

ность заряда принимала постоянные значения.

Исходя из найденных дискретных значений σ_i рассчитывалась емкость датчика. Ошибка расчета емкостей датчика численным методом не превосходила 1%. Несколько выше ошибка расчета емкостей с помощью классического аналитического выражения. Но и эта ошибка не превышала 1%. Этот факт говорит о том, что в случаях, когда межэлектродные зазоры датчика R_3-R_2 , R_5-R_4 и R_7-R_6 на порядок меньше длин цилиндрических электродов l_1 и l_2 , с достаточно высокой степенью точности для решения прямых и обратных задач может быть использовано аналитическое выражение емкости цилиндрического конденсатора $2\pi\epsilon_0\epsilon_1 l / (\ln R_{s+1}/R_s)$.

Емкость датчика C_1 определяется глубиной погружения электродов в жидкость $h - (l_2 - l_1)$, емкость C_2 определяется глубиной погружения $-h$. Различия в глубинах погружения позволяют определять диэлектрическую проницаемость контролируемой жидкости через разность нормированных емкостей $C_1(h)/C_1(0)$, $C_2(h)/C_2(0)$, а затем определить глубину погружения электродов h в контролируемую жидкость.

Глубина погружения электродов h зависит только от дного неизмеряемого параметра – диэлектрической проницаемости газообразной среды ϵ_1 . Колебания ϵ_1 незначительны и могут быть усредненным ($\epsilon_1 \approx 1,0006$).

Так как глубина погружения электродов в жидкость описывается аналитическими выражениями, то рассмотренный датчик может выполнять калибровку самостоятельно, в независимости от диэлектрической проницаемости жидкости. Для всех исследуемых жидкостей (дизельное топливо, подсолнечное и рапсовое масла) ошибка расчета уровня не

превышала 1,5 мм. В зоне краевого эффекта, когда $h = l_2 - l_1 = 100$ мм, ошибка определения уровня составила 2,0 мм.

Аналитические выражения, связывающие показатели детонационной стойкости с электрическими параметрами топлив [4], позволяют определять детонационную стойкость топлив.

Конструкция двухпараметрового датчика уровня топлива имеет ряд преимуществ:

- двухпараметровый датчик содержит в себе два датчика с различной глубиной погружения электродов в жидкость h и

$$h - (l_2 - l_1);$$

- датчик позволяет контролировать диэлектрические свойства жидких сред, а значит позволяет проводить оценку сортности топлива;

- датчик не требует калибровки, он осуществляет ее самостоятельно;

- он имеет такие же размеры как и однопараметровый датчик уровня топлива.

1. Боднер, В.А. *Авиационные приборы*. - М.: Машиностроение, 1969. - 467 С.
2. Джежора, А. А. *Двухпараметровый датчик уровня жидкости* / А.А. Джежора, В.В. Рубаник // *Приборы и методы измерений*. – 2012. – № 1(4). – С. 56-61.
3. Мастепаненко М.А. *Информационно-измерительная система непрерывного контроля уровня топлива в емкостях*: автореф. дис. ... канд. техн. наук / М.А. Мастепаненко. – Волгоград, 2014. – 20 С.
4. Силов Е. А. *Приборы и методы импедансных измерений детонационной стойкости углеводородных топлив*: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Е.А. Силов. – Самара, 2011. – 16 с.

УДК 006.032.531.7

НОРМАТИВНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОНТРОЛЯ ПАРАМЕТРОВ МИКРОГЕОМЕТРИИ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ

Дмитерчук Е.А., Соколовский С.С.

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Республика Беларусь*

Поскольку первые методики измерения шероховатости появились в начале 1930-х годов, измерение текстуры поверхностей было основано на профильных методах измерения, т.е. по сути на 2D-профилометрии и использовании главным образом контактных измерительных приборов, по крайней мере, до двух последних

десятилетий. И лишь в начале 1980-х годов начали появляться более совершенные приборы для измерения шероховатости топографическим методом, такие как 3D-профилометры [1].

Первая важная работа по методологии 3D-измерения текстуры поверхности была проведена в рамках европейской программы под руково-

дством профессора Стаута из Бирмингемского университета. Эта программа, которая выполнялась в период с 1990 по 1993 год, закончилась публикацией известного издания «BlueBook», и определением так называемых 14 бирмингемских параметров [2]. Окончательный доклад послужил в качестве справочного материала для почти всех производителей измерительных приборов, предназначенных для контроля параметров текстуры поверхностей, в течение 90-х годов.

Результаты данной научно-исследовательской работы были, затем, транспонированы для дальнейшего изучения в другую европейскую программу, называемую программой SurfStand. Она выполнялась в период с 1998 по 2001 год консорциумом университетов и промышленных партнеров во главе с профессором Л. Блантом. Последняя программа закончилась публикацией «GreenBook», её итоги кроме всего прочего содержали предлагаемую структуру для будущих стандартов ИСО. Результаты программы были представлены ISO в январе 2002 года в ходе Мадридской встречи и официально переданы в технический комитет TC213, чтобы начать процесс стандартизации.

В июне 2002 года TC213 проголосовал за создание новой рабочей группы [TC213/ N499] и поставил перед ней задачу разработки будущих международных стандартов, регламентирующих вопросы измерения параметров текстуры поверхностей. К концу 2005 года группой был разработан первый стандарт этой серии, которому был присвоен номер ISO 25178.

Сегодня параметры профиля и топографические параметры поверхностей определены в нескольких международных стандартах, а большинство национальных или отраслевых стандартов практически полностью им соответствуют в главном, за исключением некоторых локальных частных отличий.

В течение долгого времени был известен и широко использовался только один параметр профиля, обозначаемый как Ra (среднее арифметическое отклонение профиля) или CLA (среднее арифметическое отклонение профиля от средней линии) или даже AA (среднеарифметическое). Потом появились параметры RMS или Rq, Rz и Rmax, а позже многие другие параметры [3].

На сегодняшний момент параметры профиля разделены на три группы в зависимости от типа профиля, для которого они вычисляются: 1) параметры P вычисляются для основного профиля; 2) параметры R рассчитываются для профиля шероховатости; 3) параметры W рассчитываются для профиля волнистости.

ISO 4287 - Термины, определения и параметры текстуры поверхности

Это основной стандарт для параметров профиля в системе ISO GPS. Он определяет условия и содержит определения общих параметров.

Амплитудные параметры

Rt, полная высота профиля: высота между самой глубокой впадиной и самым высоким пиком на длине оценки. Этот параметр соответствует параметру Rmax из ГОСТ 2789.

Rp, максимальная высота пика профиля: высота самого высокого пика от средней линии, определяется на длине выборки.

Rv, максимальная глубина впадины на профиле: глубина самой глубокой впадины от средней линии, определенной на длине выборки.

Rz, максимальная высота профиля. Эквивалента данному параметру в ГОСТ 2789 нет, этот параметр не соответствует параметру Rz (высота неровностей профиля, определяемая по 10 точкам) из ГОСТ 2789.

Ra, среднее арифметическое отклонение оценочного профиля: определяемый по длине выборки Ra используется в качестве глобальной оценки амплитуды шероховатости на профиле. Параметр идентичен параметру Ra из ГОСТ 2789.

Rq, среднеквадратичное отклонение оценочного профиля: соответствует стандартному отклонению распределения высоты, определенной на длине выборки. Rq обеспечивает ту же информацию, что и Ra.

Rsk, асимметричность оцениваемого профиля: асимметрия распределения высот, определяется на длине выборки. Этот параметр имеет важное значение, поскольку он дает информацию о морфологии поверхности текстуры. Тем не менее, этот параметр не дает никакой информации об абсолютной высоте профиля, в отличие от Ra. Эквивалента данному параметру в ГОСТ 2789 нет.

Rku, островершинность оцениваемого профиля: распределение остроты высот, определяется на длине выборки. Эквивалента данному параметру в ГОСТ 2789 нет.

Rc, средняя высота профиля: определяется на длине оценки. Он аналогичен параметру геометрических узоров R в ISO 12085 и в этом смысле его следует рассматривать в качестве параметров отличительных признаков (ISO 25178). Эквивалента данному параметру в ГОСТ 2789 нет.

Шаговые параметры

Rsm, средняя ширина элемента профиля, определяемая на длине оценки. Этот параметр соответствует параметру Sm из ГОСТ 2789.

Гибридные параметры

RLq, среднеквадратичное наклон оценочного профиля, определяемый на длине выборки.

Rps, количество пиков на единицу длины. Данный параметр характеризует плотность пиков на единицу длины.

Функциональные параметры

R_{mg} , относительный коэффициент смятия. Этот параметр в определенной степени соответствует параметру tr – относительной длине профиля (опорная) по ГОСТ 2789.

ISO 12085 - Параметры геометрических узоров

Этот стандарт является международной версией французского стандарта, установленного CNOMO, консорциумом с участием PSA Peugeot Citroen и Renault, в течение 80-х и 90-х годов. Метод нормирования текстуры основан на графической сегментации профиля в геометрические узоры, которые затем рассчитываются по параметрам высоты и ширины. Оригинальностью и преимуществом этого метода является то, что была установлена корреляция между значениями параметров и функциональными требованиями. Это обычно называют французским методом геометрических узоров или R&W параметрами.

Недостатком этого подхода является его нестабильность, поскольку он основан на характерных признаках поверхности вместо математической модели.

ISO 13565-2 и ISO 13565-3 - Поверхности с послойным распределением функциональных свойств.

Эта серия стандартов специально направлена на стратифицированную структуру поверхности, получаемую постадийно. Первая часть этой серии, ISO 13565-1, определяет специальный фильтр двойного прохода, который обеспечивает своего рода устойчивость к глубоким искажениям, которые являются общими в стратифицированных слоях. Рассматриваемые стандарты определяют набор параметров, называемых R_k параметрами, которые являются производными от графического построения на кривой Аббота-Фаерсторма. Параметры R_k должны рассчитываться только тогда, когда кривая Аббота имеет S-образную форму, в противном случае графическое построение может дать сбой и значения параметров не будут информативными.

ASMEB46.1

Этот американский стандарт сегодня соответствует стандартам ISO в большей мере, чем предыдущие версии, за исключением некоторых отличий. Основное различие состоит в длине выборки и усредненных параметрах. В соответствии с требованиями ASME, все параметры профиля определяются и рассчитываются по длине оценки.

VDA 2006

Этот стандарт немецкой автомобильной промышленности объединяет параметры, определенные в ISO 4287 и ISO 13565 и вводит несколько правил, которые отличаются от ISO. Основное различие касается использования фильтров микронеровностей λ_s , которые здесь исключены. Он также вновь вводит параметр R_{max} который когда-то был частью ISO 4287 и является хорошим дополнением к R_z .

VDA 2007

Этот стандарт определяет специальные параметры для оценки периодических поверхностей, особенно в области сопрягаемых поверхностей. Их, как правило, называют доминантами волнистости. Он определяет три параметра, вычисляемых после применения специального нулевого полосового фильтра:

- 1) WDS_m , горизонтальная волнистость.
- 2) WDC , средняя высота волнистости элементов профиля.
- 3) WDT , общая высота волнистости профиля.

1. Стаут К. et al., The development of methods for the characterization of roughness in three dimensions /европейский доклад EUR 15178N, 1993.
2. Вайтхаус, Д.Дж. Handbook of surface metrology // Институт физических изданий, Бристоль, 1994.
3. Ф. Блатэйрон New 3D Parameters and Filtration Techniques for Surface Metrology // Digital Surf, France, 2006.