

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

<http://www.vstu.ru>

В объединенный диссертационный совет 99.2.001.02 на базе ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный технический университет» и ФГБОУ ВО «Гольяттинский государственный университет»
432027, г. Ульяновск,
ул. Северный Венец, 32

ОТЗЫВ

официального оппонента **Чигиринского Юлия Львовича** на диссертационную работу **Финагеева Павла Рамдисовича** на тему: «Повышение эффективности процесса точения заготовок за счет коррекции режима резания в условиях неопределенности технологической информации», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»

Общие сведения о диссертации

Диссертационное исследование **Финагеева Павла Рамдисовича** посвящено вопросам, связанным с техническим нормированием операций механической, в частности, лезвийной обработки. Доля операций обработки, выполняемой на станках токарной группы, по различным оценкам составляет от 20 % до 40 % общей трудоемкости обработки лезвийным инструментом. Проблемы рационального назначения режимов резания, гарантирующих необходимое качество и точность изделий при обеспечении достаточной производительности обработки и работоспособности режущего инструмента являются важными для специалистов машиностроительного производства на протяжении всей истории резания металлов. Фактически, 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. В работе **П. Р. Финагеева** предлагается решение задачи расчета режимов точения с учетом неопределенности физико-механических, теплофизических и иных свойств элементов технологической системы – в первую очередь, материалов заготовки и режущего инструмента.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 138 наименований и семи приложений. Основной материал работы изложен на 173 страницах, содержит 32 таблицы и 49 рисунков.

Основные результаты диссертации опубликованы в 30 печатных работах, в том числе 6 статей в рецензируемых журналах, входящих в действующий «Перечень ВАК», 4 статьи в журналах и 2 статьи в сборниках, индексируемых в МБД SCOPUS и WoS, 7 охранных документов на программы для ЭВМ. Таким образом, материалы и результаты исследования опубликованы в 19 работах в рецензируемых и приравненных к ним изданиях, что соответствует требованиям п.п. 11...13 «Положения о присуждении ученых степеней» в редакции от 26.10.2023 г. Общее количество журнальных статей – восемь. 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 в достаточной степени владеет профессиональной терминологией. Содержание автореферата соответствует тексту диссертации и адекватно отражает полученные в ходе исследования результаты.

Актуальность темы

Расчет технологических условий механической обработки, гарантирующих получение изделий требуемого качества и точности при обеспечении достаточной производительности обработки и работоспособности режущего инструмента представляет собой научно-производственную задачу, актуальную для машиностроительного производства. Существующие на сегодняшний день методы расчета (с использованием различных математических моделей) или назначения (в соответствии с рекомендациями производителей режущего инструмента) не позволяют обеспечить достаточной надежности результатов технического нормирования операций механической и, в рамках диссертационного исследования П. Р. Финагеева, лезвийной обработки. Даже если не принимать во внимание неоднозначность физико-механических свойств материалов контактной пары «заготовка-инструмент» и переменность свойств (жесткость, кинематическая точность и др.) оборудования, расчет режимов резания с использованием различных методик дает, при одинаковых исходных данных, результаты, различающиеся в диапазоне 20 %...150 %. Фактически, с учетом неопределенности технологической информации, эта погрешность оказывается еще больше. В силу этих причин исследование П. Р. Финагеева следует считать актуальным для современного производства и науки о резании металлов.

Обоснованность и достижимость цели и задач исследования

Целью представленной диссертационной работы заявлена разработка методик коррекции режимов механической обработки, позволяющих повысить производительность операций механической обработки при обеспечении требуемого качества деталей с учетом неопределенно-

сти технологической информации.

При выполнении исследований автор поставил и решил следующие **задачи**: разработал методики коррекции режима течения при различных соотношениях предельных и фактических значений выходных параметров и план варьирования управляемых факторов с целью приближения функций отклика, отражающих результаты обработки – точность размеров, качество поверхности, стойкость инструмента, – к оптимальным значениям; разработал математические модели для расчёта выходных и текущих параметров процесса течения и путей их рассеивания, методику определения изменяющихся во времени выходных параметров и текущих показателей процесса течения, модели, алгоритмы и программное обеспечение для коррекции назначенного режима течения; оценить эффективность разработанных методик коррекции режима на основе анализа результатов их функционирования. Техническая новизна разработанных решений подтверждена патентами на изобретение. Работоспособность и эффективность предложенных методов управления процессом лезвийной обработки подтверждена промышленными испытаниями в условиях действующего производства. 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.

Выдвинутые автором научные положения и выводы обоснованы использованием известных научных положений теории резания, теплофизики резания и технологии машиностроения, методов математического моделирования. Достоверность экспериментально полученных результатов подтверждается использованием методов статистического анализа и апробированных методик факторного планирования.

Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

При проведении исследований автор выполнил анализ основных положений работ исследователей научных технологических школ, ведущих теории резания металлов и построения адаптивных технологических систем – Брянской (А. Г. Сулов, Д. И. Петрешин), Волгоградской (Н. В. Талантов, А. Л. Плотников, Ю. Л. Чигиринский), Московской (исследования специалистов МГТУ им. Баумана и МГТУ «СТАНКИН»), Саратовской (Б. М. Бржозовский, П. Ю. Бочкарев) и др. Вполне корректно использует научные методы обоснования полученных результатов, в частности, методы математической статистики. Сравнение расчетных данных с экспериментально полученными результатами показывает достаточную сходимость.

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 аттесто-

ванных приборов и средств измерительной техники, данными экспериментальной проверки полученных закономерностей.

Заключение по работе носит обзорный характер и не содержит фактических сведений о результатах выполненного исследования. Выводы по каждой главе представляют собой четко структурированные результаты исследования. Анализ выводов по главам и общего заключения по работе позволяет утверждать, что поставленные **задачи решены и цель исследования достигнута**.

Значимость для науки и практики полученных автором результатов

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований автором получены математические зависимости, устанавливающие взаимосвязи технологических параметров лезвийной обработки с формируемым качеством обработанной поверхности, геометрической точностью размеров изделия, стойкостью режущего инструмента. Предложенные модели учитывают неопределенность свойств материалов, участвующих в процессе резания. Разработанные модели реализованы в виде методики проектирования операций токарной обработки, предполагающей расчетную коррекцию предварительно определенных технологических режимов с учетом вариативности свойств элементов технологической системы и соответствующую «подстройку» оборудования. Разработано программное обеспечение для формализации предложенных автором расчетных проектных процедур.

Результаты, полученные автором, можно расценивать как новые научные знания, вносящие вклад в технологическую науку. В частности, **новые научные результаты** работы заключаются в решении актуальной научно-производственной задачи совершенствования методов управления процессами механической обработки с целью повышения эффективности механообрабатывающего производства:

1. Методика коррекции режима резания при различных соотношениях заданных и фактических значений выходных параметров, включающая план варьирования управляемыми параметрами с целью адаптации (коррекции) моделей процесса и приближения управляемых параметров к оптимальному значению.
2. Математические модели и зависимости для расчёта тангенциальной составляющей силы резания, температурного поля, шероховатости обработанной поверхности и полей их рассеивания и расчета погрешности диаметрального размера детали. Модели учитывают изменение механических и теплофизических свойств материалов заготовки и инструмента в зависимости от температуры в зоне обработки.
3. Методика определения взаимосвязанных текущих и выходных параметров процесса обработки, позволяющая рассчитать их значения в зависимости от времени наработки инструмента.

4. Результаты численного моделирования параметров процесса точения, в том числе исследование влияния изменения предела текучести материала заготовки на рассеивание контактных температур и тангенциальной составляющей силы резания.

Практическая ценность работы заключается в следующем – разработанные автором новые методы управления процессом точения реализованы в виде математического и программного обеспечения, что позволяет применять их в практической производственной деятельности. На программы расчета режимов точения в условиях неопределенности технологической информации и расчета контактных температур получены свидетельства о гос. регистрации программ для ЭВМ. Эффективность полученных автором результатов подтверждена актом опытно-промышленных испытаний на станкостроительном предприятии АО «ФРЕСТ», г. Ульяновск. Сведения, приведенные в акте производственных испытаний, подтверждают, что при увеличении скорости продольной подачи в 1,25 раза размер обработанной поверхности остается в пределах допуска и шероховатость поверхности соответствует требованиям конструкторской документации. Таким образом, в результате использования рекомендаций П. Р. Финогеева производительность обработки повышается на 25 % по сравнению с базовым вариантом технологии.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Предложенные и обоснованные автором технико-технологические решения могут быть рекомендованы для промышленного применения в части технологического проектирования и практического осуществления операций токарной обработки в условиях проектно-технологических, научно-исследовательских организаций и на предприятиях машиностроительного профиля.

Оценка содержания диссертации и ее завершенности

Введение посвящено обоснованию актуальности темы диссертации по проблеме повышения эффективности механической обработки и обеспечения требуемого качества обработанных изделий при гарантированной работоспособности режущего инструмента. Следует отметить грамотные, с позиций методологии научных исследований, формулировки элементов «паспорта» научного исследования.

В **первой главе** на основе аналитического обзора результатов исследований в области теории резания, проведенных ранее и проводимых в настоящее время в ведущих отечественных и зарубежных научных школах автор систематизировал основные подходы к управлению процессами формирования качества / точности обработки и изнашивания режущего инструмента. По результатам систематизации сформулированы направления интенсификации механической обработки в направлении повышения производительности механообрабатывающего производства и обеспечения работоспособности режущего инструмента. Следует отметить, что автор отошел от традиционной структуры текста диссертации – первая глава, как «моментальная фо-

тография» состояния изучаемого вопроса. В первой главе текста диссертации П. Р. Финагеева приведены материалы глубокого исследования изучаемой проблемы. В тексте первой главы четко прослеживается самостоятельный, авторский, подход к изучению закономерностей механической обработки. Обоснована перспективность предлагаемых в работе технико-технологических решений в плане управления процессами лезвийной обработки. На основе выполненного анализа сформулированы цель и задачи исследования, обоснованы применяемые методы исследования.

Во **второй главе** приведено подробное описание и математическое обоснование методик определения взаимосвязанных текущих показателей и выходных параметров процесса обработки и коррекции режима резания для различных сценариев обработки. Используя понятие резерва выходного параметра – разницы между регламентированным и фактическим значением, – автор разработал различные планы коррекции режимов обработки с целью максимального приближения комплекса выходных показателей процесса к их оптимальным значениям. Планы коррекции разработаны для следующих наиболее вероятных сценарии обработки: все фактические резервы положительны; некоторые (или все) фактические резервы отрицательны; один или несколько фактических резервов равны нулю, остальные положительны. Методики коррекции режимов разработаны для условий малой интенсивности изнашивания инструмента (процесс обработки можно условно считать стационарным) и для нестационарного процесса, при котором изнашивание инструмента происходит с переменной интенсивностью, что приводит к изменению параметров процесса во времени.

В **третьей главе** обоснован выбор контролируемых выходных параметров, приведено описание и обоснование построения математических моделей, отражающих взаимосвязь выходных показателей процесса с технологическими условиями обработки, выполнено численное моделирование выходных параметров процесса точения, описана методика статистического анализа результатов моделирования. В качестве выходных параметров выбраны параметр шероховатости обработанной поверхности – среднее арифметическое отклонение профиля R_a и погрешность диаметрального размера. В разработанных математических моделях учтены фактические физико-механические свойства обрабатываемого материала и фактические, с учетом изменяющейся в процессе обработки формы режущего клина, геометрические параметры контакта рабочих поверхностей инструмента с заготовкой: при расчете погрешности диаметрального размера учитывается фактическое значение предела текучести материала заготовки и фактическая, с учетом переменного припуска, глубина резания; при моделировании параметра микропрофиля, кроме прочностных характеристик обрабатываемого материала, в расчете участвует фактическая площадь контакта инструмента с заготовкой по задней поверхности. Выполнен анализ влияния неопределенности технологической информации – в частности, прочно-

стных характеристик обрабатываемого материала, – на вариабельность силовых и температурных параметров процесса резания: показано, что изменение предела текучести материала заготовки в пределах 20 % вызывает пропорциональное рассеяние расчетных значений сил и температуры на контактных поверхностях инструмента.

В четвертой главе представлены результаты апробации программного обеспечения, разработанного автором для практической реализации методик коррекции условий обработки с учетом неопределенности технологической информации. Описана методика оценки технической (с точки зрения изменения производительности обработки) и экономической эффективности предложенных в работе технико-технологических решений. Приведены результаты опытно-промышленных испытаний результатов исследования в условиях действующего производства.

Достоверность и обоснованность основных результатов и выводов.

- первый вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, описанными в гл. 2, 3 диссертации, содержит признаки научной новизны по п. 2 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- второй вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами гл. 3 диссертации, содержит признаки научной новизны по п. 2, 6 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- третий вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, приведенными в гл. 3 диссертации, содержит признаки научной новизны по п. 2, 6 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- четвертый вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами гл. 2 диссертации, содержит признаки научной новизны по п. 2 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- пятый вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, описанными в гл. 4 диссертации, не содержит признаков научной новизны, представляет практическую значимость в соответствии с п. 6 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- шестой вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, описанными в гл. 4 диссертации, не содержит признаков научной новизны, представляет практическую значимость в соответствии с п. 6 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;
- седьмой вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, описанными в гл. 4 диссертации, не содержит признаков научной новизны, представляет

практическую значимость в соответствии с п.п. 3. 4 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;

- восьмой вывод обоснован, достоверность подтверждается материалами исследований, описанными в гл. 4 диссертации, не содержит признаков научной новизны, представляет практическую значимость в соответствии с п.п. 3. 4 паспорта специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки»;

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:

1. В работе упоминается классификация факторов математических моделей по признаку управляемости, учитывающая две группы: управляемые и неуправляемые (дисс., стр. 5, абзац 2, стр. 51, рис. 12, автореф., стр. 3), при этом строгое определение авторского понятия «неуправляемый фактор» в работе отсутствует. Обычно при математическом моделировании рассматривают три категории факторов: управляемые, контролируемые и случайные, иногда объединяя первые две категории в группу детерминированных. Рассмотрение стохастических факторов процесса обработки – колебаний припуска и механических свойств материала заготовки (дисс., стр. 5, предпоследний абзац, стр. 48 и др.), как неуправляемых, следует считать некорректным, – это случайные факторы.
2. В разделе «Научная новизна работы» (дисс., стр. 7...8, автореф., стр. 4...5) приведен перечень конкретных результатов исследования, которые можно классифицировать, как обладающие признаками новизны, но не сформулирована в явном виде проблема (или комплекс задач), решение которой представляет собой новое научное знание, вносящее существенный вклад в технологическую науку или в повышение уровня производства.
3. В работе неоднократно используются термины «оптимальный режим» (дисс., стр. 15, 30, 37) или «режим, близкий к оптимальному» (дисс., стр. 6, 7, 16. 20, 25, 48, и др., автореф., стр. 3, 4, 7, 16), однако в явном виде не приводятся характеристики оптимальности решения задачи расчета режима обработки – в частности, указание на целевую функцию, и критерии близости решения к оптимальному.
4. Приводя описание системы ограничений в общем виде (дисс., стр. 55, выражения 47...49) автор использует математическое понятие «функция нескольких переменных». В работе для определения угловых коэффициентов аппроксимирующих прямых, при описании ме-

тодики линейной аппроксимации функций отклика, автор применяет полные производные (дисс. 57...59, выражения 51...60) функции отклика по каждому из параметров, в то время как должны использоваться частные производные.

5. Выражение (66) для расчета производной функции отклика не может считаться достаточно корректным, поскольку:
 - не оговорена ширина интервала варьирования фактора (знаменатель выражения 66);
 - в случае вероятного расхождения расчетных значений с ожидаемыми автор предлагает увеличить интервал варьирования фактора (дисс, стр. 62, предпоследний абзац) – такой прием противоречит математическому смыслу производной: «приращение функции при бесконечно малом приращении аргумента».
6. Насколько необходимо вводить новые термины взамен общеизвестных? Например, «время наработки инструмента» (дисс., стр. 72) вместо «времени работы инструмента».
7. Не вполне понятно, каким образом определены рекомендуемые значения коэффициентов запаса при расчете интервалов варьирования управляемых параметров (дисс., стр. 58, выражение 55, стр. 74, выражение 103, автореф., стр. 8, выражение 1, стр. 11, выражение 11).
8. Требуется обоснования оценка адекватности математической модели (дисс., стр. 111), полученная в результате сравнения двух моделей – авторской и модели, описанной в источнике 18 (дисс., стр. 180).
9. Результаты численного моделирования температурных полей на передней и задней поверхностях резца (дисс., стр. 113...115) должны округляться с учетом случайного варьирования физико-механических и теплофизических свойств материалов заготовки и инструмента и погрешностей средства измерения температуры при проведении эксперимента – суммарная погрешность такого рода (при самом оптимистичном прогнозе) не может быть меньше 10 % расчетного значения. Следовательно, расчетные значения в табл. 3...5 должны округляться до $\sim 50\%$.
10. «Заключение» по диссертации (дисс., стр. 172...173, автореф., стр. 16...17) носит обзорный, описательный характер и не содержит фактических сведений о результатах выполненного исследования. Вместе с тем, в «Выводах» по главам (дисс., стр. 48...50, 84, 123...124, 171) результаты исследования описаны достаточно подробно.
Замечания редакционного и общего характера
11. При описании статистических методов (дисс., раздел 4.2) автор использует устаревшие термины «среднеквадратическая погрешность» и «среднеквадратичное отклонение». Начиная с 2000 года рекомендовано [ГОСТ Р 50779.10-2000 Статистические методы. Вероятность и основы статистики. Термины и определения] использовать термин «стандартное отклонение».

12. В тексте диссертации имеются грамматические ошибки, например (дисс., стр. 72), в заголовке раздела 2.3: «... учитывающая с изменение ... с увеличение времени...» и др.

13. В тексте диссертации присутствует определенное количество некорректных речевых оборотов, например:

- на стр. 5 в двух первых предложениях имеется тавтология: «Одной из актуальных задач является определение режима механической обработки...» и «Поэтому задача определения рационального режима резания является актуальной»;
- на стр. 7, 50, 54, 74, 80, ... «интервалы варьирования управляемыми параметрами» - должно быть «интервалы варьирования управляемых параметров»; и др.

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

Соответствие паспорту научной специальности

Основные положения выполненных исследований соответствуют паспорту специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки», в частности, областям исследования: 2, 3, 4, 6. Полученные результаты достаточно полно представлены в опубликованных научных трудах автора.

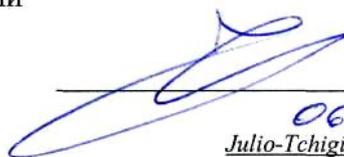
Заключение о соответствии диссертации

Диссертация Финагеева Павла Рамдисовича на тему «Повышение эффективности процесса точения заготовок за счет коррекции режима резания в условиях неопределенности технологической информации» представляет собой завершённую научно-квалификационную работу, содержащую решение актуальной научной и практической задачи в области повышения эффективности механической обработки в условиях неопределенности технологической информации. Работа выполнена автором самостоятельно. Полученные результаты достоверны, выводы и заключения обоснованы. Работа написана доходчиво, в целом грамотно, аккуратно оформлена, язык и стиль изложения четкие и понятные. Проведенные автором исследования и их результаты обладают научной новизной и практической значимостью, соответствуют формуле и областям исследования 2, 3, 4, 6, определенным в паспорте научной специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки». Содержание автореферата в целом соответствует содержанию работы. Материал диссертации изложен четко, имеет логическую последовательность, написан грамотным языком 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.

Диссертационная работа «Повышение эффективности процесса точения заготовок за счет коррекции режима резания в условиях неопределенности технологической информации» по своему содержанию, объему, актуальности, научной и практической значимости полностью соответствует 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 РФ от 24.09.2013 г. за № 842 в редакции от 18.03.2023 г., а ее автор, ФИНАГЕЕВ Павел Рамдисович, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.5 – «Технология и оборудование механической и физико-технической обработки».

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

06.12.2023

Julio-Tchigirinsky@yandex.ru;
techmash@vstu.ru
тел. 844-224-84-29

