

Международная научно-практическая конференция им. Э.К. Алгазина
«Информатика: проблемы, методы, технологии» (IPMT)

Прогнозирование профиля шероховатости поверхности детали на основе глубокой сети доверия

Презентация к докладу

Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьева

Авторы: канд. техн. наук, доцент Паламарь И. Н.,
аспирант Гагарина А. И.,
магистр Кулиманов И. Е.

Воронеж, 2023

Качество поверхности изготавливаемых деталей



Качество поверхности особенно важно в таких сферах как:

- Авиастроение;
- Машиностроение;
- Приборостроение;
- других сферах, где требуется высокая надежность при больших нагрузках.

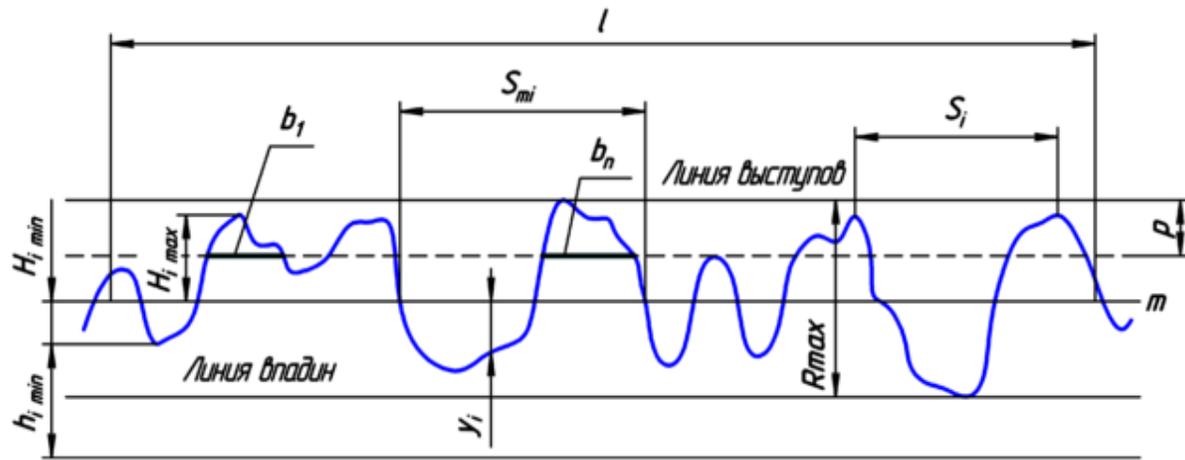
Аддитивные технологии позволяют:

- Моделировать и изготавливать детали сложной геометрии;
- Удешевить производство;
- Получить высокое качество поверхности.

Прогнозирование профиля шероховатости поверхности при изготовлении деталей методом селективного лазерного сплавления (SLM) позволит:

- минимизировать количество последующей механической обработки поверхности;
- исследовать влияние различных параметров изготовления деталей;
- оценить качество внутренних слоев материала детали;
- повысить точность оценки параметров профиля шероховатости.

Профиль и параметры поверхности ГОСТ 2789–73



- l – базовая длина;
- m – средняя линия профиля;
- S_{mi} – средний шаг неровностей профиля;
- S_i – средний шаг местных выступов профиля;
- $H_{i\ max}$ – отклонение пяти наибольших максимумов профиля;
- $H_{i\ min}$ – отклонение пяти наибольших минимумов профиля;
- y_i – отклонение профиля от линии m ;
- p – уровень сечения профиля;
- b_n – длина отрезков, отсекаемых на уровне p .

R_z – сумма средних абсолютных значений высот пяти наибольших выступов профиля и глубин пяти наибольших впадин профиля в пределах базовой длины, рассчитывается по формуле

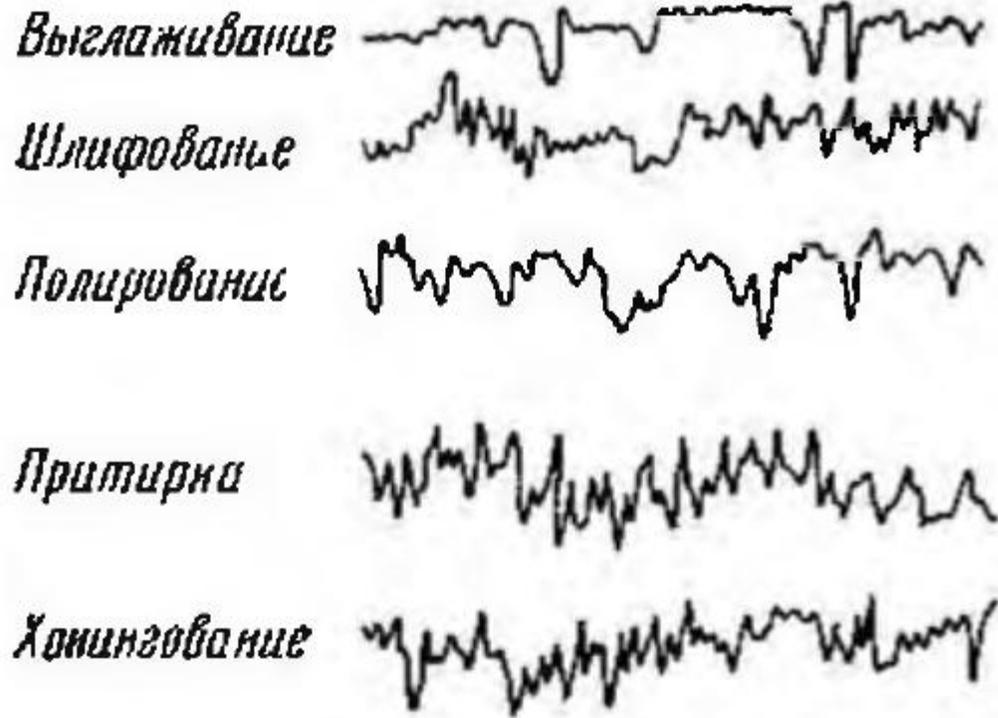
$$- \left(\begin{array}{cccc} | & | & | & | \end{array} \right)$$

R_{max} – расстояние между линией выступов профиля и линией впадин профиля в пределах базовой длины.

S_m – среднее значение шага неровностей профиля по средней линии в пределах базовой длины, рассчитывается по формуле

–

Изменение структуры профилей поверхности от вида обработки при $R_a \sim \text{const}$



R_a – среднеарифметическое отклонение профиля от средней линии в пределах базовой длины, рассчитывается по формуле

где n – число выбранных точек профиля на базовой длине;

Примеры вероятностных параметров

Длительность пребывания процесса над уровнем вычисляется по формуле

$$l(u) = \frac{1}{L} \int_0^L \xi(t, u) dt,$$

где L – длина исследуемого отрезка;
 t – длина интервала выборки.

Суммарная площадь областей, ограниченных реализацией процесса и горизонтальной прямой на уровне u над осью стационарности процесса, отнесенной к длине интервала $[0, L]$ вычисляется по формуле

$$(\quad) \quad (\quad)$$

Вероятностные методы оценки шероховатости поверхности

- Расчёт функционалов
- Построение коррелограмм
- Построение периодограмм
- Случайное поле

Обзор методов анализа данных

Профиль поверхности можно рассматривать как последовательность наблюдений.

Статистические модели

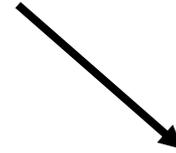


Зависимость будущего значения от прошлого задаётся в виде некоторого уравнения. К таким моделям относятся:

- регрессионные модели;
- авторегрессионные модели;
- модели экспоненциального сглаживания;
- модели по выборке максимального подобия.

В результате статистического анализа получают различные параметры: среднее значение, стандартная ошибка, медиана, стандартное отклонение, дисперсия выборки, эксцесс, асимметрия, диапазон, минимум, максимум и сумма.

Структурные модели

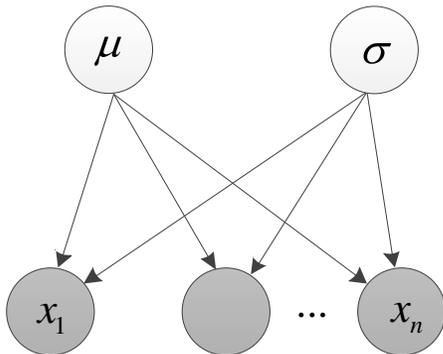


Зависимость будущего значения от прошлого задаётся в виде некоторой структуры и правил перехода по ней. К таким моделям относятся:

- нейросетевые модели;
- модели на базе цепей Маркова;
- модели на базе классификационно регрессионных деревьев;
- модели машинного обучения:
 - долгая краткосрочная память (LSTM),
 - подход полностью подключенных сетей (FCN),
 - 1-D модель сверточной нейронной чети (CNN).

Характеристика дискриминативного и генеративного ПОДХОДОВ

Генеративные модели	Дискриминативные модели
Основаны на совместном распределении вероятности $p(y, \bar{x})$	Основаны на условном распределении вероятности $p(y \bar{x})$
Включают моделирование $p(\bar{x})$	Не используют моделирование $p(\bar{x})$, но используют вычисление $Z(\bar{x})$
Используют независимость наблюдений \bar{x}	Используют независимость классов y и зависимость наблюдений \bar{x}

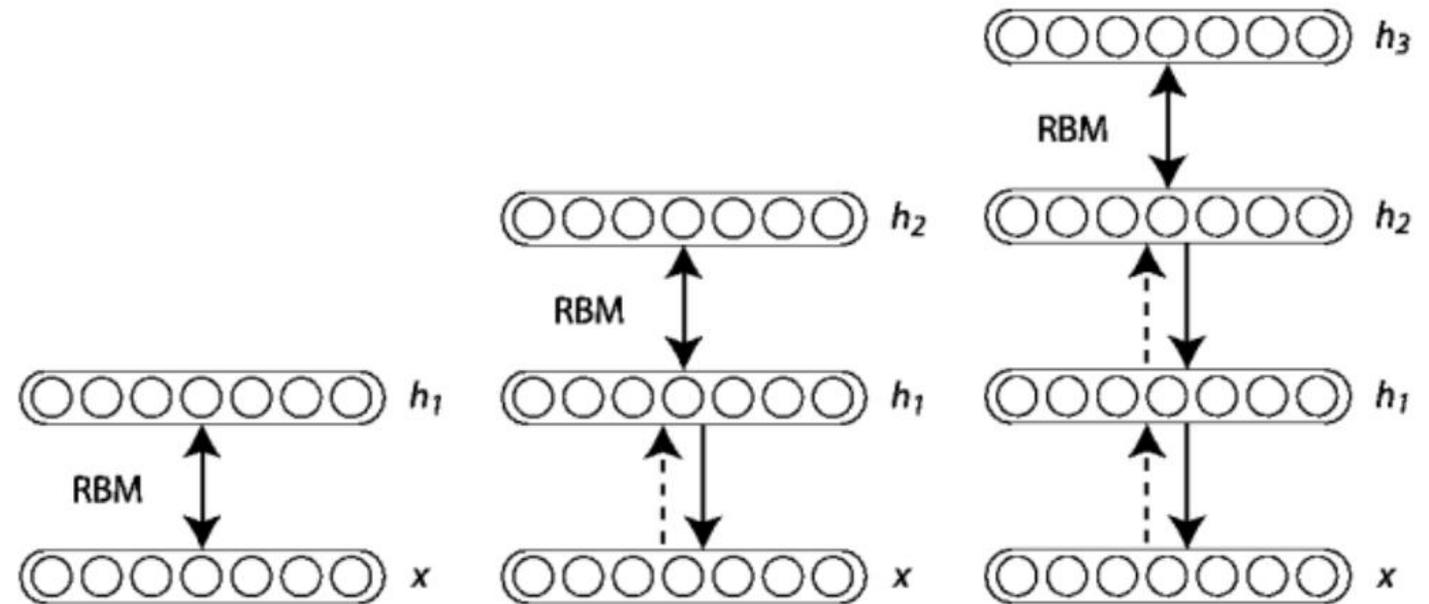
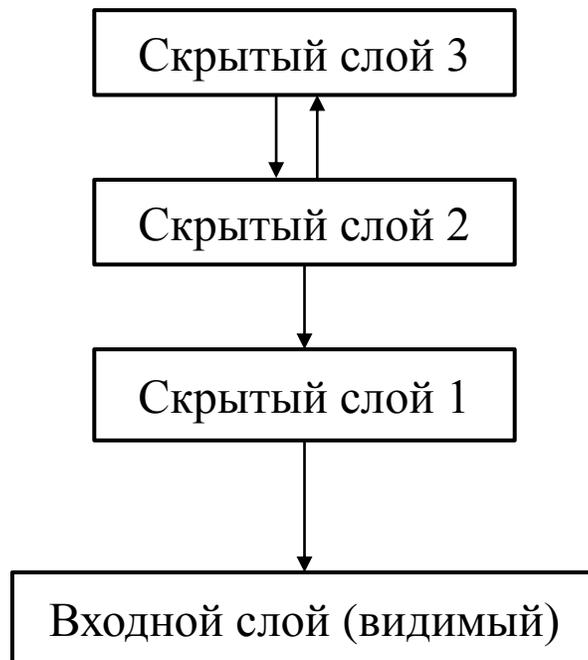


$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}; \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}}$$

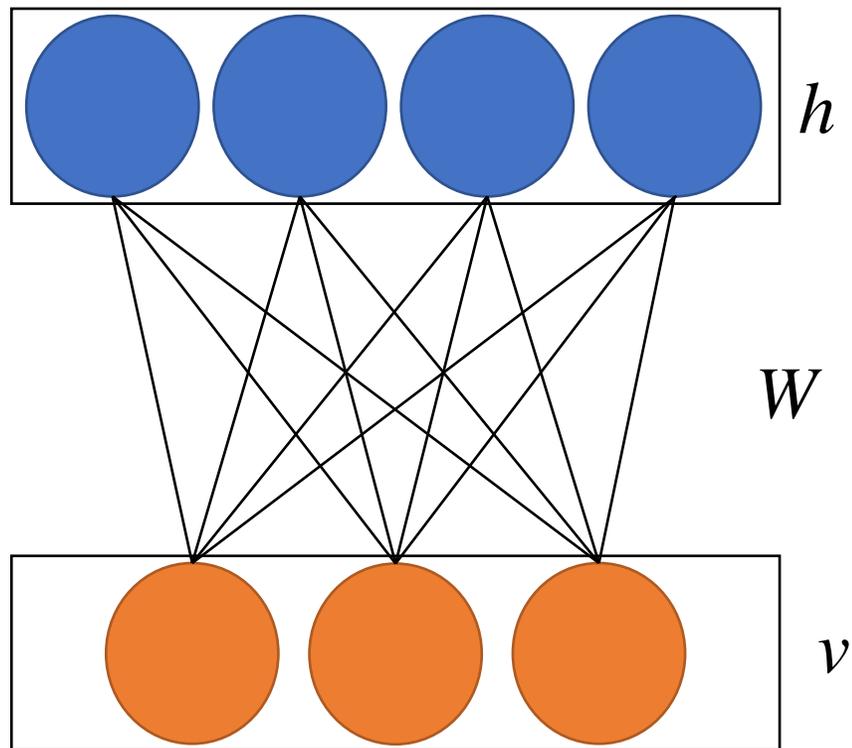
Глубокая сеть доверия

Механизм доверия основан на том, что DBN обучается по одному уровню за раз, после обучения первого уровня значения скрытых переменных поступают как входные данные для обучения следующего уровня, таким образом каждый уровень доверяет результатам нижестоящего уровня.

Схема обучения глубокой сети доверия



Ограниченная машина Больцмана



()

Векторы v и h описывают состояния видимых и скрытых нейронов. Векторы a и b определяют смещения видимых и скрытых нейронов. Матрица w представляет матрицу весов.

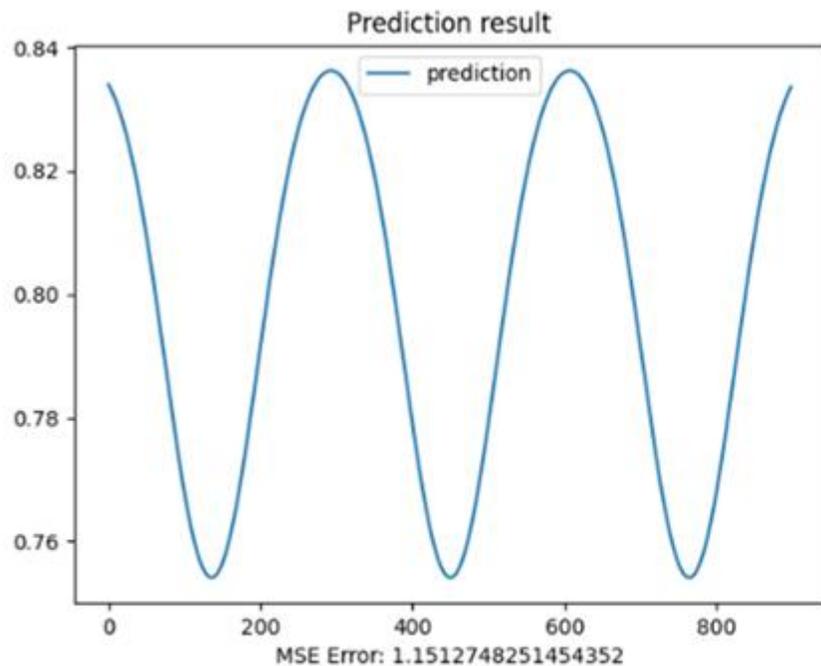
В качестве функции оценки, которую необходимо оптимизировать, используется функция правдоподобия :

(|) (|)

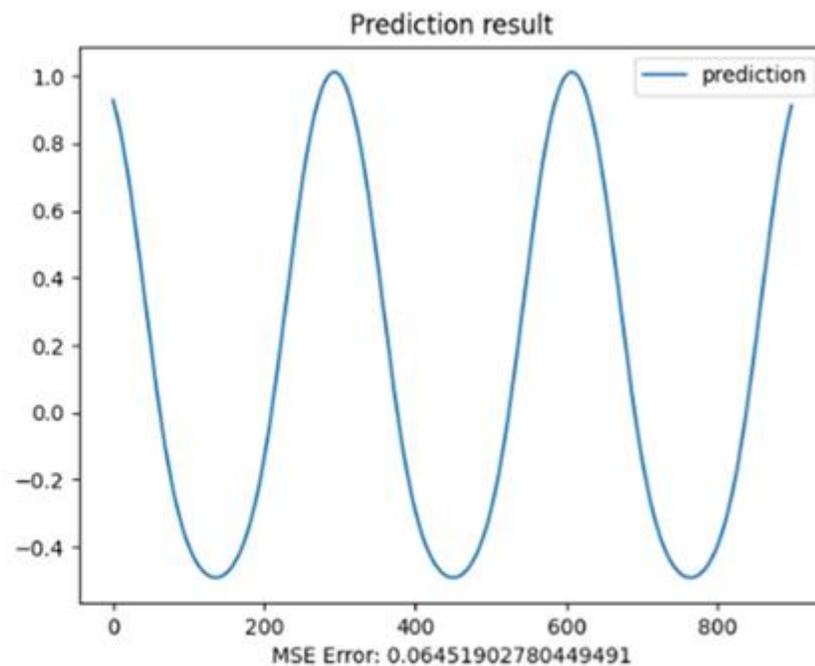
Веса изменяются так как представлено в формуле:

Результаты экспериментального исследования

Вид сигналов, сгенерированных глубокой сетью доверия



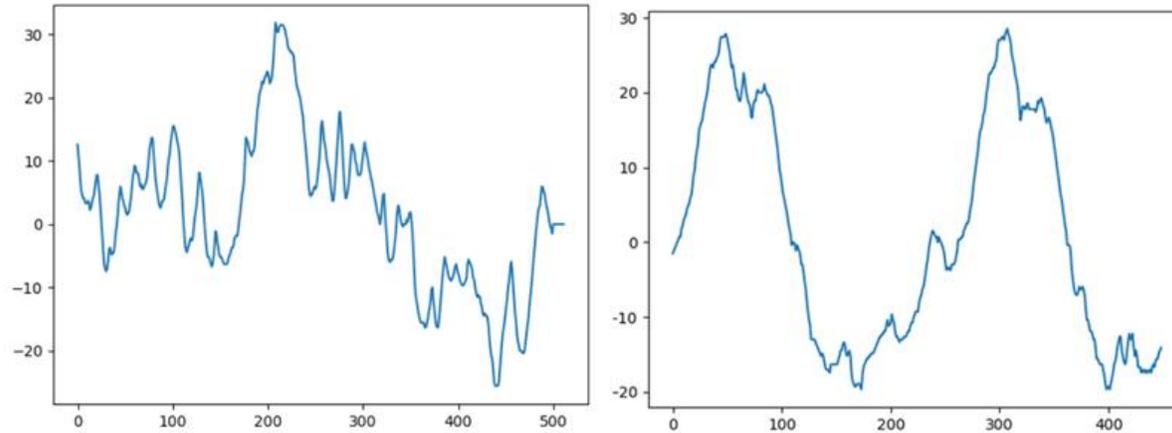
а



б

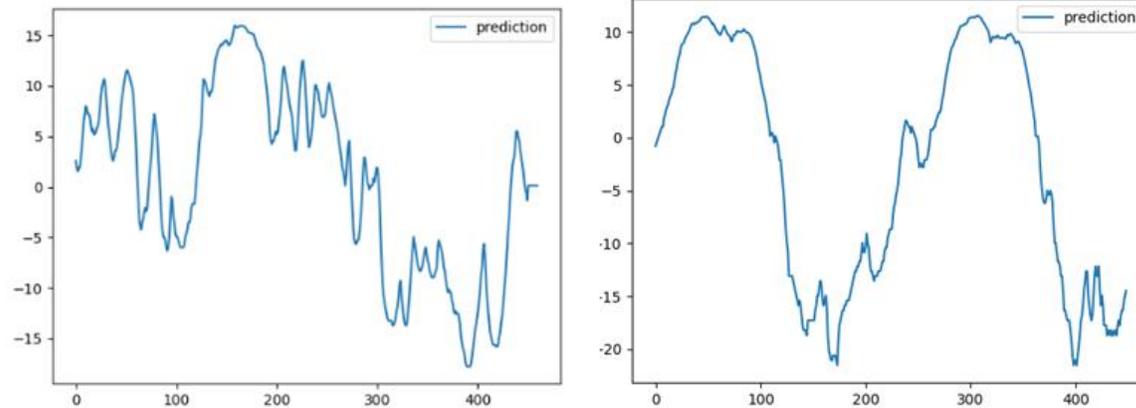
а – 100 итераций, б – 300 итераций

Прогнозы, полученные с помощью DBN, для профилей шероховатости



а

б



в

г

а – профиль № 1, б – профиль № 2, в – прогноз для профиля № 1, г – прогноз для профиля № 2

Результаты расчетов

Стандартизованные параметры

Параметр шероховатости	Реальные данные		DBN	
	1	2	1	2
Ra , мкм	8,7096	12,3541	7,7474	12,3855
Rz , мкм	6,1502	8,5214	5,8668	11,0178
$Rmax$, мкм	57,4275	48,1646	53,7836	50,7574
Sm , мкм	0,3658	0,8456	0,5101	1,2255
S , мкм	0,0758	0,0681	0,0723	0,0564
Tp , %	16,9137	26,2959	20,9871	15,5556

Вероятностные параметры

Параметр шероховатости	Реальные данные		DBN	
	1	2	1	2
Lu , мкм	0,9222	1,1397	0,9681	1,0863
Qu , мкм	2,8122	2,166	1,938	1,19357
Rq , мкм	12,1945	14,6021	10,2719	16,4153
$M(Lu)$	0,7078	0,6616	0,711	0,6297
$D(Lu)$	0,0085	0,0115	0,0084	0,0137
$M(Qu)$	0,6038	0,0854	0,8601	0,0115
$D(Qu)$	6,2021	9,0173	4,3967	11,5176
$M(Rq)$	3,4921	3,8213	3,205	4,0516
$D(Rq)$	5,9482	8,5289	4,2205	10,7785
$M(Ra)$	9,7298	11,6508	8,1958	13,0975
$D(Ra)$	2,1567	3,0924	1,5303	3,9081
Nu	20	14	25	6
u	12	8	13	7

Ошибка прогнозирования по Ra не превышает 25%

Ошибка прогнозирования по Lu не превышает 15%

Выводы

1 Ошибка прогнозирования по вероятностным параметрам, например длительность пребывания процесса над уровнем для прогноза профиля, сгенерированного DBN, не превышает 5%. Таким образом, вероятностные параметры позволяют более точно сравнить спрогнозированный профиль с реальным профилем поверхности.

2 Алгоритм обучения глубокой сети доверия позволяет обучить модель на меньшем количестве данных, что является актуальным при применении моделей машинного обучения при решении задач, где невозможно получение датасета большого объема. Кроме того, DBN эффективно обучаются на данных сложной структуры.

3 Показано, что вероятностные параметры профиля шероховатости имеют большую точность в сравнении с основными параметрами и позволяют получить больше информации о профиле поверхности при исследовании качества поверхностного слоя детали.

Спасибо за внимание