

Таблица 1 – Представление структур Марковских полей изображений разных порядков

Марковское поле	Структурная форма поля	Формула вычисления вектора сумм соседних элементов
1-го порядка	$\begin{matrix} & i-1, j & \\ i, j-1 & i, j & i, j+1 \\ & i+1, j & \end{matrix}$	$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I(i-1, j) + I(i+1, j) \\ I(i, j-1) + I(i, j+1) \\ I(i-1, j) + I(i, j+1) \\ I(i+1, j) + I(i, j-1) \end{pmatrix}$
2-го порядка	$\begin{matrix} i-1, j-1 & i-1, j & i-1, j+1 \\ i, j-1 & i, j & i, j+1 \\ i+1, j-1 & i+1, j & i+1, j+1 \end{matrix}$	$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I(i, j-1) + I(i, j+1) \\ I(i-1, j) + I(i+1, j) \\ I(i-1, j-1) + I(i+1, j+1) \\ I(i-1, j+1) + I(i+1, j-1) \\ I(i, j-1) + I(i, j+1) + I(i+1, j) \\ I(i, j-1) + I(i, j+1) + I(i-1, j) \\ I(i-1, j-1) + I(i-1, j+1) + I(i, j-1) \\ I(i-1, j) + I(i, j-1) + I(i, j+1) \end{pmatrix}$
3-го порядка	$\begin{matrix} & & i+2, j & & \\ & i-1, j-1 & i-1, j & i-1, j+1 & \\ i, j-2 & i, j-1 & i, j & i, j+1 & i, j+2 \\ & i+1, j-1 & i+1, j & i+1, j+1 & \\ & & i+2, j & & \end{matrix}$	$\begin{pmatrix} S_1 \\ S_2 \\ S_3 \\ S_4 \\ S_5 \\ S_6 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I(i, j-2) + I(i, j+2) \\ I(i+2, j) + I(i-2, j) \\ I(i, j-1) + I(i, j+1) \\ I(i-1, j) + I(i+1, j) \\ I(i-1, j-1) + I(i+1, j+1) \\ I(i-1, j) + I(i+1, j-1) \end{pmatrix}$

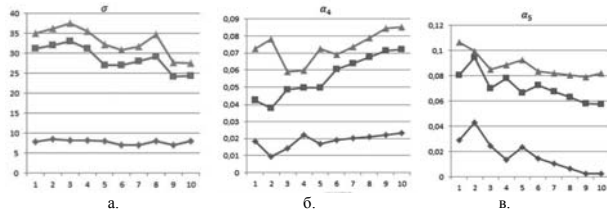


Рисунок 4 – Представление распределения значений информативных признаков текстур зон РЧ РИ, вычисленных по Марковским полям 3-го порядка (а - σ ; б - α_4 ; в - α_5 . На оси абсцисс каждого графика указаны номера анализировавшихся фрагментов текстурных изображений РЧ).

Компьютерное моделирование статистического подхода к формированию описания текстурных изображений зон износа РИ проведено на 4-х классах текстурных изображений зон износа РЧ РИ. Достоверность распознавания оценивалась по “проценту правильного распознавания” (ППР).

Установлено, что для ряда текстурных изображений РЧ РИ распознавание классов текстур, вычисленных по Марковским полям 3-го порядка, дает лучшие результаты – в сравнении с предыдущими разработками [1, 2]. В частности, следы нарушения целостности покрытия вследствие износа РЧ распознаны со следующими результатами: для метода использования матрицы смежности ППР=80%, для метода использования Марковских полей - 95%. Реализация системы распознавания зон износа РИ выполнена в среде программирования Microsoft Visual Studio 2010, на языке программирования C#. Программа имеет удобный интерфейс (рис. 5), который позволяет загрузить текстурное изображение анализируемой зоны РЧ РИ, улучшить его качество с помощью контрастирования, фильтрации. Выбор оптимальной обучающей выборки зависит от её размера и от сложности алгоритмов распознавания [5]. Исследования позволили определить оптимальный размер обучающей выборки – 30 текстурных изображений износа РИ. С позиций быстрейшего алгоритмов - время формирования признаков Марковскими полями на 50 мс больше, чем при построении матрицы смежности (25мс).

Выводы.

Приведены некоторые из результатов разработок нового подхода к распознаванию состояний изношенных и отказавших РИ, основанного на использовании нового метода определения классов текстур контактных поверхностей РИ. Среди признаков текстур поверхностей РИ впервые использованы признаки, вычисленные по Марковским полям изображений РЧ. Проведенные исследование по выбору порядка Марковского поля изображения показали, что наилучшие результаты распознавания текстур получены при $n = 3$.

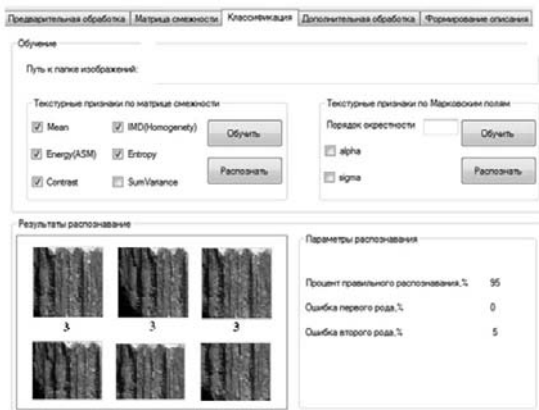


Рисунок 5 – Изображение одной из рабочих панелей программного комплекса для комплексного распознавания классов текстур инструментов

Распознавание текстур РЧ только по признакам, вычисленным по Марковским полям, повышает ППР для ряда классов текстур. Распознавание текстур РЧ по комплексу признаков, дополненному результатами анализа Марковских полей изображений, повышает ППР для всех исследованных классов текстур. Компьютерное моделирование соответствующей интеллектуальной системы подтвердило перспективность применения разработок для распознавания различных классов текстур РИ.

Список использованных источников: 1. Деревянченко А.Г. Система интеллектуального анализа изображений зон износа режущих инструментов/А.Г. Деревянченко, О.Ю. Бабилунга, Д.А. Кришныц // Резание и инструмент в технологических системах. — Харьков: НТУ “ХПИ”. 2010. — Вып. 78. — С. 34 – 41. 2. Деревянченко А.Г. Подход к распознаванию состояний поверхностей режущей части инструментов с учетом результатов анализа их текстур./А.Г. Деревянченко, О.Ю. Бабилунга, А.О.Соценко//Резание и инструмент в технологических системах. - Харьков: НТУ “ХПИ”. 2011 — Вып. 80. — С. 68 – 75. 3. Chellappa R. Model based texture segmentation and classification/ Chellappa R., Kashyap R.L.//World Scientific – Singapore, 1992 – p.277-310. 4. Kashyap R.L. Estimation and choice of neighborhoods in spatial interaction models of images, IEEE Trans. Inf. Theory, 1983, p.60-72. 5. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей / Р. Каллан. — М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.—291 с.

Поступила в редакцию 25.05.2012

УДК 621.922

Т.Г. Джугурян, д-р техн. наук, А.А. Новак, Одесса, Украина

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО КОНТРОЛЯ РАЗМЕРНОГО ИЗНОСА РАСТОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА ОДНОСТОРОННЕГО РЕЗАНИЯ

Запропонований метод автоматизованого контролю ефективності роботи механізму самокомпенсації зношування роточного інструменту одностороннього різання.

Предложен метод автоматизированного контроля эффективности работы механизма самокомпенсации износа расточного инструмента одностороннего резания.

The method of the automated control of overall performance of the mechanism of self-compensation of wear of the boring instrument of unilateral cutting is offered.

Одним из основных факторов влияющих на размерную точность обработки операций растачивания является износ рабочих элементов расточного инструмента одностороннего резания (РИОР).

Повышение эффективности обработки точных координированных отверстий связано с увеличением размерной стойкости инструмента на основе комплексного применения современных износостойких инструментальных материалов и механизмов самокомпенсации износа.

Для повышения размерной точности обработки отверстий РИОР предложены автономные механизмы самокомпенсации износа, основанные на кинематической связи режущего элемента и передаточного числа кинематической цепи больше единицы происходит радиальное выдвигание режущего элемента при изменении диаметра обрабатываемого отверстия. Таким образом, происходит частичная самокомпенсация износа инструмента. Непрерывно-периодическая самокомпенсация осуществляется за счет выполнения одного из трех направляющих в виде ограниченно подвижного упругого элемента и наличия компенсирующего звена в кинематической цепи. Применение механизмов непрерывно-периодической самокомпенсации износа позволяет повысить размерную стойкость комбинированных инструментов в 2 раза, гарантированно обеспечить 6 – 7 квалитет точности (в отдельных случаях IT5) растачивания отверстий диаметрами более 40 мм и относительной длиной не более 20 ($l_0/d_0 \leq 20$) в стальных и чугуновых заготовках [1].

Недостатком использования РИОР с самокомпенсацией износа является то, что его предельный износ невозможно своевременно выявить на основе контроля диаметра обработанного отверстия. Следствием этого является не-

полное использование рабочих элементов РИОР, приводящее к снижению эффективности применения таких инструментов. Поэтому возникла необходимость разработки метода автоматизированного контроля размерного износа РИОР в процессе его эксплуатации.

Целью работы является повышение эффективности использования РИОР за счет автоматизированного контроля износа его рабочих элементов.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

- разработать метод автоматизированного контроля размерного износа РИОР;

- определить эффективность предложенного метода автоматизированного контроля размерного износа РИОР.

Схема РИОР с механизмами непрерывно-периодической самокомпенсации износа представлена на рисунке 1. Он состоит из корпуса 1, в котором установлены режущий элемент 2, направляющие 3, 4, 5 и коромысло 6. Направляющий элемент 5 выполнен в виде ограниченно подвижного упругого элемента. Оптимальное расположение рабочих элементов инструмента: $\varphi_1 = 45^\circ$, $\varphi_2 = 180^\circ$, $\varphi_3 = 230^\circ$ [1].

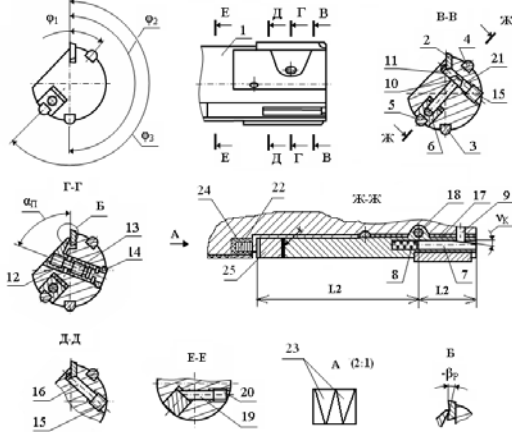


Рисунок 1 – Схема РИОР с механизмом непрерывно-периодической самокомпенсации износа

Размерная настройка режущего элемента 2, закрепленного в корпусе 1 прихватом 12, винтом 13 и упругой втулкой 14, реализуется набором толкателей 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 24, 25.

лей 10, 11, 16, 21 и винтами 15. Коромысло 6 установлено в корпусе 1 на упругом основании 17 из маслостойкой резины толщиной $h_{н1} = 0,5 - 2$ мм с возможностью поворота вокруг оси штифта 18. Поворот коромысла 6 ограничен упругим основанием 17 и регулируемым ограничителем 19 с винтом 20. Инструменты снабжены толкателем 9, компенсатором 7 с упругим элементом 8. Угол φ_k наклона клина компенсатора 7, взаимодействующего с наклонной торцовой поверхностью толкателя 9, выполнен в пределах $5 - 7^\circ$, что исключает осевое перемещение компенсатора 7 под действием силы резания.

Вследствие износа режущего элемента изменение диаметра обрабатываемого отверстия приводит к радиальному перемещению направляющих 3, 4 и 5 к оси инструмента, в результате чего коромысло 6 и толкатели 9, 10, 11 выдвигают элемент 2 в радиальном направлении, компенсируя его размерный износ. Увеличение диаметра обрабатываемого отверстия вследствие радиального выдвигания режущего элемента 2 позволяет коромыслу 6 под действием упругого основания 17 совершить поворот в обратном направлении, обеспечивая контакт элемента 5 с заготовкой. Образующийся зазор в кинематической цепи, связывающей элементы 2 и 5, устраняется в процессе обработки механизмами непрерывно-периодической самокомпенсации износа перемещением режущего элемента 2 в обратном направлении и компенсатором 7. Особенностью механизмов непрерывно-периодической самокомпенсации износа является периодическая поднастройка режущего элемента после вывода РИОР из обработанного отверстия. Она осуществляется вследствие перемещения элемента 5 под действием упругого основания 17 в пределах ограничителя 19 и устранения компенсатором 7 зазора, образующегося между элементами 2 и 5 [1].

Для контроля перемещений коромысла 6 РИОР используется индуктивный датчик 22 (катушка датчика) с двумя металлическими пластинами 23 (якорь датчика). Катушка датчика установлена в корпусе 1 РИОР с использованием изоляционной клеевой прокладки 24, а металлические пластинки 23 – во вставке 25 коромысла 6. Вставка 25 выполнена из диэлектрического материала. Форма пластин 23 и их количество влияет на чувствительность индуктивного датчика 22 и на характеристику $x = f(e)$ (индуктивное сопротивление в зависимости от перемещения).

Выводы катушки 22 подключены к измерительной системе (см. рис. 2), состоящей из кварцевого генератора 26, блока преобразователя 27, блока электронных фильтров 28 и системы ЧПУ 29 станка, управляющей механизмом смены РИОР 30. [2].

При перемещении коромысла 6 с металлическими пластинами 23 относительно катушки датчика 22 в процессе эксплуатации РИОР происходит изменение формы магнитного потока, создаваемого катушкой, в результате которого меняется его индуктивное сопротивление. Изменение индуктивного сопротивления датчика 22 преобразуется на входе блока преобразователя 27 в



Рисунок 2 – Схема управления механизмом смены изношенного РИОР [2]

В процессе эксплуатации РИОР система ЧПУ регистрирует изменения напряжения, поступающие с датчика 22, в соответствии с графиком, представленным на рис. 3. Периодические скачки напряжения ΔU на датчике после каждого вывода РИОР из обрабатываемого отверстия определяются действием механизма непрерывно-периодической самокомпенсации износа режущего элемента. Величину скачка напряжения ΔU можно определить с помощью следующего выражения:

$$\Delta U = K_c \cdot K_L (J_H + J_P) \cdot (1 + J_H / J_P) / (0,25 + 0,75 \cdot J_H / J_P), \quad (1)$$

где

$$K_L = L_1 / L_2; \quad (2)$$

ΔU – скачок напряжения на датчике после вывода РИОР из обрабатываемого отверстия, мВ; K_c – постоянная датчика, мВ/мкм; K_L – коэффициент повышения чувствительности датчика; J_H – среднее значение радиального износа направляющих элементов, мкм; J_P – радиальный износ режущего элемента, мкм, L_1, L_2 – геометрические параметры коромысла РИОР, (см. рис. 1).

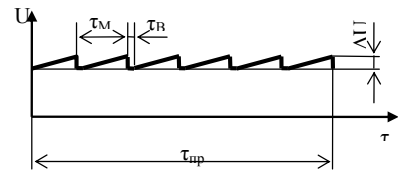


Рисунок 3 – Зависимость изменения напряжения U на датчике от времени τ эксплуатации РИОР: τ_M – время обработки заготовки; τ_B – время остановки; $\tau_{пр}$ – время эксплуатации РИОР до его полного износа

Значения параметров радиального износа режущего J_P и направляющих J_H элементов для различных сочетаний обрабатываемого и инструментального материалов можно определить с помощью литературных данных или экспериментально [1].

Количество скачков напряжения на датчике определяют суммарный размерный износ РИОР и время его эксплуатации до полного износа:

$$J_{пр} = N_L J_P; \quad (3)$$

$$\tau_{пр} = N_L (\tau_M + \tau_B), \quad (4)$$

где $J_{пр}$ – суммарный размерный износ режущего элемента время эксплуатации РИОР до его полного износа, мин; $\tau_{пр}$ – суммарное время эксплуатации РИОР до его полного износа, мин; τ_M – время обработки заготовки РИОР, мин; τ_B – время простоя между обработками заготовок РИОР, мин;

Более полное использование режущих свойств РИОР достигается при меньших значениях подналадочного перемещения режущего элемента после выводе РИОР из обработанного отверстия, то есть при более высокой чувствительности механизма самокомпенсации износа.

Чувствительность механизмов самокомпенсации износа характеризуется величиной изменения диаметра обрабатываемого отверстия, приводящей к радиальному выдвиганию режущего элемента. Эффективная работа рассматриваемых механизмов достигается при их чувствительности 4 – 8 мкм. В этом случае обеспечивается самокомпенсация износа при отсутствии скачкообразных перемещений режущего элемента в момент его выдвигания. указанной чувствительности механизма самокомпенсации износа величина перемеще-

ний коромысла в зоне металлических пластинок 23 составляет 0,02 – 0,04 мм. Величина этих перемещений зависит от соотношения геометрических параметров L_1, L_2 коромысла 6. Чем больше параметр K_s , тем выше эффективность регистрации скачков коромысла при выводе РИОР из расточенного отверстия в тех случаях, когда величина радиального износа режущего элемента после обработки одной заготовки менее 5 мкм. Важно отметить, что при таких малых величинах радиального износа режущего элемента срабатывание механизма самокомпенсации РИОР происходит только после обработки нескольких заготовок. Поэтому в этих случаях важно обеспечить более высокую чувствительность механизма самокомпенсации износа (4 – 5 мкм).

Чувствительность датчика определялась на стенде при плавном вводе вращающегося РИОР в конусообразное отверстие калибра и в условиях обработки стали 20Х с твердостью НВ до 216. Режимы обработки: скорость резания до 0,2 – 0,3 м/с; глубина резания и подача с непрерывно-периодической самокомпенсацией износа - $0,15 \cdot 10^{-3}$ м, $0,2 - 0,25 \cdot 10^{-3}$ м/об.

Установлено, что более высокие параметры чувствительности механизма самокомпенсации износа РИОР при равных условиях натяга в отверстиях калибра и заготовки достигаются в процессе резания. Это связано с влиянием неравномерной силы резания на повышение порога чувствительности механизма самокомпенсации износа.

Разработанный метод автоматизированного контроля износа режущего элемента РИОР позволяет повысить эффективность использования за счет более полного использования его режущих способностей, исключить появление брака в условиях автоматизированного производства. РИОР за счет автоматизированного контроля износа его рабочих элементов.

Список использованных источников: 1. Джусурия Т.Г. Комбинированная обработка точных координированных отверстий. - Одесса: АО БАХВА, 2003. - 108 с. 2. Расточная головка: А.с. 1386376 СССР, МКИ В23В 29/03 / Г.Д. Григорьян, Т.Г. Джусурия, Г.М. Бурбан (СССР). - №1240509 4/27; Заявлено 10.06.86; Опубл. 07.04.88, Бюл. № 13. - 4 с. 3. Активный контроль в машиностроении: Справочник / Педь Е.И., Высоцкий А.В. и др. / Под ред. Е.И. Педь. - М.: Машиностроение, 1978. - 352 с. 3.

Поступила в редакцию 15.06.2012

Появление систем компьютерного 3D моделирования позволило конструкторам и технологам уже на стадии проектирования получать ответы на большинство вопросов, связанных с технологичностью изделий и трудоемкостью их изготовления. Использование показателя сложности позволяет решать целый ряд производственных задач, возникающих на основных этапах жизненного цикла промышленного изделия, в частности, на этапах технической и организационно-экономической подготовки производства. Во-первых, сложность изделия представляет собой неотъемлемое свойство и определяется на основе его конструкторско-технологических признаков. Во-вторых, сложность позволяет оценивать трудоемкость и затраты на изготовление в организационно-технических условиях конкретной производственной системы. Поэтому оценка степени сложности изделий, на базе рассмотрения их компьютерных 3D моделей, является актуальной задачей.

Анализ литературы

Задача определения сложности изделий рассматривается в современных научных работах. В основном исследования проведены в области определения конструктивно-технологической сложности изделия, характеризующей его неотъемлемое свойство. При оценке сложности учитывались геометрические, структурные и другие свойства изделия, а также предъявляемые к ним конструкторские и технологические требования. Сложность рассматривается как мера затрат ресурсов на реализацию различных этапов жизненного цикла машиностроительного изделия.

Для этого в работах [11, 12, 13] были разработаны специальные математические модели, общим принципом формирования которых является иерархическая декомпозиция изделия на структурные составляющие – детали, т. е. производится выделение первичных элементов изделия. Далее производится декомпозиция детали с выделением элементарных поверхностей, которые характеризуются определенной геометрической формой и технологическими параметрами, представленными в виде коэффициентов. Для каждого уровня иерархической структуры изделия применяется специально разработанная функция для определения значения показателя сложности.

Задаче разработки показателя сложности деталей посвящены работы [21, 23, 25]. Показатель структурной сложности представляет собой совокупность конструктивных и технологических параметров детали, инструментов и приспособлений. Для реальной количественной оценки сложности детали требуется наличие достаточно обширной базы данных по аналогичным деталям с целью построения определенных корреляционных зависимостей. В работах также не учитывается способ построения модели детали.

В работе [22] предложен метод оперативной оценки конструктивной и технологической сложности машиностроительной детали путем анализа ее трехмерной САД-модели. Основным достоинством предложенного метода является отсутствие необходимости в привлечении статистической информа-

В.Л. Доброскок, д-р техн. наук, Л.Н. Абдурайимов,
Ю.Б. Витязев, канд. техн. наук, Харьков, Украина

ОЦЕНКА СТЕПЕНИ СЛОЖНОСТИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ИХ ТРИАНГУЛЯЦИОННЫХ МОДЕЛЕЙ

Розглянуто підхід до оцінки ступеня складності поверхонь промислових виробів на основі гауссової (повної) та середньої кривизни. В якості кількісного показника прийнято добуток інформаційної ентропії гауссової і середньої кривизни поверхні. Наведено результати тестування запропонованого підходу на основних аналітичних поверхнях і триангуляційних 3D моделях.

Рассмотрен подход к оценке степени сложности поверхностей промышленных изделий на основе гауссовой (полной) и средней кривизны. В качестве количественного показателя принято произведение информационной энтропии гауссової и средней кривизны поверхности. Приведены результаты тестирования предлагаемого подхода на основных аналитических поверхностях и триангуляционных 3D моделях.

The approach to assessing the degree of the surfaces complexity of industrial products based on the Gaussian (total) and the mean curvature. As a quantitative characteristics accepted a product of an information entropy of the Gaussian and mean surface curvature. The results of testing the proposed approach to the basic analytical surfaces and triangulated 3D models.

Постановка проблемы

В настоящее время одной из наиболее важных задач любого машиностроительного предприятия является эффективная организация производственного процесса. Рациональная организация производственного процесса невозможна без проведения тщательной технической подготовки производства. Одной из самых ответственных и трудоемких ее частей является технологическое проектирование, трудоемкость которого составляет 30-40% (от общей трудоемкости технической подготовки) в условиях мелкосерийного производства, 40-50% при серийном и 50-60% при массовом производстве [14].

Существует необходимость в разработке количественного показателя, характеризующего сложность и трудоемкость изготовления промышленного изделия. Такая необходимость в оценке сложности промышленных изделий возникает на протяжении всего цикла подготовки производства. Оценка может позволить выявить уровень технологичности изделий, учесть трудозатраты при их изготовлении и др.

Сложность и трудоемкость изготовления промышленных изделий напрямую зависят от сложности составляющих поверхностей и влияют на общую себестоимость. При выпуске машиностроительной продукции минимизация себестоимости является важным требованием обеспечения эффективности технологического процесса.

ции по аналогичным деталям. Исходные данные для выполнения анализа сложности получают из электронной модели детали, соответствующей требованиям ГОСТ 2.052-2006 [9]. Предложенная в данном методе математическая модель основана на том, что сложность отдельной поверхности детали является функцией от ряда параметров: кривизны, допустимых отклонений размеров, геометрической формы, взаимного расположения элементов и допустимой шероховатости поверхностей.

Определению сложности изделия на базе применения элементов интегральной геометрии и теории информации посвящена работа [27]. Сложность изделия рассматривается с двух различных сторон: внутренней – как сложность структуры или степени взаимозависимости между деталями (внутренняя сложность) и внешней – степень взаимодействия с описывающей изделие сферой (внешняя сложность).

Рассмотренные работы ориентированы, прежде всего, на решение технологических задач оценки сложности применительно к традиционным технологиям изготовления. Для работы с триангуляционными 3D моделями, используемыми в интегрированных генеративных технологиях (Rapid Prototyping) [7, 8], необходимо разработать количественный показатель для оценки их сложности.

Цель статьи – рассмотреть возможность разработки количественного показателя оценки сложности поверхностей промышленных изделий на базе их триангуляционных 3D моделей для использования при технологической подготовке производства на этапе предшествующем материализации.

Изложение основного материала

В настоящее время с появлением систем компьютерного 3D моделирования существенно повысилась эффективность процесса проектирования и изготовления машиностроительной продукции. Трехмерное моделирование является неотъемлемой частью современного машиностроительного производства. При переходе на 3D моделирование отпала необходимость в проектировании чертежей традиционными методами. В связи с этим время выпуска конструкторской документации существенно сократилось.

Триангуляционные модели, используемые в интегрированных генеративных технологиях, содержат описания трехмерной геометрии изделий в виде системы большого количества связанных между собой плоских треугольников. Каждый треугольник триангуляционной 3D модели определяется координатами своих вершин и характеризуется нормалью к его поверхности (направляющими косинусами). Задача разработки количественного показателя оценки сложности поверхностей изделия должна основываться на данных, содержащихся в триангуляционной 3D модели.

В качестве одного из подходов для оценки степени сложности поверхностей промышленного изделия предполагается использование информации о