

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА Д 212.111.05,  
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
БЮДЖЕТНОГО ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ ВЫСШЕГО  
ОБРАЗОВАНИЯ «МАГНИТОГОРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМ. Г.И. НОСОВА», МИНИСТЕРСТВО  
НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ,  
ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ ДОКТОРА НАУК

аттестационное дело № \_\_\_\_\_

решение диссертационного совета от 31 мая 2022 г. № 4

О присуждении Пивоваровой Ксении Григорьевне, Российская Федерация, ученой степени доктора технических наук.

Диссертация «Методология управления качеством продукции метизного производства с элементами робастного параметрического проектирования» по специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции принята к защите 25 февраля 2022 г. (протокол № 2) диссертационным советом Д 212.111.05, созданным на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 455000, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38, приказ №717/нк от 09.11.2012 г.

Соискатель Пивоварова Ксения Григорьевна, «23» августа 1980 года рождения,

Диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук «Повышение качества калиброванной стали на основе моделирования и оценки изменения шероховатости поверхности при волочении» защитила в 2006 году в диссертационном совете, созданном на базе государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», после освоения программы подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре при ГОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» в 2006 году.

Диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук подготовила в докторантуре при федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», работает доцентом кафедры технологий обработки материалов в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Диссертация выполнена на кафедре технологий обработки материалов, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный консультант – доктор технических наук, Корчунов Алексей Георгиевич, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», ректорат, проректор по международной деятельности.

Официальные оппоненты:

1. Айдаров Дмитрий Васильевич – доктор технических наук, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет», кафедра «Техносферная безопасность и сертификация производств», профессор;

2. Лончих Павел Абрамович – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет», кафедра автоматизации и управления, профессор;

3. Пантюхин Олег Викторович – доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», кафедра «Технологические системы пищевых, полиграфических и упаковочных производств», доцент  
дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург в своем положительном отзыве, подписанном Шешуковым Олегом Юрьевичем, доктор технических наук, профессор, институт новых материалов и технологий, директор, кафедра металлургии железа и сплавов, заведующий кафедрой; Шварцем Данилом Леонидовичем, доктор технических наук, профессор, кафедра обработки металлов давлением, заведующий кафедрой; Шимовым Виктором Васильевичем, кандидат технических наук, доцент, департамент металлургии и металловедения, директор, кафедра метрологии, стандартизации и сертификации, заведующий кафедрой, указала, что «Диссертация «Методология управления качеством продукции метизного производства с элементами робастного параметрического проектирования» представляет собой законченную научно-исследовательскую работу на актуальную тему. Новые научные результаты, полученные Пивоваровой К.Г., имеют существенное значение для метизного производства не только в отечественном сегменте, но и в международном масштабе. Выводы и рекомендации достаточно обоснованы. Диссертационная работа отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора наук, п. 9-11, 13 и 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор, Пивоварова Ксения Григорьевна, заслуживает присуждения степени доктора технических наук по специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции».

Соискатель имеет 158 опубликованных работ, в том числе по теме диссертации опубликовано 65 работ, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 25 работ, 1 монография. Сведения об опубликованных работах, в которых изложены основные научные результаты диссертации, достоверны. Авторский вклад соискателя объемом 14,5 п.л. в опубликованных работах общим объемом 31,9 п.л. состоит в анализе современных принципов и подходов к управлению качеством металлоизделий, постановке цели и задач исследования, разработке методологического подхода к управлению качеством продукции, реализующего возможности робастного параметрического проектирования применительно к технологическим процессам метизного производства, разработке методологии управления качеством метизной продукции с учетом возмущающих воздействий, разработке комплекса показателей, отражающих устойчивость технологического процесса метизного

производства к возмущающим факторам, определении оптимальных режимов изготовления металлических изделий промышленного назначения, обработке, анализе и обобщении полученных результатов.

Наиболее значительные научные работы по теме диссертации:

1. Пивоварова, К.Г. Управление качеством метизной продукции на основе робастного параметрического проектирования / К.Г. Пивоварова // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. – 2021. – Т. 19. – № 3. – С. 84-89.

2. Пивоварова, К.Г. Оптимизация технологических параметров производства калиброванного проката с использованием метода Тагути / К.Г. Пивоварова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2021. – № 6. – С. 280-285.

3. Пивоварова, К.Г. Методология управления показателями качества метизной продукции с элементами робастного проектирования / К.Г. Пивоварова, А.Г. Корчунов // Черные металлы. – 2020. – № 12 (1068). – С. 38-43.

На диссертацию и автореферат поступили отзывы:

1. АО «Белебеевский завод «Автономаль», подписанный канд. техн. наук Т.Ш. Галиахметовым. Замечания: 1. В формулах (11), (18) приводится коэффициент значимости  $i$ -го показателя качества  $\alpha_i$ . В автореферате отсутствует методика определения данного показателя. 2. В автореферате не указаны направления и перспективы дальнейших исследований автора по теме диссертации.

2. ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет», подписанный д-ром физ.-мат. наук В.Е. Громовым и канд. техн. наук С.А. Невским. Замечания: 1. В автореферате отсутствует алгоритм разработки мероприятий по снижению технологической неопределенности. 2. При описании методики оценки технологической неопределенности оборудования и персонала (стр. 15) не приведено рекомендуемое количество образцов, операторов и измерений.

3. ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», подписанный д-ром техн. наук А.Г. Ивахненко. Замечания: 1. Неясно, как соискатель разграничивает методологию и методологический подход. Не раскрыта суть методического подхода к количественной оценке неопределенности. 2. Выражение «...критерий должен обеспечивать робастность процесса, т.е. устойчивость технологического

процесса к возмущающим воздействиям» (стр. 10) является некорректным. Критерий сам по себе ничего не обеспечивает. 3. При создании выражения (4) для вычисления технологической неопределенности параметра с использованием инструмента – причинно-следственной диаграммы 4М, принят целый ряд допущений, не представленных для пояснения этого выражения.

4. АО Научно-производственное объединение «БелМаг», подписанный канд. техн. наук Ю.В. Калмыковым. Замечания: 1. Из автореферата непонятно, какая технологическая схема принята для производства калиброванного проката марки С10С. 2. Из автореферата неясно, каким образом воздействует оборудование на технологическую неопределенность параметров производства.

5. ПАО «КАМАЗ», подписанный канд. техн. наук С.А. Шаниным. Замечания: 1. Из автореферата неясно, какие особенности метизного производства учитывает предлагаемая методология управления качеством металлических изделий. 2. Почему в предлагаемой классификации возмущающих факторов не рассматриваются факторы, воздействующие на продукцию в процессе ее эксплуатации.

6. ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», подписанный д-ром техн. наук В.Ю. Столбовым. Замечания: 1. В автореферате отсутствуют аргументы, поясняющие применимость соотношений (8) и (10). 2. В автореферате не приведен анализ и обоснование выбранных методов решения оптимизационных задач (12) - (13) и (19) - (20). 3. В автореферате не представлены оценки значимости полученных математических моделей (31), (32), (33).

7. ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет гражданской авиации», подписанный канд. техн. наук С.В. Снимщиковым. Без замечаний.

8. ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», подписанный канд. техн. наук К.И. Порсевым. Замечания: 1. В автореферате указывается: «в настоящей работе для получения математических моделей для управления свойствами конечной продукции был использован экспериментальный подход» (стр. 11). Возможно ли применение теоретических моделей для проведения робастного параметрического проектирования? 2. В «Основных результатах и выводах по работе» п. 2 соискатель указывает: «Разработана матрица для оценки

влияния возмущающих факторов на показатели качества продукции и параметры технологического процесса, а также методика по ее заполнению». В автореферате не приведена методика заполнения матрицы для оценки влияния возмущающих факторов.

9. ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)», подписанный д-ром техн. наук М.Н. Самодуровой. Замечание: 1. Непонятно, почему предлагается использовать новый критерий робастности – отношение «сигнал/шум» метода управления. 2. Целесообразно было привести оценку повышения робастности в процентах.

10. ФГБОУ ВО «Тульский филиал РЭУ им. Г.В. Плеханова», подписанный д-ром техн. наук С.В. Юдиным. Замечания: 1. Неясно, что нового дает схема технологического процесса, представленная на рис. 1. Это стандартный «черный ящик», используемый повсеместно. 2. На стр. 23 отмечено, что изготовлена опытная партия, и что испытания и опытная переработка подтвердили полное соответствие продукции требованиям по качеству, но отсутствует сводка результатов, которые убедили бы в этом. 3. Что имеется в виду под термином «опытная переработка»?

11. ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет», подписанный д-ром техн. наук С.Б. Сидельниковым. Замечания: 1. Следовало бы пояснить, чем представленная на рис. 1 параметрическая схема технологического процесса метизного производства отличается от традиционной схемы представления технологического процесса в виде «черного ящика». 2. Представленная на рис. 2 автореферата процедура управления качеством принципов робастного параметрического проектирования имеет достаточно большое количество этапов. Не приведет ли реализация данной процедуры на практике к значительным затратам времени и ресурсов? 3. Непонятны зависимости показателей механических свойств от скорости обработки (м/мин) и температуры (°С) нагрева канатов. Скорее всего, это регрессионные зависимости, которые почему-то автором названы математическими моделями, так как размерности входящих в них параметров не соответствуют приведенным в расшифровке.

12. ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет», подписанный д-ром техн. наук А.К. Погодаевым. Замечания: 1. В автореферате не ука-

зан личный вклад автора. 2. В автореферате не приведены результаты контрольного эксперимента по результатам совершенствования процессов изготовления арматурных канатов и высокопрочной арматуры.

13. ФГБУН «Института проблем машиноведения Российской академии наук», подписанный д-ром физ.-мат. наук С.А. Атрошенко. Замечание: Из автореферата трудно понять, как с помощью робастного параметрического проектирования определены оптимальные режимы механотермической обработки.

14. ГБОУ ВО МО «Технологический университет», подписанный д-ром техн. наук Т.Н. Антиповой. Замечания: 1. Во второй главе диссертационной работы автор указывает, что: «В соответствии с робастным подходом цель проектирования технологического процесса заключается в обеспечении выпуска продукции требуемого качества с минимальными потерями для потребителя». Требуется пояснение: что значит минимизация потерь для потребителя, и как автор реализует это требование в своей работе? 2. В разделе «Основные результаты и вывод по работе» пункт 2: «Предложена методика количественной оценки технологической неопределенности, основанная на опытно-промышленном исследовании возмущающих воздействий на показатели качества и параметры процесса»... Данная методика, безусловно, является значимым результатом, однако, судя по автореферату, ни в задачах исследований, ни в защищаемых положениях, ни в описании исследований по главам никаких упоминаний о данной методике нет.

15. ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», подписанный д-ром техн. наук Ю.С. Клочковым. Замечания: 1. Автор на страницах 7 и 8 диссертации указывает большое число российских и зарубежных ученых, которые внесли значительный вклад в «... становление и развитие теории и практики управления качеством продукции...», но при этом публикации некоторых указанных ученых отсутствуют в списке литературы, что может свидетельствовать о недостаточном анализе их разработок. 2. В выводах к третьей главе автор утверждает, что получены математические модели формирования показателей качества калиброванной стали марки С10С...», следует пояснить, относятся ли к математическим моделям полученные зависимости и уравнения регрессии. 3. Из работы, на мой взгляд, следует, что автор расширил возможности MSA-анализа, но недостаточно отразил это в результатах исследования.

16. АО «Белорецкий металлургический комбинат», подписанный канд. техн. наук Т.А. Лаптевой. Без замечаний.

17. ФГБОУ ВО «Уфимский государственный авиационный технический университет», подписанный канд. физ.-мат. наук А.К. Галимовым. Замечание: В автореферате, наряду с математической моделью, описывающей процесс формирования показателей качества продукции, следовало бы более подробно описать модели неопределенности рассматриваемых в работе процессов.

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается их известными систематическими исследованиями и научными работами в области анализа, синтеза и оптимизации, математических и информационных моделей состояния и динамики качества объектов, квалиметрических методов оценки качества объектов, стандартизации и процессов управления качеством продукции, о чем свидетельствуют публикации в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science. Это подтверждает их способность квалифицированно определить и оценить научную и практическую ценность, новизну исследований.

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**разработаны** новая методология управления качеством металлических изделий, отличающаяся использованием принципов робастного параметрического проектирования в технологиях метизного производства, позволяющая эффективно повышать устойчивость технологического процесса к возмущающим воздействиям; процедура идентификации возмущающих воздействий в технологических процессах метизного производства на основе разработанной авторской классификации возмущающих факторов, учитывающей источники их возникновения – оборудование, персонал, метод управления, измерительную систему и объект воздействия;

**предложен** оригинальный комплексный подход к поддержке принятия решений в задачах управления качеством продукции, связанный с повышением технологической устойчивости к возмущающим воздействиям при разработке новых и совершенствовании действующих технологических процессов метизного производства;



**доказана** перспективность использования методологии робастного проектирования с целью повышения устойчивости технологических процессов метизного производства к возмущающим воздействиям и обеспечения заданного уровня свойств готовой продукции;

**введены** новые понятия «технологическая неопределенность», «показатель технологической устойчивости», определяющие логическую связь между целевыми критериями и разработанными математическими моделями для получения количественной оценки робастности при управлении качеством продукции в технологиях метизного производства.

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:**

**доказана** эффективность применения разработанных критериев, позволяющих оценить степень устойчивости технологических процессов метизного производства к воздействиям возмущающих факторов при управлении качеством продукции;

**применительно к проблематике диссертации результативно (эффективно, то есть с получением обладающих новизной результатов) использованы** научный метод исследований, включающий теоретический анализ и экспериментальную проверку полученных результатов в производственных условиях, многомерные методы статистического анализа, методы планирования экспериментов, метод робастного параметрического проектирования, метод серого реляционного анализа, методы теории случайных процессов, квалиметрических методов для разработки методов управления качеством металлических изделий;

**изложены** основные положения процедуры идентификации возмущающих воздействий применительно к процессам метизного производства, позволяющей выявить наиболее существенные возмущающие факторы, влияющие на неопределенность показателей качества, и предпринять целенаправленные действия по ее снижению;

**раскрыты** проблемы существующих методологий управления качеством металлических изделий и предложено их расширение, дополнение или совместное использование с предложенным подходом;

**изучено** влияние технологических режимов обработки на формирование показателей качества калиброванной стали, стабилизированных арматурных канатов, высокопрочной арматуры;

**проведена модернизация** существующих информационных, математических моделей управления качеством металлических изделий за счет использования методологии робастного параметрического проектирования, которая обеспечила получение новых эффективных моделей принятия решений в условиях неопределенности.

**Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что:**

**разработаны и внедрены** технологические режимы производства калиброванной стали, арматурных канатов, высокопрочной арматуры, позволяющие существенно сократить время на анализ и принятие решений по обеспечению заданного уровня качества готовой продукции, в условиях ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ»;

**определены** перспективы применения методологии робастного параметрического проектирования и методики количественной оценки технологической неопределенности на предприятиях метизной промышленности;

**создана** модель эффективного применения знаний о многомерных методах статистического анализа, квалиметрии, теории случайных процессов, планирования экспериментов, робастного параметрического проектирования, серого реляционного анализа показателей качества для обоснования выбора технологических режимов по целевым критериям с учетом требований потребителя;

**представлены** рекомендации по совершенствованию технологических процессов производства калиброванной стали, стабилизированных арматурных канатов, высокопрочной арматуры на основании разработанного показателя технологической устойчивости с учетом значимости показателей качества, которые используются в ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», АО «Белорецкий металлургический комбинат», АО «Композит» (г. Королев), АО «Научно-исследовательский центр «Строительство» (г. Москва), ООО «БИЗНЕС-КОНСАЛТ» (г. Тольятти), а также в учебном процессе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» при подготовке обучающихся по направлениям 22.03.02 Металлургия (уровень бакалавриата), 22.04.02 Металлургия (уровень магистратуры).

## **Оценка достоверности результатов исследования выявила:**

**для экспериментальных работ** сходимость проверочных и расчетных значений приростов для показателя технологической устойчивости и показателей качества металлических изделий при проведении контрольного эксперимента;

**теория** построена на использовании моделей случайных процессов, методов многомерного статистического анализа, квалиметрии и хорошо согласуется с опубликованными результатами использования этих моделей и методов при разработке методологических подходов в смежных отраслях, что подтверждает ее соответствие современному уровню развития научных основ стандартизации и управления качеством продукции;

**идея базируется** на анализе проблем проектирования новых и совершенствования действующих технологических процессов метизного производства, обобщении результатов теоретических и экспериментальных исследований по проблемам управления качеством металлических изделий;

**использовано** сравнение авторских данных с опубликованными работами в области робастного проектирования;

**установлено** качественное совпадение авторских данных с известными из различных научных источников результатами применения методологии робастного проектирования для оптимизации технологических процессов;

**использованы** современные методики сбора, обработки и анализа исходной информации, а также альтернативные взаимодополняющие методы исследования (теоретические, экспериментальные, методы управления качеством), современные средства моделирования, лабораторные и промышленные сертифицированные измерительные системы и современное программное обеспечение.

**Личный вклад соискателя состоит в** формулировании цели и задач исследования, непосредственном участии в проведении теоретических и практических исследований, разработке методологии управления качеством метизной продукции с учетом возмущающих воздействий, позволяющей решать комплексные задачи повышения качества металлических изделий, разработке классификации возмущающих факторов, учитывающей источники их возникновения – оборудование, персонал, метод управления, измерительную систему и объект воздействия, разработке комплекса показателей, отражающих устойчивость технологического про-

цесса метизного производства к возмущающим факторам, определении оптимальных режимов изготовления металлических изделий промышленного назначения, интерпретации результатов, формулировке основных положений и выводов, подготовке к публикации статей по теме диссертационного исследования. Все результаты, приведённые в диссертации, получены либо самим автором, либо при его непосредственном участии.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания.

**В отзыве ведущей организации:**

1. В диссертации технологические параметры производства рассматриваются как случайные значения, которые подчиняются определенным законам распределения. При этом не указано, для какого вида распределения разработана формула расчета технологической неопределенности параметра (формула 2.4, стр. 69).

2. Автор указывает: «В предлагаемой методологии в качестве критерия робастности предлагается использовать отношение «сигнал/шум метода управления» (стр. 76). В чем отличие предлагаемого отношения сигнал/шум от известного критерия Тагути?

3. Завершающим этапом предлагаемой методологии является контрольный эксперимент. Однако в главе 3 при проектировании технологии производства калиброванной стали марки С10С по спецификации N28 XS 0214 S001 контрольный эксперимент не проводится.

4. По результатам промышленного эксперимента сделан вывод (стр. 100) о том, что «Продолжительность выдержки при рабочей температуре отжига не оказывает существенного влияния на механические свойства калиброванной стали в выбранном диапазоне». Однако этот параметр вошел в уравнение регрессии (см. табл. 3.5). Чем это объясняется?

5. На стр. 185 диссертации сказано: «В ходе обработки результатов эксперимента не отмечено существенного влияния установленной тяги на показатели временного сопротивления и относительного удлинения арматуры». Но опять же, указанный параметр включен в уравнения регрессии (см. табл. 55).

6. Тип производства оказывает решающее влияние на особенности его организации, в частности, на производственную структуру предприятия, форму проте-

кания производственного процесса. В работе не раскрыта степень инвариантности предлагаемых автором решений в условиях производств различного типа: единичного, серийного, крупносерийного и массового.

7. В третьей главе диссертации автор рассматривает проблемы «разработки и промышленного освоения нового вида продукции – калиброванной стали, предназначенной для изготовления заготовок корпусов свечей зажигания». Как соотносятся проведенные исследования с требованиями международного отраслевого стандарта IATF 16949, который определяет требования к системе качества производителей для автомобильной промышленности?

8. При расчете показателя технологической устойчивости используются коэффициенты значимости показателей качества (формула 2.2). В диссертационной работе не указано, каким образом рассчитаны коэффициенты значимости в таблицах 3.13, 4.24, 5.21.

9. Выводы по третьей, четвертой и пятой главам, а также заключение диссертационной работы не содержат каких-либо количественных и качественных критериев и показателей, что затрудняет оценку результативности и эффективности проделанной работы.

#### **В отзыве официального оппонента Д.В. Айдарова:**

1. В главе 2 предлагается методология управления качеством металлических изделий, реализующая возможности робастного параметрического проектирования применительно к технологическим процессам метизного производства. В работе недостаточно четко сформулированы преимущества разработанной методологии перед известными алгоритмами робастного проектирования, анализ которых проводится в параграфе 1.4.

2. Выбор управляемых факторов является важным этапом робастного параметрического проектирования, от которого зависит, насколько эффективно будет осуществляться управление процессом. В главе 2 следовало более подробно описать методику выбора количества и значений уровней для робастного эксперимента.

3. Разработанную методологию управления качеством продукции предполагается применять для метизного производства. Однако представляется целесообразным распространить предложенную методологию на другие наукоемкие отрасли

промышленности. Автором диссертации не раскрыты возможности использования предлагаемой методологии для других высокотехнологичных производств.

4. На пути к индустрии 4.0 широкое распространение получила методология QFD для проектирования продукции и технологии в различных отраслях промышленности, в том числе и при производстве металлопродукции. В связи с этим, главу 3 усилила бы комплексная сравнительная оценка авторской методологии и методологии QFD.

5. В главах 4 и 5 не представлены перспективные направления интеграции разработанных критериев сигнал/шум и технологической устойчивости и традиционно используемых индексов воспроизводимости и пригодности в рамках методологии SPC.

**В отзыве официального оппонента П.А. Лонциха:**

1. Автор формулирует одну из задач исследования, как разработка методологического подхода к управлению качеством продукции, реализующий возможности робастного параметрического проектирования применительно к технологическим процессам метизного производства (Глава 1, стр. 8, 19, 24). И основанием для исследования принимает стандарт ISO 16336: 2014. Это верно, но полагаю, что корректность исследований требует одновременно учета требований стандарта ГОСТ Р 53603-2020. Оценка соответствия. Схемы сертификации продукции в РФ. Conformity assessment. Product certification schemes of the Russian Federation. В стандарте приведены схемы сертификации продукции от 1с до 9с, и важно идентифицировать необходимые схемы сертификации продукции применительно к технологическим процессам метизного производства.

2. В разделе «Выбор оптимальных условий» автор пишет: «При робастном параметрическом проектировании выбор оптимальных условий проекта достигается через максимизацию отношения SN» (Глава 2, стр. 46). И это, конечно, верно. Однако, автор никак не определяет основные принципы оптимального управления. Следовало бы указать, что оптимальное управление должно обеспечивать достижение цели при следующих условиях: получение экстремального значения заданного критерия качества управления и соблюдение ограничений на управляющие воздействия, достижение заданных критериев и выходных величин. Именно исходя

из этого, в стандарте ГОСТ Р ИСО 16336-2020 определено расчетное значение отношения SN для оптимальных условий.

3. Автор пишет: «В соответствии с робастным подходом цель проектирования технологического процесса метизного производства заключается в обеспечении выпуска продукции требуемого качества с минимальными потерями для потребителя» (Глава 2.1, стр. 54). Следует согласиться, что ориентация на потребителя, действительно, один из принципов менеджмента качества. Однако, согласно международного стандарта ИСО 16336:2020 оценивание робастности получается в результате рассмотрения общих потерь на протяжении жизненного цикла продукции не только для потребителя. Эти общие потери состоят из затрат и потерь на каждой стадии жизненного цикла. Когда продукция не робастна, она служит причиной потерь в экологии и в социально-экономической сфере, что можно подтвердить требованиями стандарта устойчивого развития ГОСТ Р ИСО 37101-2018 и управления ESG-факторами.

4. Рассматривая возмущающие воздействия, автор указывает: «В целом технологический процесс метизного производства как объект управления реализуется в структуре параметров «вход-выход» как двумерный случайный процесс. И далее: «Возмущающие факторы – это факторы, вызывающие вариации показателей качества и входных параметров процесса.... Входные параметры можно разделить на регулируемые, относящиеся к управлению процесса, и нерегулируемые, относящиеся к характеристикам сырья, в то время как выходные параметры относятся к качеству готовой продукции» (Глава 2, стр. 57, 64 и Заключение, стр. 219). И с этим следует согласиться. Однако, автор никак не идентифицирует характер такого «двумерного случайного процесса» с точки зрения нелинейности. Известно, что в нелинейных робастных системах малая чувствительность к различным вариациям математической модели объекта управления обеспечивается за счет дополнительного введения в алгоритм управления специальной статической нелинейной обратной связи. При этом даже для линейных объектов управления закон управления оказывается нелинейным.

5. Рассматривая моделирование систем, автор исходит из соображения: «Следующей стадией разработки проекта технологического процесса метизного производства является его моделирование. Представление технологической цепочки в

форме ориентированного графа позволяет математически описать технологический процесс производства. С помощью ориентированных графов обычно задается временная последовательность процесса обработки изделия. Построение графа позволяет наглядно представить структуру модели многостадийного технологического процесса (Глава 2, стр. 56, 57). Думаю, что целесообразно при использовании графов исходить из того, что динамические параметры стационарных режимов могут быть эффективно описаны при построении передаточных функций технологических процессов в целом, так и его подсистем, основываясь на применении направленных М-графов – графов Мэсона.

6. Рассматривая декомпозиционные подходы, автор пишет: «...из-за большого количества технологических операций в многостадийном процессе полученная модель может оказаться сложной для анализа, поэтому предлагается применять декомпозиционные подходы, которые сводятся к расчленению исходной системы на структурные составляющие. Декомпозиция заключается в выделении одной или нескольких технологических операций из общей системы (Глава 2, стр. 56). Использование автором методов декомпозиции оправданно и обоснованно. Однако, следовало бы сослаться на известный при этом метод диакоптики, или метод расчленений, объединяющий графы, уравнения, матрицы и коммутативные диаграммы, предложенные Дж. Кроном. [G. Kron, Diakoptics – A piecewise solution of large-scale systems. A serial. Electrical Journal (London), 158-162, a serial of 20 chapters, from June 7, 1957 to February 13, 1959].

7. В 4-й главе автор рассматривает результаты экспериментов, которые позволяют установить «оптимальный технологический режим для стальных семипроволочных стабилизированных канатов...» (Глава 4, стр. 169-172). К сожалению, автором не уточнено, являются ли параметры, указанные в таблице 4.25, критериями оптимальности?

8. В пятой главе диссертации автор рассматривает проблемы «силового воздействия на железнодорожные пути и, в частности, железобетонные шпалы, в конструкции которых основным несущим элементом является высокопрочная арматура» (Глава 5, стр. 175-186). Полагаю, что необходимо сопоставить проводимые исследования с требованиями Международного стандарта железнодорожной промышленности IRIS (International Railway Industry Standard), IRIS



(ISO/TS 22163:2017). Этот стандарт определяет требования к системе качества производителей для железнодорожной промышленности. Отметим, что стандарт IRIS включает в себя требования стандарта ISO 9001 и принципы стандарта ISO 9004, а также другие специальные требования к системе менеджмента качества, предъявляемые потребителями железнодорожной промышленности.

**В отзыве официального оппонента О.В. Пантюхина:**

1. Качество может характеризоваться как измеряемыми физическими величинами, так и показателями, которые имеют только субъективно-вербальную характеристику. В диссертации не указано, возможно ли применение предложенной методологии для невербальных показателей качества?

2. В главе 2 (стр. 65-68) автором предложена «матрица возмущающих факторов, которая заполняется экспертами». Требуются дополнительные пояснения по квалификационным требованиям к экспертам.

3. В диссертационной работе при моделировании технологических процессов используются методы регрессионного анализа. В качестве функции регрессии в главах 3-5 используется квадратичная зависимость. Возникает вопрос, чем обоснован выбор именно такой функции регрессии?

4. Одним из этапов предлагаемой методологии является оптимизация по реляционной оценке в области технологической устойчивости. Однако в главах 4 и 5 при совершенствовании процессов изготовления арматурных канатов и арматурных прутков оптимизация по реляционной оценке не проводится.

5. В диссертационной работе отсутствует ссылка на программный продукт, с помощью которого были построены математические модели управления показателями качества металлических изделий в технологических процессах обработки калиброванной стали, стабилизированных арматурных канатов, высокопрочной арматуры (главы 3-5).

6. В известной методологии причинно-следственного анализа 6М (метод Исикавы) одним из факторов (типовых причин) является окружающая среда. Почему в предлагаемой классификации возмущающих факторов (глава 2, стр. 65) данный фактор отсутствует?

7. В разделе «Заключение» не отражены перспективы дальнейшего развития темы диссертационной работы.

## **В ходе заседания диссертационного совета:**

1. В предлагаемой матрице возмущающих факторов присутствуют элементы 4М: оборудование, персонал, метод управления, измерительная система. Существует ли какая-либо приоритетность или ранг какого-либо уровня при выборе технологической неопределенности для этих элементов или они равнозначны?

2. Среди мероприятий по снижению технологической неопределенности есть способ, который относится к персоналу – это автоматизация технологических процессов. Не является ли этот способ элементом всех пунктов – и оборудования, и метода управления, и измерения?

3. Кто и на каком этапе параметрического управления нормирует показатель робастности и определяет критичные значения показателя? Кем закладывается технологическая неопределенность? На каком этапе производства нормируется значение, с которым необходимо сравнить технологическую неопределенность?

4. Для того, чтобы оценить технологическую устойчивость, требуется ли каждый раз заново проводить набор статистических данных и факторный эксперимент?

5. Разработанная методология управления, как следует из названия работы, распространяется на метизное производство. Возможно ли предложенные подходы спроецировать на металлургические производства и машиностроение?

6. В свете последнего интенсивного импортозамещения, работы, которые были проведены в рамках диссертации, надо ли проводить по-новому в связи с заменой сырья, компонентов, или можно воспользоваться уже разработанными моделями?

7. На диаграмме для стали С10С при изменении температуры нагрева в пределах 700 ... 750 °С свойства изменяются монотонно. Но при переходе температуры из докритической в закритическую свойства должны изменяться ступенчато. Чем это объясняется?

8. В качестве одной из целей робастного подхода ставится минимизация потерь потребителя. О каких потерях идет речь, и каков методологический инструмент их минимизации?

9. Схема управления качеством металлических изделий – это основа методологического подхода. Данная схема начинается с построения математической мо-

дели и заканчивается серийным производством. Судя по стрелкам, которые проведены, складывается ощущение замкнутого круга. Предполагается ли что-либо изменить перед началом второго круга, в частности, при построении модели, или необходимо заново построить модель?

10. В главе 3 указывается, что разработана стратегия управления возмущающими воздействиями при производстве калиброванной стали. В работе термин «стратегия» не встречается ни в задачах, которые Вы ставили, ни в целях. Что означает «стратегия» в управлении возмущающими воздействиями?

11. При описании технологического процесса Вы используете только две группы параметров: входные параметры и показатели качества. Но в реальном производстве присутствуют еще параметры энергосбережения, ресурсосбережения, импортозамещения. Как эти параметры учитываются?

12. Уточните, Ваша методология применяется на стадии проектирования продукции или технологии?

13. Комплекс регрессионных статистических моделей применим только к условиям, в которых они были получены. Если будет производиться другая продукция, из другого сырья, на другом предприятии что делать в этом случае?

14. Какие современные зарубежные подходы, решающие те же задачи что и Ваш подход, Вам известны, и в чем их преимущества и недостатки?

15. В автореферате указано, что результаты работы внедрены в АО «Белорецкий металлургический комбинат», АО «Композит» (г. Королев), АО «Научно-исследовательский центр «Строительство» (г. Москва), ООО «БИЗНЕС-КОНСАЛТ» (г. Тольятти). Перечислите, какие именно результаты были внедрены.

16. Разработанные методики ориентированы в большей степени на непрерывный продукт или их можно использовать для всего сортамента метизного производства – и непрерывного, и дискретного?

17. Возможно ли применение предлагаемой методологии в случае, если на входе процесса имеет место неопределенность состояния материала, например, химического состава?

18. Ваш научный консультант занимался вопросами неопределенности и использования аппарата нечеткой логики для проектирования технологических процессов. В чем Ваш математический аппарат учета неопределенности лучше?

**Соискатель Пивоварова К.Г. ответила на задаваемые ей в ходе заседания вопросы и привела собственную аргументацию.** При заполнении матрицы возмущающих факторов все элементы 4М являются равнозначными, какой-либо приоритетности в их выборе не существует. Степень влияния возмущающих факторов определяется на следующем этапе методологии – расчете технологической неопределенности. Автоматизация технологических процессов в первую очередь позволяет частично исключить влияние ошибок персонала. Возмущающие факторы, связанные с несовершенством технологического оборудования и инструмента – это такие факторы, как неточность оборудования (зазоры, биение), износ инструмента. Влияние этих факторов, также как и шумов, связанных с неточностью систем измерения, сложно уменьшить с помощью автоматизации процесса метизного производства. Целевое значение технологической устойчивости закладывается на этапе проектирования технологии. Оценку технологии с точки зрения робастности может проводить только квалифицированный персонал, к которому относятся инженеры-технологи производства, контролеры ОТК, метрологи, специалисты по испытаниям продукции, прошедшие обучение по предлагаемой методологии, обладающие достаточным опытом работы и практическими знаниями. Планируемый эксперимент проводится один раз при разработке нового процесса, при этом оценивается технологическая устойчивость процесса. В дальнейшем при серийном производстве технологическая устойчивость определяется на основании имеющихся статистических данных. В планах дальнейшего развития работы стоит вопрос опробования данной методологии для других отраслей промышленности. Для адаптации разработанной методологии для других видов производств необходимо провести анализ существующих технологических процессов, возможности изменения технологических операций и технологических режимов, оценить влияние этих изменений на свойства выпускаемой продукции и определить виды возмущающих воздействий, влияющих на продукцию и технологический процесс. При полном анализе технологии производства с учетом особенностей отрасли можно более точно сказать, как применить разработанный подход. При замене компонентов, при изменении технологической схемы, оборудования или рабочего инструмента следует провести перерасчеты, для того, чтобы уточнить значения показателя технологической устой-

чивости и определить комбинацию параметров управления, при которой будет достигнута максимальная робастность, то есть устойчивость к воздействию возмущающих факторов. При изменении рабочей температуры нагрева временное сопротивление изменяется немонотонно. Необходимо также учитывать, что в процессе эксперимента оценивалось совместное влияние температуры нагрева и времени выдержки на механические свойства калиброванной стали. Потери потребителя возникают на всем протяжении жизненного цикла продукции, начиная с этапа эксплуатации и заканчивая этапом утилизации. Согласно ГОСТ Р ИСО 16336-2020, робастная продукция, разработанная в результате применения параметрического проектирования, обеспечивает минимизацию потерь у пользователя, обусловленных дефектами, отказами и иными проблемами с качеством. На этапе разработки технологии трудно предсказать общие потери для общества, но, по крайней мере, возможно оценить и оптимизировать проект с точки зрения инженерных решений на основе робастности, то есть вариабельности функции изделия. В диссертационной работе снижение потерь рассматривается с точки зрения максимизации показателя технологической устойчивости. В случае, когда цели оптимизации не достигнуты, необходимо проверить модель на предмет того, все ли значимые факторы были учтены. Необходимо также уточнить уровни варьирования, связи модели. При необходимости модель строится заново. Затем переходят к этапу идентификации возмущающих факторов. На этом этапе проверяют, все ли возмущающие факторы, оказывающие влияние на технологию производства, были учтены. Одним из этапов процедуры параметрического проектирования по ГОСТ Р ИСО 16336-2020 является разработка стратегии управления шумом. Под ним понимается выявление максимального количества шумовых факторов, которые влияют на процесс, и назначение их уровней. В предлагаемой методологии под стратегией управления шумом подразумеваются этапы идентификации возмущающих факторов и расчет технологической неопределенности. Технология проектируется с учетом параметров энергосбережения, ресурсосбережения, импортозамещения, следовательно, они будут опосредованно учтены в параметрах управления процессом и характеристиках материалов. Кроме того, показатель технологической устойчивости процесса является одним из параметров энерго- и ресурсосбережения, так как позволяет снизить

потери, в том числе в процессе производства. Предлагаемая методология применяется на стадии проектирования технологического процесса, в отличие от методологии ГОСТ Р ИСО 16336-2020, применяемой на этапе разработки продукции. В случае изменений, касающихся сырья, оборудования, вида продукции, необходимо заново построить план эксперимента, назначить управляемые факторы, уровни варьирования, провести эксперимент и построить регрессионные модели. В настоящее время широко применяются подходы статистического управления процессами, основанные на концепции изменчивости, разработанной У. Шухартом, Э. Демингом, Г. Тагути. Такие подходы показали свою эффективность и находят применение в самых различных областях техники, например, в компаниях «Крайслер», «Боинг» и др. Однако в известных методах управления качеством продукции отсутствуют алгоритмы обоснованного принятия решений по организации производства в условиях воздействия возмущающих факторов, которые оказывают существенное влияние на показатели качества продукции и должны учитываться при разработке и совершенствовании технологических процессов метизного производства. На предприятиях были внедрены методики идентификации возмущающих факторов, алгоритм робастного проектирования, методики количественной оценки неопределенности. В АО «Белорецкий металлургический комбинат» производят стабилизированные канаты и калиброванную круглую сталь диаметром 3-16 мм, поэтому их заинтересовали методики, связанные с производством этих видов продукции. Для НИЦ «Строительство» предложены методики и практические результаты, связанные с арматурой для железобетонных шпал. В АО «Композит» производятся прутки из специальных сталей и сплавов для космической техники. Им были предложены алгоритмы и методики, разработанные для калиброванной стали. Для ООО «БИЗНЕС-КОНСАЛТ» был предложен общий алгоритм робастного проектирования технологических процессов. Разработанный методологический подход универсален и может быть использован для таких видов металлических изделий, как проволока, канатные изделия, сетка, лента, сварочные электроды, калиброванная сталь, крепежные изделия. В матрице возмущающих факторов отражены не только параметры управления, но и характеристики материала. В практической части диссертационной работы не нашли отражения данные возмущающие факторы, поскольку

отсутствовал достаточный объем данных для варьирования свойств исходных материалов. Рассчитать технологическую неопределенность для входящих материалов возможно, при этом процедура будет такой же, как и для управляемых факторов. Работа Корчунова А.Г. посвящена решению проблемы информационной неопределенности, связанной с нечеткостью требований потребителя и взаимосвязи между параметрами управления процессами обработки и показателями качества металлических изделий. В моей работе речь идет о технологической неопределенности, то есть неполноте информации о технологическом процессе. Таким образом, в наших работах рассматриваются принципиально разные виды неопределенности.

На заседании 31.05.2022 г. диссертационный совет принял решение за решение актуальной научной проблемы, имеющей важное хозяйственное значение, заключающейся в разработке и реализации методологии с элементами робастного подхода для управления качеством продукции при проектировании новых и совершенствовании действующих технологических процессов метизного производства, внедрение которого вносит значительный вклад в развитие метизной промышленности Российской Федерации, присудить Пивоваровой К.Г. ученую степень доктора технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 10 докторов наук по научной специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 22 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за 20, против нет.

Председатель  
диссертационного совета

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Чукин Михаил Витальевич

Полякова Марина Андреевна

31.05.2022 г.