

КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ШЕРОХОВАТОСТИ И ТОПОГРАФИИ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

С.Л. Леонов, Е.Ю. Татаркин

Математическое моделирование операций механической обработки по сравнению с экспериментальными исследованиями позволяет получать большее количество информации и сократить время на исследования. Эти преимущества приводят к широкому внедрению моделирования в технологические расчеты. Однако, разнородность существующих моделей технологических систем и процессов, а также отсутствие единого подхода к их разработке значительно затрудняет внедрение этих моделей.

Модель является "проекцией явления объективной реальности под определенным углом зрения" [1]. Это определение дает широкий простор для классифицирования моделей, изучения их адекватности, областей использования и т.п. Действительно, в зависимости от способа проектирования можно получить абсолютно различные модели, но имеющие и различные области применимости. В любом случае строя модель (проекцию явления) необходимо руководствоваться какой-либо целью и получаемая модель должна являться одним из средств для достижения этой цели. С одной стороны эта цель определяет способ проектирования (способ получения модели), а с другой - эта же цель построения модели определяет в конечном счете свойства модели и ее адекватность оригиналу - моделируемому явлению или системе.

Математические модели в первую очередь можно подразделить на статические и динамические. **Динамические модели** учитывают изменение каких-либо своих параметров во времени, а **статические** - не учитывают этого. Например, модель расчета шероховатости поверхности во время ее обработки является динамической моделью. В противоположность этому, модель для расчета шероховатости детали (после обработки) является статической.

Если в модели не учитывается влияние случайных факторов, то такая модель является **детерминированной**. Если случайные факторы заменяются на их средние значения, такая модель называется **моделью математического ожидания**. Принципиального различия между моделью математического ожидания и детерминированной моделью нет. Отличия заключаются в способе использования модели. Модель математического ожидания применяется при наличии случайных факторов, но справедлива только для их

средних значений и не учитывает ни разброс относительно среднего, ни функцию распределения случайной величины. В отличие от моделей математического ожидания, **стохастические модели** учитывают распределения случайных параметров и позволяют определять не только средние, но и колебания выходных параметров вплоть до получения их функции распределения. Например, стохастическая модель технологической операции должна позволять рассчитывать не только средний размер детали (или номинальный размер), но и поле допуска на основании функции распределения размера детали. Естественно, что для этого должны быть заданы распределения случайных параметров процесса: размера заготовки, параметров инструмента и т.п.

Имитационные модели по структуре подобны исходной системе и должны быть ориентированы на проведение численных экспериментов. Имитационные модели часто являются динамическими и стохастическими и при правильном построении позволяют заменять экспериментальные исследования на численные эксперименты с моделью.

Модели "черного ящика" в некотором смысле противоположны имитационным. Они не предполагают вскрытия внутренней структуры системы, а только соответствуют ей по входам и выходам. Эти модели обычно проще имитационных, хотя могут допускать проведение численных экспериментов. Чаще всего модели "черного ящика" получают обработкой экспериментальных данных. Так, например, эмпирические зависимости для расчета режимов резания являются классическим примером модели "черного ящика".

Наиболее перспективными в настоящее время являются динамические имитационные стохастические модели. Их применение позволяет получить максимальную информа-

КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ШЕРОХОВАТОСТИ И ТОПОГРАФИИ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

цию о функционировании системы: во времени и с учетом разброса входных параметров. Кроме того, имитационные модели обладают более широким диапазоном адекватности по сравнению с моделями черного ящика. В узком диапазоне изменения входных параметров модели черного ящика могут обеспечить более высокую точность, но при расширении диапазона варьирования преимущества имитационных моделей становятся бесспорными.

При проведении технологических расчетов широта диапазона адекватности модели имеет огромное значение. Связано это с тем, что традиционно используемые эмпирические зависимости часто не стыкуются на границах диапазонов адекватности. Это приводит к невозможности их объединения в единый банк моделей для использования, например, в составе технологических САПР.

Другой проблемой является подавляющее использование моделей математического ожидания. Эти модели позволяют оценить результат только в среднем и не дают возможности прогнозировать точность получения этого результата. Стохастическое моделирование позволяет устранить эту проблему, обеспечивая получение как средних значений выходных параметров, так и точности их обеспечения вплоть до расчета параметров функции распределения.

Единственным ограничением на использование имитационных стохастических моделей является их сложность. Использование имитационного принципа приводит к усложнению алгоритмов расчета, а учет стохастического характера требует многократного выполнения этих расчетов. Широкое развитие и внедрение вычислительной техники создало дополнительные предпосылки для использования имитационных стохастических математических моделей. Те задачи, которые ранее можно было только поставить, стало возможным решить. При этом стали доступны не только методы подбора варианта, но и задачи оптимизации параметров и/или структуры систем, учета их стохастических характеристик.

В соответствии с вышеизложенным, становится актуальной разработка банка имитационных стохастических моделей, позволяющих прогнозировать обеспечение заданных параметров качества обработки деталей. В предлагаемой работе рассмотрены основные принципы построения таких моделей для прогнозирования шероховатости обработанных поверхностей для основных методов механической обработки.

Шероховатость является одним из важнейших показателей качества поверхности детали. Именно шероховатость определяет контактную жесткость, триботехнические характеристики, коррозионную стойкость, усталостную прочность при изгибных деформациях и другие параметры при взаимодействии деталей. Обеспечение заданной шероховатости играет первостепенную роль при подготовке поверхностей под напыление покрытий.

В соответствии с классификацией, предложенной А.Г.Суловым, на шероховатость обработанной поверхности при любом методе механической обработки влияют: геометрия инструмента с учетом кинематики его перемещения, колебания при механической обработке, деформации материала в зоне обработки и случайные параметры, определяемые вырывами материала из обрабатываемой поверхности [2].

По литературным и экспериментальным данным при рациональных режимах резания и геометрии инструмента первая составляющая имеет преобладающее значение и ее вклад в высотные параметры шероховатости составляет до 70% [2]. Поэтому основное внимание при имитационном моделировании необходимо уделять процессам геометрического копирования инструмента в материале детали с учетом кинематики резания.

Вопросам исследования колебаний и упруго-пластическим деформациям посвящено достаточно много исследований. Поэтому для поправки на эти явления можно использовать готовые зависимости [2,3]. Наиболее сложно прогнозировать случайную составляющую профиля. Для этого необходимо использовать эмпирические данные, полученные в результате эксперимента.

Имитационное моделирование предполагает следующий алгоритм прогнозирования шероховатости обработанной поверхности:

1. Исходными данными являются геометрия инструмента, режим резания, характеристики обрабатываемого и инструментального материалов.
2. Профиль и топография поверхности формируется за счет взаимодействия геометрии инструмента с материалом заготовки с учетом кинематики процесса резания.
3. На полученный профиль налагаются составляющие, определяемые вибрациями с учетом процесса упруго-пластического деформирования обрабатываемого материала и инструмента, а также случайной составляющей профиля.

4. По полученному расчетному профилю и топографии поверхности рассчитываются стандартные параметры шероховатости.

Исходные данные для расчета не являются постоянными. Так, например, геометрические параметры режущей пластины, используемой при наружном точении, имеют допуски, что приводит к колебаниям геометрии инструмента при его замене. Погрешности базирования инструмента (резца в резцедержателе, зуба фрезы в корпусе и т.д.) также приводят к колебаниям геометрических параметров. Для процессов абразивной обработки случайный характер присущ самому процессу обработки и оказывает непосредственное влияние на формирование профиля обработанной поверхности.

Случайные колебания входных параметров приводят к случайному колебанию профиля и параметров шероховатости. Фактически законы распределения параметров исходных данных приводят к формированию законов распределения параметров шероховатости. Этот процесс позволяет описать методика стохастического моделирования. В соответствии с этим на рис. 1 приведен обобщенный алгоритм имитационного стохастического моделирования процесса формирования профиля, топографии и параметров шероховатости при механической обработке.

Исходными данными для моделирования являются геометрия инструмента и режим резания. Параметры режима резания задаются в блоке 1. Параметры геометрия инструмента полагаются случайными и задаются в блоке 2 законами их распределения. В соответствии с принципами стохастического моделирования расчеты производятся многократно, их количество N задается в блоке 1. При каждом расчете i генерируются случайные значения параметров геометрии (блок 4) и производится моделирование процесса с расчетом профиля и топографии обработанной поверхности с учетом кинематики операции механической обработки (блок 5). Вибрации, упруго-пластические деформации обрабатываемого материала, случайная составляющая профиля рассчитываются при моделировании и накладываются на полученный за счет геометрического копирования профиль (блок 6). Затем по рассчитанному профилю производится определение требуемых параметров шероховатости. Предложенный подход позволяет рассчитать любые параметры шероховатости: R_a , R_z , t_r и др. Мето-

дика позволяет рассчитать и топографические параметры шероховатости.

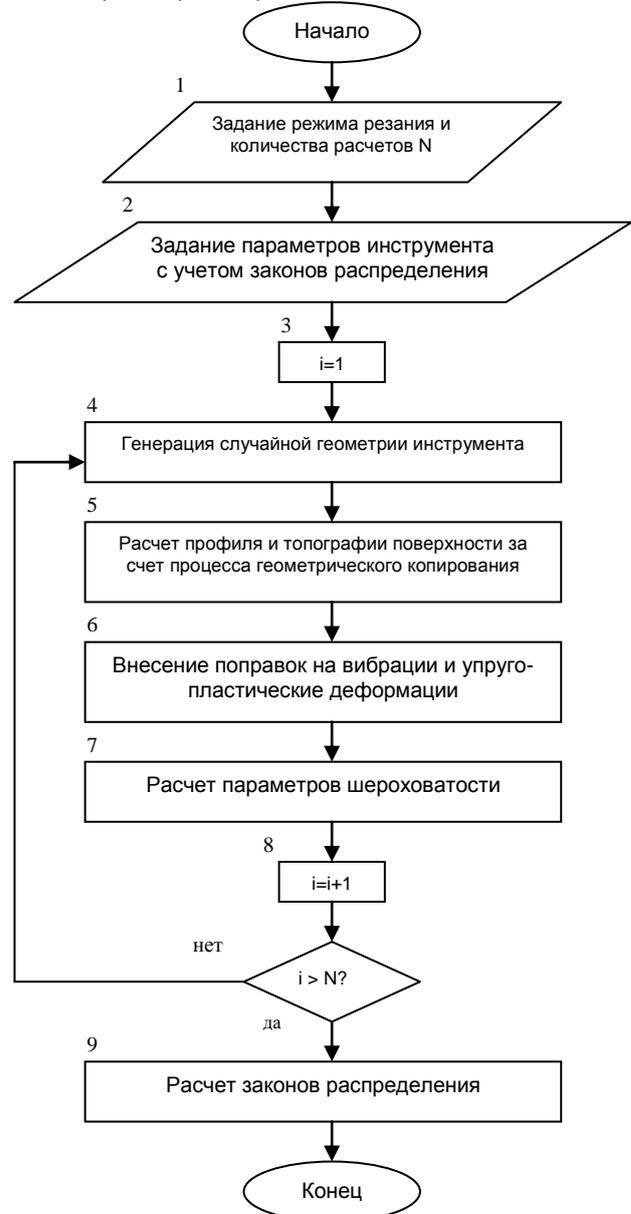


Рис. 1. Блок-схема имитационного стохастического моделирования

Расчеты производятся многократно в зависимости от заданного значения N . По их окончании строятся гистограммы распределения параметров шероховатости и определяются законы их распределения. Для этого необходимо N задавать достаточно большим: обычно $N > 100$.

Структура алгоритма не зависит от метода обработки. Особенности конкретного метода учитываются при реализации блоков 5 и 6, которыми и реализуется имитационная

КОНСТРУИРОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ РАСЧЕТА ШЕРОХОВАТОСТИ И ТОПОГРАФИИ ОБРАБОТАННЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

модель, а также – структурой используемых исходных данных с учетом законов их распределения. На рис.2 приведена структура обобщенной имитационной стохастической модели, в которой вскрыто взаимодействие различных подсистем и исходных данных с разделением их на стохастические и детерминированные. На формирование профиля и топографии обработанной поверхности в соответствии с принципами технологического наследования влияют параметры инструмента P_i , заготовки P_3 , оборудования P_o , кинематики и режима резания P_p . Поэтому вектор геометрических параметров качества поверхности детали

$$\vec{R} = f(\vec{I}_E, \vec{I}_C, \vec{I}_I, \vec{I}_D). \quad (1)$$

При этом векторы аргументов имеют две составляющие:

$$\vec{I}_i = (\vec{I}_{i\bar{a}}, \vec{I}_{i\bar{c}}), \quad (2)$$

где $\vec{I}_{i\bar{a}}$ и $\vec{I}_{i\bar{c}}$ - соответственно, векторы детерминированных и случайных составляющих. Для построения модели конкретной операции технологического процесса необходимо определить состав векторов аргументов (2) с указанием законов распределения случайной составляющей и построить модель, позволяющую рассчитать вектор-функцию (1).

Предложенная структура использована для разработки банка моделей расчета шероховатости поверхности при механической обработке, который в настоящее время включает в себя модели наружного точения, торцевого фрезерования, круглого и плоского шлифования периферией круга [4]. Данные методы обработки позволяют получать как поверхности вращения, так и плоские поверхности с очень широким диапазоном качества обработки.

Несмотря на то, что рассмотренные процессы механической обработки имеют значительные отличия по кинематике, составляющим режима резания и значениям параметров шероховатости обработанной поверхности, использование единого подхода для построения моделей позволило обеспечить единообразие задания входных и получения выходных параметров. Законы распределения стохастических параметров позволяют при необходимости прогнозировать распределения выходных параметров шероховатости.

На рис. 3 и 4 в качестве примера приведены экранные формы имитационной модели расчета шероховатости при торцевом фрезеровании.

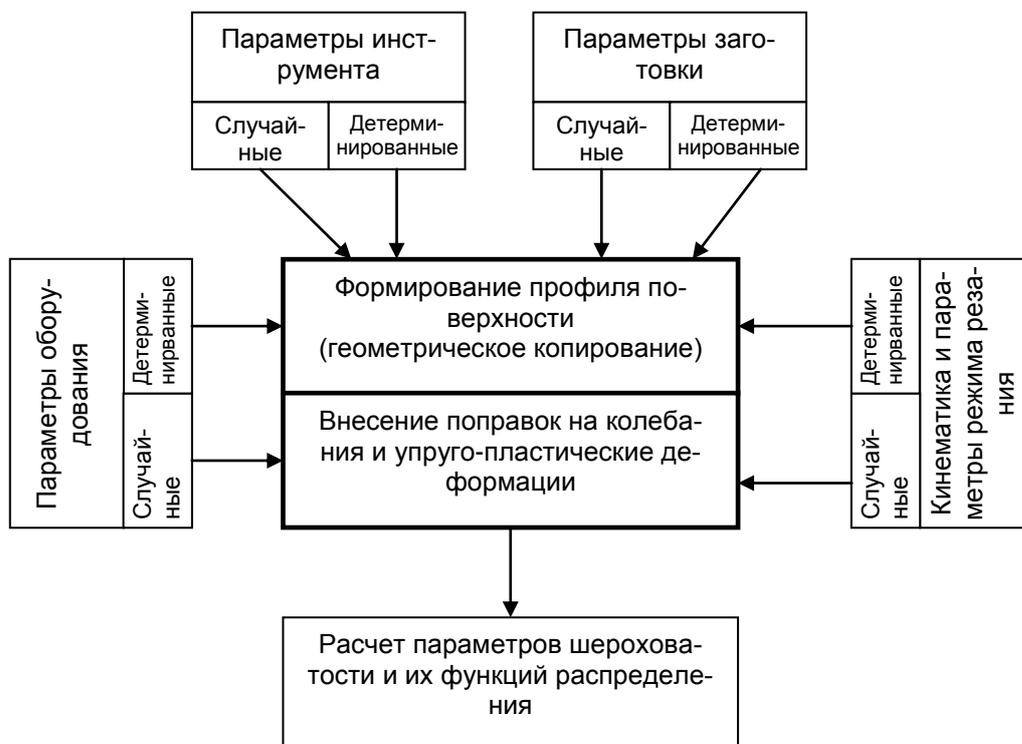


Рис. 2. Структура обобщенной имитационной стохастической модели

В качестве исходных данных (рис. 3) используются конструктивно-геометрические параметры инструмента и режимы резания.

В результате расчета формируется топография участка обработанной поверхности (рис. 4), позволяющая определить ее профиль и параметры шероховатости на любом участке и в любом направлении.

Рис. 3. Экранная форма для ввода данных при моделировании торцевого фрезерования

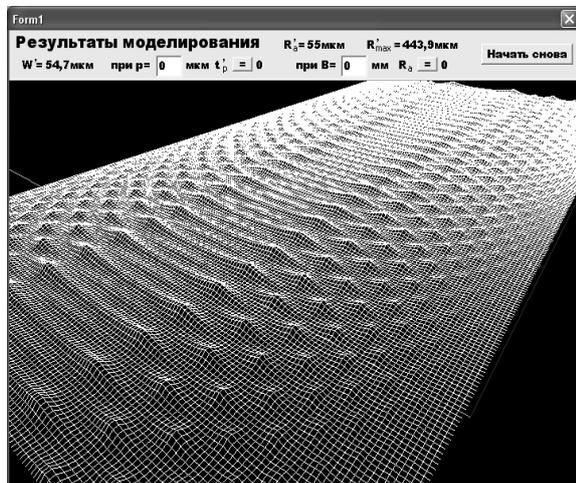


Рис 4. Топография обработанной поверхности и параметры шероховатости

Проверка адекватности моделей показала их достаточную точность при расчете параметров шероховатости поверхностей, что позволяет рекомендовать их для использования как в составе систем автоматизированного проектирования технологических процессов, так и при поверочных технологических расчетах.

Исследования выполнялись в рамках ГК №02.513.11.3365 "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технического комплекса России на 2007-2012 годы".

ЛИТЕРАТУРА

1. Пешель М. Моделирование сигналов и систем. - М.: Мир, 1981. - 300 с.
2. Сулов А.Г. Технологическое обеспечение параметров состояния поверхностного слоя деталей. - М.: Машиностроение, 1978. - 208 с.
3. Кудинов В.А. Динамика станков. - М.: Машиностроение, 1967. - 360 с.
4. Леонов С.Л., Зиновьев А.Т. Основы создания имитационных технологий прецизионного формообразования. - Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2006. - 198 с.