующих началу каждого интервала, измеряются ординаты h_i точек профиля. Для простоты вычислений значения абсцисс этих точек x_i' обычно выражают в интервалах Δx , тогда новые абсциссы $x_i' = x_i / \Delta x$ будут числами натурального ряда, а порядковые номера ординат h_i этих точек будут соответствовать значениям новых абсцисс x_i . Измеренные значения h_i записываются в таблицу. Искомое уравнение прямой (средней линии) представляется в виде:

$$h = a + b(x - \bar{x}). \quad (1)$$

Коэффициенты a и b в уравнении выбираются с расчетом обращения в минимум суммы квадратов $2(h - a - bx)^2$. Учитывая, что первоначально оси координат проводятся на глаз, а точки профиля всегда располагаются довольно узкой полосой, коэффициенты a и b можно определить по следующим формулам:

$$b = tg 2\alpha, \quad a = \bar{h} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n h_i, \quad (2)$$

где угол α определяется из соотношения

$$tg 2\alpha = 2 \frac{\Delta x \left[\sum_{i=1}^n x_i' h_i - \sum_{i=1}^n x_i' * \frac{\sum_{i=1}^n h_i}{n} \right]}{(\Delta x)^2 \left[\sum_{i=1}^n (x_i')^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^n x_i' \right)^2}{n} \right] - \sum_{i=1}^n h_i^2 + \frac{\left(\sum_{i=1}^n h_i \right)^2}{n}}. \quad (3)$$

Для определения сумм $\sum x_i'$ и $\sum (x_i')^2$ используются формулы:

$$\sum_{i=1}^n x_i' = \frac{(x_n)^2 + x_n'}{2}, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i')^2 = \sum_{i=1}^n x_i' * \frac{2x_n' + 1}{3}.$$

После того как определено положение средней линии профилограммы, вычисляется среднеквадратическое или среднеарифметическое от средней линии R_a или H_{ck} соответственно.

$$R_a = M \frac{\sum_{i=1}^n |y_i|}{n}, \quad (5)$$

$$H_{ck} = M \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2}, \quad (6)$$

где M —вертикальный масштаб увеличения профиля поверхности;

$y_i = h_i - a$ —расстояние точек профиля до его средней линии; a вычисляется по формуле (2);

n — число отмеченных точек профильной кривой. Вертикальный масштаб M увеличения профилограммы определяется по формуле

$$M = \frac{\lambda}{2C} \quad (7)$$

где λ — длина волны источника света в м/с;

C — расстояние между двумя соседними интерференционными полосами профилограммы в мм.

Определяется вертикальный масштаб увеличения M по расстоянию C между соседними полосами снятой профилограммы ($C = 4,8$ мм) и по длине волны источника света (белого) $\lambda = 0,55$ мк по формуле (7):

$$M = \lambda/2 * C = 0,55/2 * 4,8 = 0,057 \text{ мк/мм}.$$

На рисунке 3 приведен алгоритм программной реализации в среде Delphi 6.0 методики определения параметров шероховатости R_a и H_{ck} и класса чистоты по профилограмме, сфотографированной на микроинтерферометре МИИ-4 с источником белого света. Определенный класс чистоты: по ГОСТу 279-59 $R_a = 0,156$ мк соответствует 10-му классу чистоты, разряд a .

При нажатии на кнопку «Тест» происходит фотографирование камерой профиля поверхности, перенос графика — профилограммы в компьютер, обработка профилограммы с выводом на экран конечных результатов R_a и H_{ck} с указанием класса чистоты по ГОСТ 2789-73.

Кнопка «Сброс» обнуляет все вышеперечисленные результаты и переходит в режим ожидания нажатия кнопки «Тест»

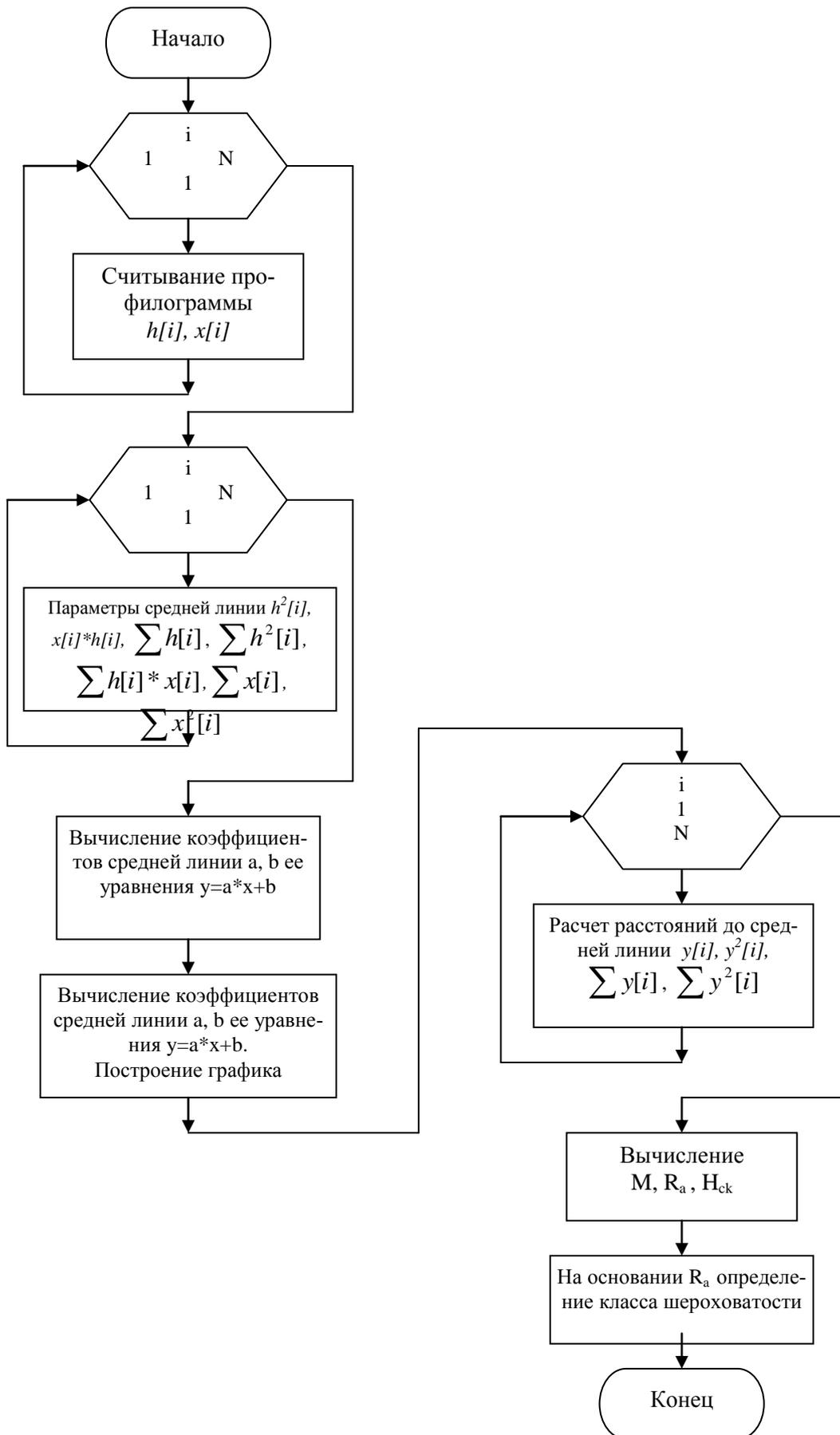


Рисунок 3 — Алгоритм определения параметров шероховатости

Вывод конечных результатов моделирования работы программы показан на рис.4.

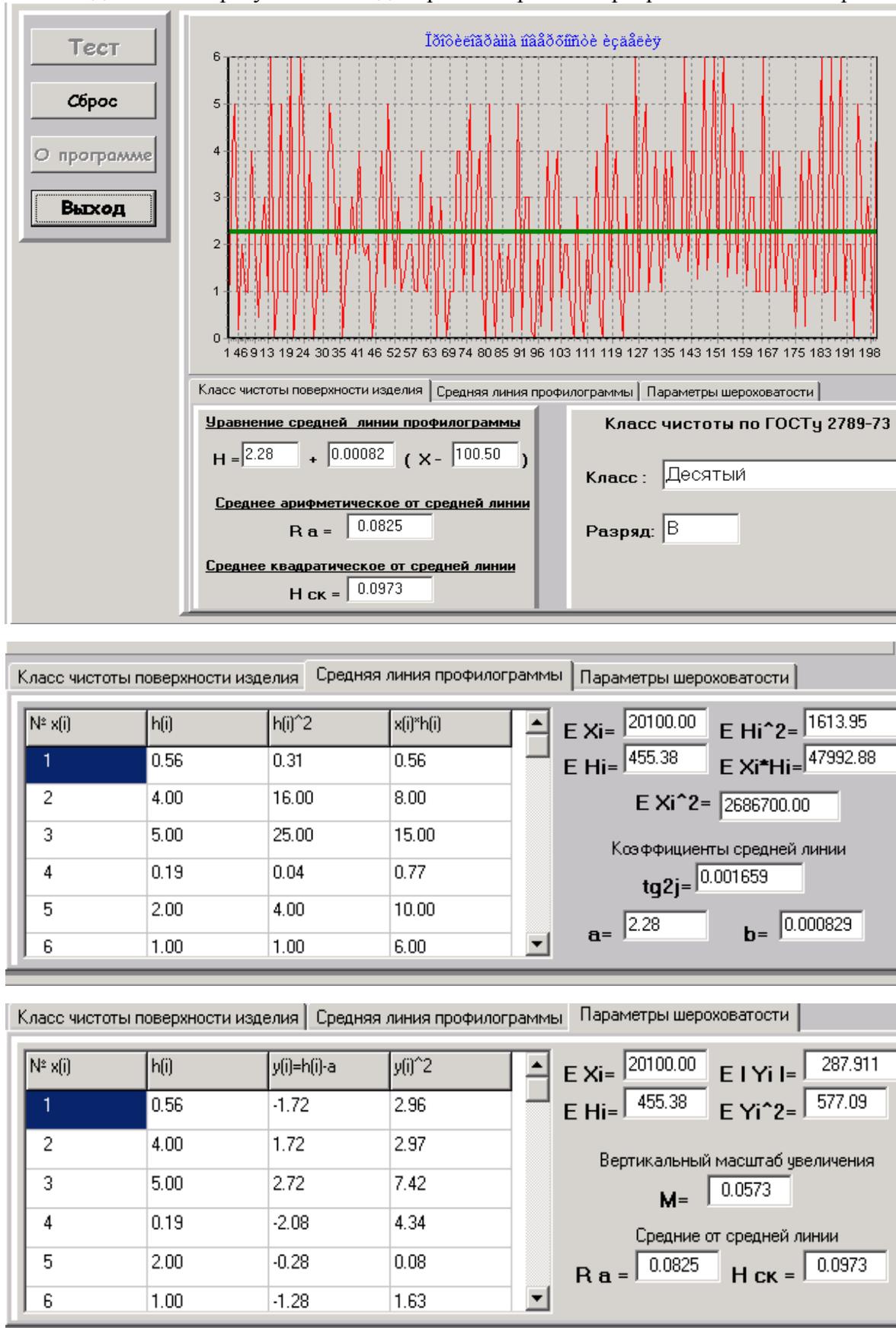


Рисунок 4 — Визуализация результатов работы прибора

Кнопка «**О программе**» выводит данные разработчика программы.

Кнопка «**Выход**» производит закрытие программы.

При нажатии кнопки «Тест» появляется 3 закладки:

– закладка «Класс чистоты поверхности изделия» — вывод конечных результатов:

1. Уравнение средней линии,
2. Рассчитанные параметры шероховатости Ra и Nск,
3. Соответствующий этим параметрам класс чистоты поверхности по ГОСТ 2789-73.

– закладка «Средняя линия профилограммы» — вывод вспомогательной таблицы для построения средней линии, состоящая из № точки x_i' , h_i — высоты неровности, соответствующей x_i' и произведение $x_i' * h_i$. На экран выведены $\sum x_i'$, $\sum h_i$, $\sum x_i' * h_i$, $\sum h_i^2$, а так же коэффициенты a и b уравнения средней линии.

– закладка «Параметры шероховатости» — вывод вспомогательной таблицы для вычисления Ra и Nск относительно построенной средней линии поверхности профиля. Таблица включает № точки x_i' , h_i — высоты неровности, соответствующей x_i' , $y_i = h_i - a$, где a — коэффициент уравнения средней линии и y_i^2 . На экран выведены $\sum x_i'$, $\sum h_i$, $\sum y_i$, $\sum y_i^2$, вертикальный масштаб увеличения M :

$$M = \frac{\lambda}{2C},$$

где

λ — длина волны источника света в м/с; $\lambda = 0,55$ мк

C — расстояние между двумя соседними интерференционными полосами профилограммы в мм. $C = 4,8$ мм.

Выводы

1. Разработана структурная схема прибора — анализатора шероховатых поверхностей.
2. Обоснован выбор цифровой видеокамеры для анализа и визуализации шероховатости исследуемых объектов.
3. Разработано математическое обеспечение для автоматизации процесса обработки профилограмм.
4. Моделированием в среде Delphi 6.0 доказана правильность принятых теоретических положений.

Литература

1. В.А. Егоров. Оптические и щуповые приборы для измерения шероховатости поверхности/ М.— 1965г. — 260 с.
2. А.И. Карташев. Шероховатость поверхности и метод ее определения. —М., 1964г. — 311 с.
3. Шероховатость поверхности. ГОСТ 2789-73.
4. Н. Н. Марков. Взаимозаменяемость и технические измерения. — М., — 1972г. — 295 с.