

ТЕКСТУРНАЯ СЕГМЕНТАЦИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗОН ИЗНОСА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ АМПЛИТУДНО-ДЕТЕКТОРНЫМ МЕТОДОМ

Марина Полякова, Виктор Крылов, Наталья Волкова

Одесский национальный политехнический университет,
пр. Шевченко, 1, Одесса, 65044, Украина,
marina_polyakova@rambler.ru

Резюме: Разработан амплитудно-детекторный метод текстурной сегментации изображений зон износа режущих инструментов со следами хрупкого разрушения. Предложена математическая модель изображений зон износа режущих инструментов со следами хрупкого разрушения как спектрально-статистическая модель текстурного изображения с амплитудно-модулированными колебаниями значений интенсивности.

Ключевые слова: текстурная сегментация изображений, спектральная и статистическая текстура, модель изображений зон износа режущих инструментов.

ВВЕДЕНИЕ

Возрастающие требования к качеству обработки при изготовлении высокоточных деталей обуславливают необходимость применения сложных, дорогостоящих режущих инструментов (РИ). Внезапные отказы РИ приводят к значительным простоям оборудования и потерям качества прецизионной обработки деталей. Принудительная смена инструмента вызывает удорожание производства. Поэтому необходимо проводить контроль и диагностирование РИ в процессе обработки, что снижает стоимость и ресурсоемкость производства.

Перспективным направлением контроля и диагностирования РИ являются визуальные методы, которые реализуются с помощью систем формирования изображений и автоматизированных систем обработки изображений (АСОЗ). Использование системы формирования изображений позволяет решать задачи диагностики РИ на основании их контроля цифровой фотокамерой. Функциональное назначение АСОЗ включает предварительную обработку изображений зон износа РИ, сегментацию, идентификацию геометрических размеров дефектов и классификацию этих изображений по параметрам изнашивания.

Формирование изображений зоны износа режущей части РИ проводится следующим образом. В моменты прерывания обработки в

контрольной позиции станка предварительно очищенная режущая часть РИ ориентируется относительно цифровой фотокамеры, освещается, и отраженный световой поток попадает на цифровую фотокамеру системы формирования изображений.

В результате получены изображения зон износа РИ, соответствующие одному из состояний токарных проходных резцов из твердого сплава с нитридно-титановым покрытием. Одно из этих изображений приведено на рис. 1.

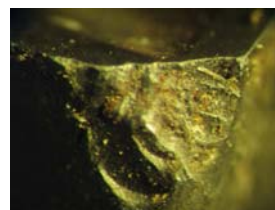


Рис. 1 – Изображение зоны износа РИ из твердого сплава с нитридно-титановым покрытием

Дефект РИ с рис. 1 представляет собой скол режущей части. Резкие грани этого дефекта вызваны хрупким характером разрушения, началом которого являются трещины. Существующие АСОЗ [1] для визуального контроля и диагностики РИ не обеспечивают необходимой вероятности правильного диагностирования. Это связано со спецификой

формирования изображений зон износа РИ со следами хрупкого разрушения, заключающейся в том, что соответствующее изображение является текстурным. Уровень помех на таком изображении высокий, что является причиной пересегментации изображения применяемыми в настоящее время методами [1] (наблюдается много ложных границ сегментов). Поэтому актуальной является задача разработки математической модели текстурного изображения зон износа РИ со следами хрупкого разрушения и метода его сегментации.

Целью работы является разработка метода текстурной сегментации изображений зон износа РИ со следами хрупкого разрушения для повышения помехоустойчивости сегментации. Для достижения поставленной цели предлагается математическая модель изображения зон износа РИ со следами хрупкого разрушения.

1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗОН ИЗНОСА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ СО СЛЕДАМИ ХРУПКОГО РАЗРУШЕНИЯ

При использовании прямых методов контроля величина и тип износа отражаются на изображениях зон износа РИ. Значения интенсивности изображений зон износа РИ содержат случайную составляющую вследствие того, что система резания характеризуется множеством случайных факторов, а также того, что в результате трения поверхности резания о задние поверхности и стружки о переднюю поверхность инструмента твердые микрокомпоненты материала обрабатываемой детали царапают материал инструмента, постоянно разрушая его.

Сложная форма режущей части и неравномерность загрузки различных участков режущей кромки РИ обуславливают появление локальных особенностей на изображениях зон износа РИ из-за локального характера износа. Поэтому такие изображения содержат несколько областей с однородными свойствами.

Значения интенсивности изображений зон износа РИ содержат в качестве составляющих амплитудно-модулированные сигналы с различной несущей частотой. Амплитудно-модулированный сигнал представляет собой произведение огибающей и гармонического заполнения [2]. Как правило, предполагается, что огибающая изменяется в зависимости от пространственной координаты гораздо медленнее, чем высокочастотное заполнение. Описание значений интенсивности изображений зон износа РИ с помощью амплитудно-

модулированных сигналов связано с тем, что при обработке материалов резанием возникают многочисленные возмущения разного происхождения и длительности [3]: медленно протекающие возмущения, такие как изнашивание базовых элементов станка; возмущения средней длительности, связанные, например, с изнашиванием инструмента и температурными деформациями; быстро протекающие возмущения, например, колебания отдельных элементов станка.

Приведенные рассуждения позволяют охарактеризовать изображения зон износа РИ как текстурные изображения. Случайные быстро протекающие возмущения при обработке материалов резанием отображаются на детали в виде шероховатостей и мелких выкрашиваний. Изображения зоны такого износа представляют статистическую текстуру. Медленно протекающие возмущения системы резания и возмущения средней длительности являются причиной хрупкого разрушения инструмента. Изображения зоны такого дефекта могут быть смоделированы как спектральная текстура. Таким образом текстурную сегментацию изображений зон износа РИ при диагностировании следов хрупкого разрушения целесообразно проводить как по спектральным, так и по статистическим текстурным признакам. В этом случае текстура описывается гибридной спектрально-статистической моделью, позволяющей проводить сегментацию изображений зон износа РИ по признакам обеих групп.

Статистическая текстура характеризуется отсутствием информации о форме и размерах непроецируемых элементов, под которыми понимаются связанные множества пикселей изображения с определенными значениями интенсивности. Пространственная организация непроецируемых элементов статистической текстуры описывается вероятностными зависимостями [4].

Спектральная текстура характеризуется наличием частичной информации о непроецируемых элементах, в частности, об их размерах, которая интерпретируется в терминах пространственной частоты [4].

В качестве границ текстурно-однородных областей изображения целесообразно использовать границы областей дефектов РИ, т. к. они связаны с физической природой нарушения работоспособности последнего. Тогда математическую модель изображения зон износа РИ сформулируем следующим образом [5].

Пусть $x=1, \dots, N$; $y=1, \dots, M$, – пространственные координаты. Представим область определения Ω текстурного

изображения в виде разбиения на семантически однородные области Ω_i , $i=1, \dots, k$; такие, что $\Omega = \bigcup_{i=1}^n \Omega_i$, $\Omega_i \cap \Omega_j = \emptyset$, если $i \neq j$. Предположим, что значения интенсивности i -й текстурной области Ω_i изображения описываются формулой

$$I(x, y) = \bigcup_{i=1}^k \{ (c_i(x, y) + N_i(x, y) + \sum_{j=1}^n A_{ij}(x, y) \cos(\omega^j x + \varphi^j) \cos(\omega^j y + \varphi^j)) \times R(x, y), (x, y) \in \Omega_i \}, \quad (1)$$

где $I(x, y)$ – значения интенсивности изображения зон износа РИ, $c_i(x, y)$ – представление фона в i -й текстурной области Ω_i изображения, $A_{ij}(x, y)$, ω^j , φ^j – соответственно амплитуда, частота и фаза j -го амплитудно-модулированного колебания в i -й текстурной области, $N_i(x, y)$ – белый гауссовский шум с нулевым средним и дисперсией σ_i^2 , $R(x, y)$ – освещенность изображения. Использование $R(x, y)$ обусловлено тем, что из-за неравномерности освещения изображение зон износа РИ содержит мультипликативную помеху.

Предположим, что $A_{ij}(x, y)$ является медленно изменяющейся функцией пространственных координат (x, y) по сравнению с гармоническим заполнением несущей частоты ω^j . Медленное изменение $A_{ij}(x, y)$ при изменении (x, y) преобразует гармонические колебания значений интенсивности изображения зон износа РИ в амплитудно-модулированные сигналы. Составляющая $N_i(x, y)$, соответствующая белому гауссовскому шуму с изменяющейся дисперсией, представляет статистическую текстуру изображения. Спектральная текстура отражена присутствием суммы амплитудно-модулированных колебаний в описании функции $I(x, y)$ значений интенсивности изображения зон износа РИ.

На границах текстурных областей значения фоновой составляющей изображения, дисперсии шума, а также амплитуды модулированных сигналов скачкообразно изменяются. При такой модели представления текстурного изображения

для построения сегментации необходимо определить границы текстурных областей.

Таким образом, в работе впервые разработана математическая модель изображений зон износа РИ в виде гибридной спектрально-статистической модели текстурного изображения с амплитудно-модулированными колебаниями значений интенсивности. Эта модель позволяет учесть тот факт, что значения интенсивности изображений зон износа РИ содержат как амплитудно-модулированные сигналы, так и локальные особенности, обусловленные возмущениями системы резания различного происхождения и длительности.

Модель (1) является гибридной в том смысле, что она описывает присутствие как статистической, так и спектральной текстуры на изображениях зон износа РИ со следами хрупкого разрушения. Для верификации этой модели заметим, что значения интенсивности изображений зон износа РИ содержат тренд, белый шум и амплитудно-модулированные сигналы. Тренд определяет фоновую составляющую изображения и идентифицируется пиком спектра мощности на нулевой частоте. Идентификация белого гауссовского шума на изображениях зон износа РИ проводилась путем выделения однородного фрагмента изображения и построения его спектра мощности. С помощью визуального анализа выявлена равномерность построенного спектра мощности, а нормальность значений интенсивности выделенного фрагмента изображения подтвердилась путем проверки статистической гипотезы по критерию χ^2 с уровнем значимости 0,05. Чтобы проверить, отличаются ли спектры мощности значений интенсивности изображений зон износа РИ для разных текстурно-однородных областей, после удаления фоновой составляющей строились спектры мощности фрагментов изображения из зон изношенной и неизношенной задней поверхности РИ (рис. 2, 3).

Визуальный анализ спектров мощности фрагментов изображения из зон изношенной и неизношенной задней поверхности РИ показывает, что значения интенсивности этих фрагментов сильно отличаются по амплитуде спектральных составляющих, и незначительно – по спектральному составу.

Последнее означает, что разные текстурно-однородные области изображения отличаются также дисперсией значений интенсивности, которая для фрагментов изображения из зон изношенной и неизношенной задней поверхности РИ составила соответственно 0,0181 – 0,0303 и 0,0010 – 0,0026. Т. е. значения

дисперсии интенсивности разных фрагментов изображений зон износа РИ отличаются на порядок. Следовательно, для изображений зон износа РИ со следами хрупкого разрушения модель (1) адекватно отражает реальное изображение.

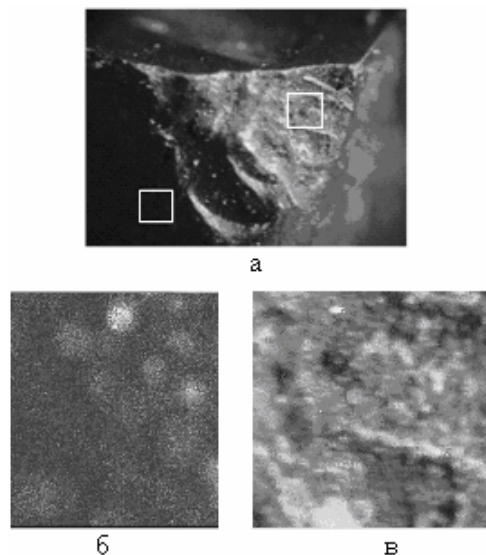


Рис. 2 – Изображение зоны износа РИ (а) и его фрагмент из зоны неизношенной (б) и изношенной (в) задней поверхности

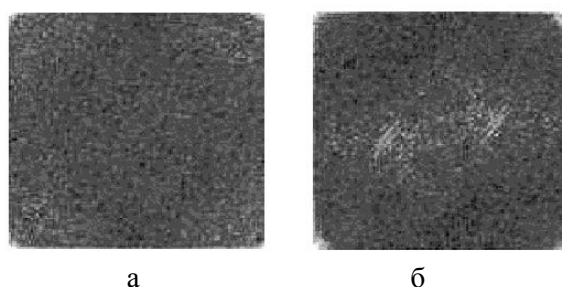


Рис. 3 – Спектр мощности фрагмента изображения с рис. 2, б (а) и с рис. 2, в (б)

Верификация модели (1) показала, что изображение зон износа РИ со следами хрупкого разрушения соответствует модели статистической текстуры в определенной области частотного спектра. При сегментации спектральной текстуры детекторным методом так или иначе выполняется частотное детектирование – преобразование изменения частотного состава фрагмента текстуры в изменение значений интенсивности изображения. Для сегментации статистических текстур используется амплитудное детектирование: изменение статистик случайной составляющей преобразуется в изменение значений интенсивности изображения. В случае обработки изображений зон износа РИ со следами хрупкого разрушения как признак сегментации нас интересует дисперсия

случайной составляющей значений интенсивности (это подтвердила процедура верификации модели). Присутствие суммы амплитудно-модулированных сигналов приводит к необходимости проводить полосовую фильтрацию значений интенсивности изображения. С помощью полосового фильтра выделяется наиболее информативная спектральная составляющая значений интенсивности изображения, затем внутри выделенной частотной полосы текстура считается статистической. Этот подход представляет собой композицию методов сегментации спектральной и статистической текстуры, т. к. на изображении мы оставляем одну наиболее информативную составляющую, а остальные – отбрасываем. То, что полосовая фильтрация преобразует изображение зон износа РИ со следами хрупкого разрушения в статистическую текстуру подтверждается компьютерным экспериментом. В частотной области такая текстура обладает полосовым спектром, а в пространственной области напоминает случайное поле.

Т. о. полосовая фильтрация приближает текстурное изображение зон износа РИ со следами хрупкого разрушения к изображению статистической текстуры, для сегментации которой целесообразно применять амплитудное детектирование.

2. РАЗРАБОТКА АМПЛИТУДНО-ДЕТЕКТОРНОГО МЕТОДА ТЕКСТУРНОЙ СЕГМЕНТАЦИИ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗОН ИЗНОСА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

При анализе текстурных изображений зон износа РИ границы текстурно однородных областей позволяют локализовать границы дефектов, несущих наиболее существенную информацию для диагностирования РИ. Тогда для принятия диагностического решения о хрупком характере разрушения РИ прецизионной обработки необходимо выделить границы однородных текстурных областей на изображении зон износа РИ. Для решения этой задачи необходим метод текстурной сегментации изображений с высокой оперативностью, высокой помехоустойчивостью и достаточно низкой погрешностью.

Требование высокой оперативности метода вызвано тем, что время диагностирования РИ, превышающее время обработки детали, приводит к значительным простоям оборудования и потерям качества обработки. Сегментация изображений зон износа РИ

является базовой процедурой, определяющей производительность системы визуального контроля и диагностирования РИ. Поэтому время работы этой процедуры должно быть, по крайней мере, сравнимо со временем обработки детали (например, втулка обрабатывается 2 мин, валик – 10 мин). Длительное время диагностирования приводит к отсутствию наблюдаемости состояния РИ.

Метод текстурной сегментации изображений зон износа РИ должен характеризоваться высокой помехоустойчивостью, так как отношение сигнал/шум для таких изображений составляет 17 – 30 по мощности.

Погрешность метода текстурной сегментации изображений зон износа РИ должна составлять 0,005 – 0,007мм (5-7% от линейного размера зоны основного износа, не превышающего 0,1мм). При размере изображения 960 x 1280 пикселей это составляет 30 – 50 пикселей.

Существуют 2 группы методов, которые применяются для сегментации текстурных изображений. Методы первой группы [6] (детекторные) осуществляют переход от значений признака сегментации к значениям интенсивности изображения и включают процедуры оценки признака сегментации или величины, функционально связанной с этим признаком; сигнально-семантического преобразования, подчеркивающего границы между однородными областями изображения; пороговой и морфологической обработки потенциальных границ однородных текстурных областей. Согласно второй группе методов текстурной сегментации изображений [7] производится оценка признака сегментации, классификация векторов признака, выделение граничных точек однородных областей и обработка границ.

Оперативности второй группы методов текстурной сегментации изображений недостаточно для принятия диагностического

решения о состоянии РИ. К тому же эти методы при малых отношениях сигнал/шум изображений характеризуются низкой помехоустойчивостью и высокой погрешностью. Поэтому для решения задачи текстурной сегментации изображений зон износа РИ используем детекторные методы.

В [5] разработан метод текстурной сегментации изображений на основе модели (1) с применением амплитудного детектирования (рис. 4).

На базе амплитудно-детекторного метода в данной работе предложен метод текстурной сегментации изображений зон износа РИ (рис. 5). Этот метод проводит сегментацию изображения путем обнаружения изменений амплитуды квазигармонических составляющих значений интенсивности изображения. Высокочастотная фильтрация изображения зон износа РИ удаляет трендовую составляющую модели (1). Частота среза фильтра верхних частот определяется частотными характеристиками тренда. Последующее двуполупериодное выпрямление и низкочастотная фильтрация позволяют выделить квазигармонические составляющие модели (1) путем ослабления влияния гауссовского шума. При выделении огибающей квазигармонической составляющей с помощью амплитудного детектирования частота среза низкочастотного фильтра определяется спектральным составом изображения, в частности частотами квазигармоник, и настраивается в соответствии с самой низкочастотной квазигармоникой.

Реализация этапов метода с рис. 5 выполняется следующим образом.

Т. к. в результате неравномерного освещения изображение зон износа РИ содержит мультипликативную помеху, проводится гомоморфная фильтрация изображения, которая включает логарифмирование, высокочастотную фильтрацию и потенцирование.

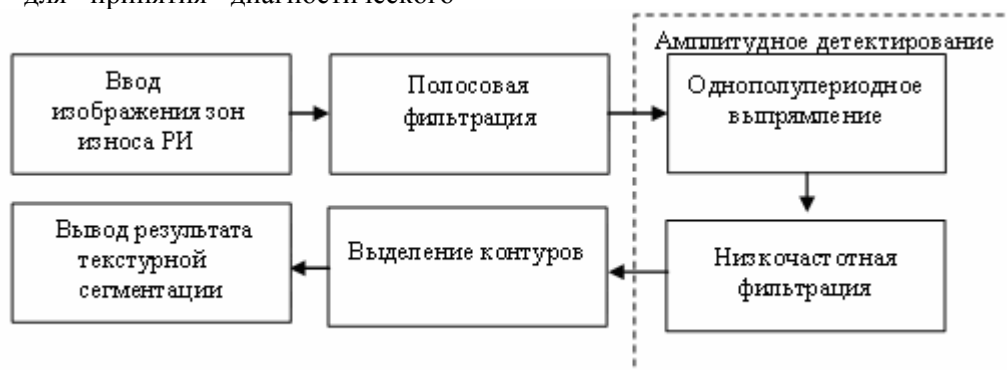


Рис. 4 – Функциональная схема амплитудно-детекторного метода текстурной сегментации изображения



Рис. 5 – Функциональная схема амплитудно-детекторного метода текстурной сегментации изображений зон износа РИ

Далее проводится локализация значений интенсивности каждой строки изображения зон износа РИ в области пространственных частот. Для этого значения интенсивности каждой строки изображения рассматриваются как реализация случайного процесса, из которой удаляется тренд, аппроксимируемый полиномом 5-го порядка. Эта процедура реализует высокочастотную фильтрацию значений интенсивности каждой строки изображения.

Выполняется амплитудное детектирование значений интенсивности каждой строки изображения зон износа РИ. Эта процедура включает двуполупериодное выпрямление [2] и низкочастотную фильтрацию с частотой среза 1,5915 рад/м. Высокий уровень помех на изображении зон износа РИ со следами хрупкого разрушения не позволяет качественно выделить границу зоны износа для диагностирования. При таком уровне помех стандартным подходом является переход к бинаризованному изображению с последующей морфологической обработкой и выделением контуров дефекта.

Проводится бинаризация изображения, полученного в результате амплитудного детектирования. Порог для бинаризации выбирается путем анализа гистограммы изображения. Используется метод мод [8], предполагающий, что изображение содержит известное число однородных по интенсивности

классов точек, то есть классов таких точек, распределения вероятности интенсивностей которых унимодальны. Кроме того, считается, что граничные участки между текстурно-однородными областями занимают сравнительно небольшую площадь изображения. На гистограмме им соответствуют межмодовые впадины, в пределах которых устанавливаются пороги сегментации. В нашем случае гистограмма изображения зон износа РИ содержит две моды, соответствующие зоне изношенной задней поверхности и зоне неизношенной задней поверхности. По впадине между модами устанавливается порог для бинаризации.

Выполняется морфологическая обработка полученного бинаризованного изображения [9]. Это изображение (рис. 6, а) содержит разрывы шириной 90-100 пикселей и длиной 50-100 пикселей, поэтому прежде всего его морфологическая обработка включает заполнение дыр. Дырой называется множество фоновых пикселей, которых нельзя достигнуть путем заполнения фона начиная от границы объекта [9].

После заполнения дыр бинаризованного изображения необходимо удалить несущественные по размерам детали, например, объект, соответствующий фасочке неперетачиваемой твердосплавной пластинки в правом верхнем

углу изображения с рис. 6, а. С этой целью к изображению применялась операция эрозии по примитиву меньших размеров, чем объекты, которые мы желаем сохранить. Например, использовался примитив в форме круга радиусом 12 пикселей.

После применения эрозии для сглаживания выступающих участков текстурной области зоны износа РИ применялась морфологическая операция замыкания с примитивом в форме круга радиусом 15 пикселей. Размыкание сглаживает границы области, обрывает узкие перешейки и ликвидирует выступы небольшой ширины (рис. 6, б).

Изображение, полученное в результате размыкания, содержит кроме области дефекта мелкие белые пятна, не несущие существенной информации для диагностирования РИ. Для удаления этих мелких пятен использовался метод фильтрации слитных групп или сегментации по признаку равной интенсивности [9], заключающийся в следующем. На изображении выделяются 8-связные белые области и рассчитывается площадь каждой из этих областей. Если площадь области превышает некоторый порог (в нашем случае – 5000 пикселей), область заливается черным цветом. Преимущество метода фильтрации слитных групп в том, что при его использовании изображение не искажается как при медианной фильтрации или как в процессе применения морфологических операций.

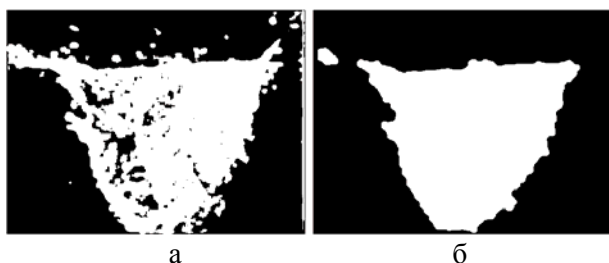


Рис. 6 – Бинаризованное изображение, полученное в результате пороговой обработки изображения после амплитудного детектирования (а), результат применения операции размыкания к изображению с рис. 6, а (б)

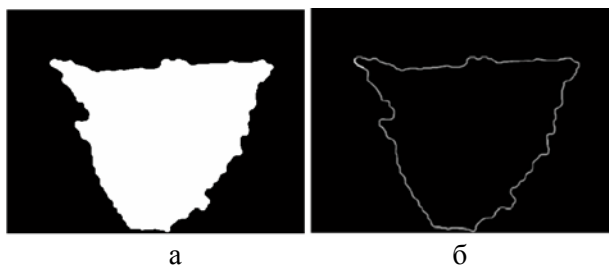


Рис. 7 – Результат текстурной сегментации изображения с рис. 8, а на базе амплитудного детектирования до выделения контуров (а), после выделения контуров (б).

После морфологической обработки для выделения контуров объектов бинарного изображения использовался метод Канни. Контурные на бинарном изображении определяют границы однородных текстурных областей изображения зон износа РИ.

3. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ И ВЫВОДЫ

В ходе экспериментальных исследований предложенного амплитудно-детекторного метода текстурной сегментации было обработано 86 изображений зон износа РИ. Диапазон изменения отношения сигнал/шум для этих изображений составил 19 – 27 по мощности. Рассматриваемые изображения были подобраны т. о., чтобы дефект инструмента находился в фокусе, изображения могли содержать мелкие несущественные детали и размытые края. Размер изображений – 960x1280 пикселей, время обработки на компьютере Intel (R) Celeron (TM) CRU 1000MHz 128 ОЗУ составило 55,8 с. В этих условиях вычислялась погрешность определения границы области дефекта, полученной в результате сегментации предложенным методом, по сравнению с областью дефекта, обозначенной экспертом на изображении зон износа РИ. Такая погрешность составила 27 – 40 пикселей, т. е. 4,8 – 7,2 % от линейного размера дефекта. Т. о. результаты обработки изображений зон износа РИ согласно экспериментальным исследованиям удовлетворяют требованиям систем визуального контроля и диагностики РИ.

Аппаратная функция используемой на этапе эксперимента цифровой фотокамеры вносит линейные искажения в сформированное изображение зон износа РИ, а неравномерное естественное освещение отражается на компоненте фона изображения. Взаимное расположение освещения, резца и камер фиксировано и определяется контрольной позицией станка в момент прерывания обработки. При эксплуатации системы визуального контроля и диагностики РИ планируется использовать широкофокусную цифровую фотокамеру, не вносящую описанные искажения, а также осветительную фокусирующую установку, обеспечивающую равномерное освещение. Однако даже в условиях эксперимента разработанный амплитудно-детекторный метод текстурной сегментации изображений зон износа РИ со следами хрупкого разрушения обеспечивает качественное выделение границ дефекта в отличие от методов контурной сегментации таких изображений [1], допускающих пересегментацию. Заметим, что в результате

полосовой фильтрации утрачивается часть полезной для сегментации информации. Поэтому направлением дальнейших исследований может быть сегментация изображений зон износа РИ по нескольким признакам.

4. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] О.Г. Дерев'янченко, С.Г. Антошук, О.Ю. Бабилунга, А.В. Поплавський. Аналіз зносу в системах діагностування станів інструментів з використанням СТЗ. *Праці 8-ої всеукраїнської міжнародної конференції "Обробка сигналів та розпізнавання образів" (УКРОБРАЗ'2006)*, Київ, Україна, 28-31 серпня 2006, с. 103-105.
- [2] И.С. Гоноровский. *Радиотехнические цепи и сигналы*. Москва, 1986. 512 с.
- [3] М.М. Аршанский, В.П. Щербаков. *Вибродиагностика и управление точностью обработки на металлорежущих станках*. Москва, 1988. 136 с.
- [4] Р. Харалик. Статистический и структурный подходы к описанию текстур. *ТИИЭР 67(5)* (1979). с. 98-120.
- [5] В.Н. Крылов, М.В. Полякова, Н.П. Волкова. Метод текстурной сегментации изображений с применением детектирования. *Вестник ХНТУ* (2006). с. 226-270.
- [6] D. Dunn, W.E. Higgins, J. Wakeley. Texture segmentation using 2D Gabor elementary function. *IEEE Trans. on PAMI 16(2)* (1994). p. 130-149.
- [7] V.V. Chandhuri, N. Sarkar. Texture segmentation using fractal dimension. *IEEE Trans. on PAMI 17(1)* (1995). p. 72-77.
- [8] П.А. Бакут, Г.С. Колмогоров, И.Э. Ворновицкий. Сегментация изображений: методы пороговой обработки. *Зарубежная радиоэлектроника*, 10 (1987). с. 6-24.
- [9] Р. Гонсалес, Р. Вудс. *Цифровая обработка изображений*. Москва, 2005. 1072 с.



Марина Полякова – специалист (1994), прикладная математика, Одесский государственный университет, к.т.н. (2004), автоматизированные системы управления и прогрессивные информационные технологии, доцент кафедры “Прикладная математика и информационные технологии в бизнесе” (2006), Одесский национальный политехнический университет.

Научные интересы: вейвлет-анализ, фракталы, теория обобщенных функций, функциональный анализ.



Виктор Крылов – специалист (1978), радиотехника, Одесский политехнический институт, к.т.н. (1986), радиотехнические и телевизионные системы и устройства, д.т.н. (2003), автоматизированные системы управления и прогрессивные информационные технологии, профессор кафедры “Прикладная математика и информационные технологии в бизнесе” (2005), Одесский национальный политехнический университет.

Научные интересы: цифровая обработка изображений, распознавание образов.



Наталья Волкова – специалист (1992), механика, Одесский государственный университет, старший преподаватель кафедры “Прикладная математика и информационные технологии в бизнесе” (2004), Одесский национальный политехнический университет.

Научные интересы: цифровая обработка изображений, распознавание образов.