

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
**«ВОЛГОГРАДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
(ВолгГТУ)

телефон: 844-223-00-76

пр. им. В. И. Ленина, 28, г. Волгоград, 400005

факс: 844-223-41-21

e-mail: [rector@vstu.ru](mailto:rector@vstu.ru)

<http://www.vstu.ru>

---

В диссертационный совет 24.2.307.01  
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный  
исследовательский технический  
университет»

---

664704, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, 83

### **ОТЗЫВ**

официального оппонента **Чигиринского Юлия Львовича**  
на диссертационную работу Кузнецовой Елены Михайловны на тему:  
«Технологическое обеспечение требуемой шероховатости при токарной  
обработке деталей из закаленных сталей на станках с ЧПУ», представленную  
на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 –  
«Технология машиностроения»

#### **Общие сведения о диссертации**

Диссертационное исследование Кузнецовой Елены Михайловны посвящено вопросам, связанным с разработкой эффективных методов управления качеством изделий, изготавливаемых на оборудовании с ЧПУ. Доля операций обработки, выполняемой на станках токарной группы составляет, по различным оценкам, от 20 % до 40 % общей трудоемкости обработки лезвийным инструментом. Проблемы гарантированного обеспечения требуемого качества и точности изделий при обеспечении достаточной производительности обработки и работоспособности режущего инструмента являются важными для специалистов машиностроительного производства на протяжении всей истории резания металлов. Тематике назначения рациональных условий обработки посвящены исследования научных технологических школ, начиная от профессоров И. А. Тиме и К. А. Зворыкина и до настоящего времени. Можно уверенно сказать, что существующие методы позволяют в той или иной мере приблизиться к рациональным или, иногда, оптимальным, условиям работы инструмента, но гарантированно обеспечить эти условия при рассчитанных фиксированных режимах невозможно, поскольку сам процесс удаления стружки и формирования комплекса функциональных свойств поверхностного слоя изделия является нестационарным и имеет явно выраженный стохастический характер. Решение задачи рационального назначения режимов резания осложняется тем, что рассматривается токарная обработка термоупрочненных сталей на финишных этапах механической обработки.

Диссертационная работа Кузнецовой Елены Михайловны состоит из введения, пяти глав, заключения, библиографического списка из 94 наименований и одного приложения. Общий

объем диссертации 131 страница. Основной материал диссертации, включающий 91 рисунок и 14 таблиц, изложен на 120 страницах.

В национальной электронной библиотеке eLibrary.ru имеются сведения о 40 публикациях Е.М.Кузнецовой, из них по теме диссертации – 22 работы. Материалы и результаты исследования опубликованы в пяти статьях в журналах из Перечня ВАК, трех – в изданиях, индексируемых в международных наукометрических базах данных. Таким образом, требования п.п. 11...13 «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции от 25.01.2024 г. выполнены. Диссертация прошла апробацию на научно-технических и научно-практических конференциях, тематика которых совпадает с основными направлениями исследований соискателя.

В работе выдержана логичность и последовательность содержания. Автор владеет профессиональной терминологией. Содержание автореферата соответствует тексту диссертации и адекватно отражает полученные в ходе исследования результаты.

### **Актуальность темы**

Непрерывно возрастающие требования к качеству производимой продукции, а также жесткие ограничения по срокам освоения новых видов изделий на сегодняшний день являются основными трендами, присущими машиностроению. Широкое внедрение в промышленную практику оборудования с числовым программным управлением ставит проблему гарантированного обеспечения требуемых параметров шероховатости обработанных поверхностей. Использование традиционных подходов к проектированию условий обработки, не учитывающих неопределенность свойств конструкционных и инструментальных материалов и не рассматривающих потенциальный функционал современного металлорежущего оборудования, не всегда эффективно, особенно при обработке закаленных сталей. Учет названных факторов позволяет обоснованно управлять качеством обработанной точением поверхности, в том числе и на финишных стадиях обработки закаленных стальных заготовок. Диссертационное исследование Кузнецовой Елены Михайловны, направленное на решение названной проблемы, следует считать актуальным.

### **Обоснованность и достижимость цели и задач исследования**

**Целью** представленной диссертационной работы заявлено обеспечение требуемой шероховатости деталей из термоупрочненных сталей при токарной обработке на станках с ЧПУ.

При выполнении исследований автор поставил и решил следующие **задачи**: выявить процессы, которые оказывают основное влияние на формирование профиля шероховатости при токарной обработке термоупрочненных сталей; разработать модель, описывающую профиль шероховатости поверхности; выявить параметры (диагностические признаки), которые могут быть использованы для оценки состояния режущего инструмента и шероховатости обработанной поверхности в процессе токарной обработки на станках с ЧПУ; установить зависимости между

диагностическими признаками и параметрами шероховатости обработанной поверхности и состояния режущего инструмента; разработать алгоритм и модель системы управления, которые позволяют осуществлять обеспечение требуемой шероховатости поверхности и мониторинг состояния режущего инструмента.

Работоспособность и эффективность предложенных технико-технологических решений подтверждена фактом промышленной апробации на двух машиностроительных предприятиях и в учебном процессе Курганского государственного и Тюменского индустриального университетов, а также свидетельством о регистрации программы для ЭВМ.

Сформулированные задачи адекватно отражают содержание исследования и направлены на достижение поставленной цели.

Личный вклад соискателя в решение поставленных задач достаточно четко прослеживается в публикациях по теме исследования.

#### **Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций**

Выдвинутые автором научные положения и выводы обоснованы использованием известных научных положений технологии машиностроения, фрактальной геометрии, методов математического моделирования, теории случайных процессов, методов нейронных сетей.

**Достоверность и новизна исследования, полученных результатов, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации,** подтверждается корректным использованием перечисленных выше теорий, методов математического моделирования и математической статистики, современных пакетов прикладных программ, применением в исследованиях апробированных и стандартизованных методов теоретических и экспериментальных исследований, корректным применением методик измерения физических величин и методов статистического анализа, данными экспериментальной проверки полученных закономерностей.

Общие выводы по работе и выводы по главам представляют собой структурированные результаты исследования. Анализ выводов по главам и общего заключения по работе позволяет утверждать, что поставленные задачи решены, цель исследования достигнута.

**Значимость для науки и практики** полученных результатов подтверждается тем, что разработанные автором научные положения и математические модели вносят вклад в развитие существующих методов технологического обеспечения требуемых параметров качества поверхностного слоя. Особо следует отметить корректное использование фундаментальных положений теории подобия, в частности, рассмотрение в качестве диагностических признаков процесса безразмерных величин.

Результаты, полученные автором, можно расценивать как **новые научные знания**, вносящие вклад в технологическую науку. В работе решена актуальная научно-производственная задача совершенствования методов управления и автоматического обеспечения требуемого ка-

чества изделий из закаленных сталей при лезвийной обработке на станках с ЧПУ. Основные **результаты, обладающие признаками научной новизны:**

- выявлены взаимосвязи между вибрационным фоном процесса точения закаленных сталей и закономерностями стохастического процесса формирования микропрофиля обработанной поверхности; количественно описано соотношение между случайной и систематической компонентами шероховатости;
- экспериментально обосновано распределение по закону Накагами ординат профиля шероховатости поверхностей деталей из термоупрочненных сталей, обработанных точением;
- изложены результаты анализа сигналов виброакустики, заключающиеся в выявлении наиболее информативного частотного диапазона и параметров для оценки шероховатости и состояния инструмента в процессе обработки;
- на основании математических моделей, описывающих выявленные закономерности, разработаны алгоритмы и модель самообучаемой системы управления качеством поверхности при токарной обработке заготовок из закаленных углеродистых сталей.

**Практическая ценность** работы определяется экспериментально обоснованным определением частотного диапазона и комплексом технологических и косвенных параметров, обладающими наибольшей информативностью в плане оценки шероховатости и состояния режущего инструмента в процессе обработки и программной реализацией элементов системы управления и информационной экспертной системы для управления качеством обработанной поверхности при точении закаленных углеродистых сталей.

#### **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации**

Функциональный потенциал разработанного Кузнецовой Е. М. комплекса технико-технологических решений состоит в:

- возможности расширения, на стадиях проектирования и производства, функционала металлорежущего оборудования с ЧПУ;
- возможности повышения эффективности металлообрабатывающих производств;
- возможности повышения эффективности и качества профессионального по направлениям конструкторского и технологического обеспечения машиностроительных производств.

#### **Оценка содержания диссертации и ее завершенности**

**Введение** посвящено постановке проблемы и краткому обоснованию актуальности темы диссертации. Отражены общие сведения о выполненном диссертационном исследовании. Следует отметить достаточно корректные, с позиций методологии научных исследований, формулировки основных элементов «паспорта» научного исследования.

В **первой главе** приведен критический анализ результатов исследований в области моделирования и оценки параметров микрорельефа поверхности, получаемой в результате механи-

ческой обработки. На основании анализа взаимовлияния состояния поверхностного слоя и эксплуатационных свойств изделий машиностроения определен предварительный перечень параметров микрогеометрии поверхности, в наибольшей степени влияющих на работоспособность машин. В обзор включены материалы, наработанные ведущими российскими научными технологическими школами. В результате глубокого аналитического обзора автор пришел к выводу о выраженном несовершенстве современных способов контроля микрорельефа поверхности непосредственно в процессе обработки, тем более, в автоматическом режиме. Определено, что одной из наиболее значимых причин такого несовершенства является преобладание косвенных методов оценки качества поверхности и отсутствие надежных математических моделей, отражающих систему взаимосвязей между условиями обработки, количественными оценками микрогеометрии поверхности и эксплуатационными критериями качества изделий машиностроения. Дополнительная проблема заключается в существенной нестабильности процесса формирования микрорельефа при лезвийной обработке закаленных сталей. На основе выполненного анализа сформулированы цель и задачи исследования.

Во **второй главе** приведено подробное описание вопросов, моделирования микрорельефа. Обосновано применение методов фрактальной геометрии и элементов теории случайных процессов для построения модели микрогеометрии поверхности, формируемой при однолезвийной механической обработке заготовки из закаленной углеродистой стали. Обоснована возможность оценки соотношения между случайной и систематической составляющими процесса формирования микрорельефа на основе использования безразмерного критерия Хёрста. Доказано, что наиболее корректные результаты моделирования могут быть получены при рассмотрении распределения ординат микропрофилей соответствии с законом Накагами. Сформулирована гипотеза о преобладании случайной компоненты в процессе формирования шероховатости поверхностного слоя и взаимосвязи случайной компоненты с вибрационным фоном процесса точения закаленной стали.

В **третьей главе** приведено подробное описание методики и результатов экспериментального исследования вибрационного фона процесса резания. Выявлена взаимосвязь между условиями обработки, безразмерными характеристиками вибрационного процесса и количественными оценками шага и высоты микропрофиля обработанной поверхности. Определены рациональные, с точки зрения микрогеометрии обработанной поверхности, условия резания.

В **четвертой главе** приведено описание функциональной структуры системы мониторинга процесса обработки и прогнозирования шероховатости обработанной поверхности. Показано, что использование нейро-нечетких информационных моделей для описания закономерностей формирования микрорельефа более эффективно с точки зрения точности моделирования, по сравнению с иными способами – полиномиальным, спектральным, корреляционным и др.

Показана возможность построения самообучаемой системы на основе использования нейронечеткого моделирования. Обоснована возможность прогнозирования результатов обработки средствами экспертной самообучаемой системы, не обязательно работающей в режиме реального времени.

В пятой главе приведено описание структуры и алгоритма программной системы управления качеством поверхности при чистовом точении заготовок из закаленных сталей. Экспериментально доказано снижение высоты микронеровностей (параметр Ra) за счет коррекции условий обработки. В качестве корректирующего воздействия принято изменение скорости продольной подачи. Расчет корректирующего воздействия предполагает решение задачи параметрической оптимизации, что позволяет обеспечить требуемое качество обработки при достаточной производительности процесса и гарантированной работоспособности инструмента.

Сопоставляя результаты экспериментальных исследований процесса обработки по классической схеме и с коррекцией режимов резания, можно сделать заключение о том, что поставленные задачи решены, цель исследования достигнута.

#### **Достоверность и обоснованность основных результатов и выводов.**

- первый вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, описанными в гл. 2 диссертации, содержит признаки научной новизны по п. 3, 8 паспорта специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения»;
- второй вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами гл. 2 диссертации, содержит признаки научной новизны по п. 3, 7 паспорта специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения»;
- третий вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, приведенными в гл. 3 диссертации, содержит признаки научной новизны и представляет практическую значимость по п. 8 паспорта специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения»;
- четвертый вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами гл. 2, 3 диссертации, содержит признаки научной новизны по п. 3 и представляет практическую значимость по п. 7 паспорта специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения»;
- пятый вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, описанными в гл. 4, 5 диссертации, не содержит признаков научной новизны, представляет практическую значимость в соответствии с п. 7, 8 паспорта специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

Следует отметить, что теоретически полученные автором основные результаты подтверждены экспериментальными исследованиями. Обоснование принятых в работе допущений и ограничений отражено в диссертации в полном объеме. Подходы соискателя к решению по-

ставленных задач логично и системно взаимосвязаны и обуславливают непротиворечивость результатов исследования.

**Практическая ценность** материалов исследования состоит в возможности их использования при проектировании и осуществлении операций механической обработки в условиях действующих и вновь создаваемых производств. Материалы и результаты исследования могут быть использованы при подготовке технологов механообрабатывающего производства.

#### **Замечания по диссертационной работе**

Работа в целом производит хорошее впечатление, однако следует отметить некоторые вопросы и замечания, в том числе редакционного характера.

Замечания по существу работы.

2. В качестве одного из новых научных результатов (раздел «Научная новизна», п. 3, стр. 4 автореф., стр. 6 дисс.) автор заявляет «...выявление наиболее информативного частотного диапазона...» – какая количественная характеристика используется для оценки информативности сигнала?
3. Требуют развернутых пояснений:
  - (1) способ количественной оценки «нестабильности шероховатости» (стр. 3 автореф., стр. 4 дисс.);
  - (2) использование общего названия микропогрешности (шероховатость) в качестве «оценочного показателя... выходной величины» (стр. 3 автореф., стр. 4 дисс.), т. е., в качестве количественной характеристики микропогрешности;
  - (3) насколько возможно рассматривать «микрорельеф поверхности» в качестве «выходного фактора математической модели» (стр. 7 автореф., стр. 44 дисс.) – функция отклика в математической модели предполагает, как правило, численное значение.
4. Какое количество точек взято для расчета критического значения критерия Колмогорова-Смирнова (стр. 7 автореф., стр. 54 дисс.) при оценке значимости законов распределения ординат микрорельефа с каждой из 200 профилограмм?  $D_k^{p=0,01} = 0,036$  при  $n = 2050$ .
5. Для оценки соотношения случайной и систематической составляющей шероховатости построены аппроксимирующие зависимости (ф. 3.4, стр. 8 автореф, ф. 2.19, стр. 60, ф. 2.27, стр. 65 дисс.):
  - (1) из каких соображений в качестве спецификации математических моделей выбран именно степенной полином? Как определена высшая степень полинома – третья?
  - (2) чему равна относительная погрешность аппроксимации?
  - (3) насколько существенно изменится погрешность аппроксимации, если значения коэффициентов полинома округлить грубее, чем 10-5?

6. Описание методики проведения физических экспериментов (стр. 10 автореф., стр. 54, 71..72 дисс.) требует дополнительных пояснений, в частности:

- (1) необходимо конкретизировать диапазон твердости исследуемых образцов;
- (2) какое содержание вкладывается в понятие «оптимальный режим» обработки? Насколько оптимальными можно считать скорость  $175 \pm 125$  м/мин и подачу  $0,105 \pm 0,095$  мм/об?

видимо, предполагались «рациональный режим», либо «интервалы варьирования» элементов режима обработки; следует заметить, что описание условий проведения физического эксперимента в виде матрицы планирования позволило бы конкретизировать значения «постоянной подачи» (1 а, в, 2 а), «постоянной скорости» (1 б, в, 2 а) в «выбранных точках», и было бы более наглядным;

- (3) не приведены геометрические параметры режущих пластин «стандартных токарных резцов» с механическим креплением.

7. Утверждение: «... при увеличении значения продольной подачи среднеарифметическое отклонение профиля  $Ra$ , средний шаг  $Sm$  возрастают» (стр. 11 автореф., стр. 83 дисс.) противоречит данным, представленным на графиках (рис. 5, стр. 12 автореф., рис. 3.12, 3.13, стр. 81, 82 дисс.) соответствующих зависимостей. В диапазоне подач  $0,08...0,09$  мм/об отмечается локальный минимум высоты и шага микропрофиля.

8. В разработанной системе адаптивного управления в качестве корректирующего воздействия принято изменение скорости продольной подачи (гл. 5, стр. 15 автореф., стр. 109 дисс.) режущего инструмента – чем обосновано именно такое решение? практически все промышленные системы ЧПУ в качестве инструмента оперативной коррекции условий обработки используют скорость резания.

9. Визуальное сравнение графиков зависимости высоты микропрофиля от времени резания при работе с коррекцией и без (рис. 10..11, стр. 16 автореф., рис. 5.9...5.10, стр. 114...115 дисс.) позволяет сделать вывод о низкой стабильности процесса точения с коррекцией по подаче в начальный период времени – как оценивалась стабильность процесса обработки? (см. ранее вопрос 2 (1)).

Замечания редакционного и общего характера.

10. Требуют пояснений:

- отсутствие ссылок на публикации соискателя в библиографическом списке диссертации;
- отсутствие сканов актов о промышленном использовании материалов и результатов работы в приложениях к диссертации.

11. Экспериментально полученные значения на диаграммах (рис. 1, стр. 8, рис. 7, стр. 13, ав-

тореф, рис. 2.12, стр. 59, рис. 2.16, стр. 65, рис. 3.20, 3.21, стр. 88 дисс.) показаны детерминированными точками без «отсечек» погрешности – сколько раз в действительности повторены опыты по определению соотношения случайной и систематической составляющей шероховатости? Как определено количество повторений опыта в каждом физическом эксперименте?

12. Графические представления зависимостей высоты микронеровностей от времени (рис. 10..11, стр. 16 автореф., рис. 5.9..5.10, стр. 114..115 дисс.):

- логично было бы представить в одном масштабе в единой системе координат;
- понятие «основное время» ( $T_0$ ) в технологии имеет определенный смысл – в данном контексте правильнее использовать «время резания».

13. В тексте диссертации дважды (стр. 51 и стр. 71-72), практически дословно, повторено общее описание методики проведения эксперимента.

Указанные замечания носят частный характер и не снижают значимости выполненных исследований. Актуальность работы, её научная новизна, практическая и теоретическая значимость полученных результатов не вызывают сомнений.

#### **Соответствие паспорту научной специальности**

Основные положения выполненных исследований соответствуют паспорту специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения», в частности, областям исследования: 3, 7, 8. Полученные результаты достаточно полно представлены в опубликованных научных трудах автора.

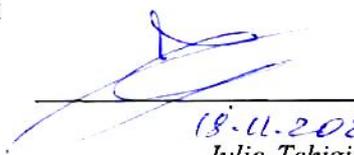
#### **Заключение о соответствии диссертации**

Диссертация Кузнецовой Елены Михайловны на тему «Технологическое обеспечение требуемой шероховатости при токарной обработке деталей из закаленных сталей на станках с ЧПУ» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной научной и практической задачи в области повышения эффективности механической обработки в условиях неопределённости технологической информации. Работа выполнена автором самостоятельно. Полученные результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа написана доходчиво, грамотно, аккуратно оформлена, стиль изложения доказательный, язык четкий и понятный. Проведённые автором исследования и их результаты обладают научной новизной и практической значимостью, соответствуют формуле и областям исследования 3, 7, 8, определенным в паспорте научной специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения». Содержание автореферата в целом соответствует содержанию работы. Материал диссертации изложен в строгой логической последовательности, с использованием принятой в машиностроении терминологии. Содержание исследования достаточно полно отражено в открытой печати в опубликованных научных работах, в т. ч., в изданиях, рекомендованных ВАК Министерства науки и высшего образования РФ.

Учитывая значимость материалов диссертации для науки и практики, актуальность тематики, личный вклад соискателя, уровень обсуждения результатов в печати и на конференциях, следует признать диссертационную работу «Технологическое обеспечение требуемой шероховатости при токарной обработке деталей из закаленных сталей на станках с ЧПУ» соответствующей, по своему содержанию, объему, актуальности, научной и практической значимости, требованиям ВАК Министерства науки и высшего образования РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям и определенным пунктами 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. за № 842 с изменениями на 25.01.2024 г., а ее автора, КУЗНЕЦОВУ Елену Михайловну, заслуживающей присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.6 – «Технология машиностроения».

*Настоящим подтверждаю свое согласие на автоматизированную обработку персональных данных*

Официальный оппонент,  
заведующий кафедрой  
«Технология машиностроения»  
ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный  
технический университет»  
докт. техн. наук, профессор,  
специальности:  
05.02.08 – «Технология машиностроения»;  
05.13.06 – «Автоматизация и управление  
технологическими процессами и производствами  
в машиностроении»



Юлий Львович  
Чигиринский

18.11.2024

[Julio-Tchigirinsky@yandex.ru](mailto:Julio-Tchigirinsky@yandex.ru);

[techmash@vstu.ru](mailto:techmash@vstu.ru)

тел. 844-224-84-29

