

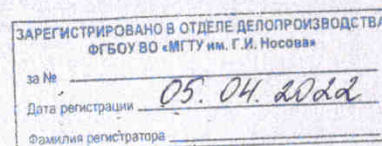
## ОТЗЫВ

официального оппонента Лонциха Павла Абрамовича  
на диссертацию Пивоваровой Ксении Григорьевны  
«Методология управления качеством продукции метизного производства  
с элементами робастного параметрического проектирования»,  
представленную на соискание ученой степени доктора технических наук  
по специальности 05.02.23 - Стандартизация и управление качеством продукции

### Актуальность темы диссертационной работы

Диссертационная работа К.Г. Пивоваровой «Методология управления качеством продукции метизного производства с элементами робастного параметрического проектирования» является актуальной, поскольку в ней приведены результаты исследований, обоснованные необходимостью повышения устойчивости технологического процесса к воздействиям возмущающих факторов. Соискатель аргументированно показывает, что применение принципов робастного проектирования является актуальным при решении практических задач в условиях существующей параметрической неопределенности.

Кроме того, соискатель убедительно показывает, что в современных условиях интенсивного развития метизного производства существует необходимость рассмотрения производственных процессов как сложных систем, состоящих из множества технологических операций, реализующих методы обработки различной физико-химической природы. Соискатель показывает, что в таких системах управление качеством продукции, связанное с анализом и обработкой больших объемов разнородной информации, усложняется из-за возникающей на различных уровнях технологической системы неопределенности данных, вызываемой входными возмущениями. Соискатель верно пишет о том, что для выбора, обоснования и построения эффективной технологической схемы, обеспечивающей достижение заданного уровня свойств конечной продукции, при проектировании многостадийного процесса производства необходимо учитывать неполноту информации в условиях воздействия возмущающих факторов. Эти проблемы, как показывает соискатель, могут быть разрешены путем разработки методологии с использованием робастного подхода, позволяющей организовать поддержку принятия решений в условиях неопределенности, обеспечить оперативность и точность информации для управления качеством продукции метизного производства.



## Анализ содержания глав диссертации

Диссертация включает в свой состав 5 глав.

**В первой главе** «Современные подходы к управлению качеством металлопродукции» (стр.14-52) соискатель рассматривает современные принципы и подходы к управлению качеством металлоизделий.

Выполненный соискателем анализ известных подходов к количественному оцениванию качества металлопродукции позволил ему показать отсутствие обобщенного показателя устойчивости к возмущающим факторам технологической системы. Отметим также важность полученных соискателем результатов в части рассмотрения методов управления качеством продукции метизной отрасли, что позволило ему выявить отсутствие алгоритмов принятия решений по организации производства в условиях воздействия возмущающих факторов.

Исходя из анализа методологии робастного проектирования, позволяющей решать задачи управления для теоретически недостаточно изученных систем, подверженных различным видам неопределенности и особенностей метизного производства, соискатель обоснованно и корректно определил цель диссертационного исследования: «разработка и реализация методологии управления качеством металлических изделий с элементами робастного параметрического проектирования для повышения устойчивости технологических процессов метизного производства к возмущающим воздействиям и обеспечения заданного уровня свойств готовой продукции». Здесь же соискателем аргументированно определены **задачи исследований**.

**Во второй главе** «Разработка методологии управления качеством продукции метизного производства с элементами робастного параметрического проектирования» (стр.53-92) соискатель предлагает методологический подход к управлению качеством продукции, реализующий возможности робастного параметрического проектирования применительно к технологическим процессам метизного производства.

Соискателем формализована процедура идентификации возмущающих воздействий в технологических процессах метизного производства на основе разработанной авторской классификации возмущающих факторов. Использование такого подхода позволяет учитывать основные источники возникновения возмущающих воздействий – оборудование, персонал, метод управления, измерительную систему и объект воздействия

В этой же главе диссертантом сформулированы основные этапы процедуры робастного параметрического проектирования применительно к управлению качеством продукции в технологиях метизного производства. Сущность разработанного подхода

заключается в реализации концепции робастного параметрического проектирования при управлении качеством металлических изделий, на основе комплексной оценки технологической неопределенности процесса и реляционной оценки показателей качества для обоснования выбора технологических режимов по целевым критериям с учетом требований потребителя.

Отметим значимость предложенной соискателем процедуры оценки соответствия показателей качества, полученных при оптимальном режиме, требованиям потребителя. Такой подход позволяет определить возможные интервалы варьирования показателей качества и принять решение в случае их несоответствия.

**В третьей главе** «Реализация методологии при освоении новой продукции метизного производства (на примере изготовления калиброванной стали)» (стр.93-129) соискатель приводит результаты реализации методологии при освоении новой продукции метизного производства – калиброванной стали марки С10С по спецификации N28 XS 0214 S001 в условиях ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ».

Соискателем в третьей главе корректно построены математические модели формирования показателей качества калиброванной стали марки С10С с учетом специфики взаимодействия режимов деформационной и термической обработок.

Отметим здесь, что соискателю удается обоснованно показать использование разработанной процедуры идентификации возмущающих факторов, вызывающих вариабельность механических и геометрических свойств калиброванной стали.

На основании разработанной методологии соискателем осуществлено робастное параметрическое проектирование технологии производства калиброванной стали марки С10С и определены оптимальные режимы деформационной и термической обработок, обеспечивающие получение заданного уровня показателей качества готовой продукции.

В условиях сталепроволочного производства ОАО «ММК-МЕТИЗ» соискателем реализован новый технологический процесс производства, обеспечивающий заданное качество калиброванной стали диаметром 12,93 мм по N28 XS 0214 S001, предназначенной для изготовления заготовок корпусов свечей зажигания.

**В четвертой главе** «Реализация методологии при совершенствовании действующей промышленной технологии (на примере производства стабилизированных арматурных канатов)» (стр.130-174) соискателем приведены результаты реализации методологии при совершенствовании действующей технологии производства стабилизированных арматурных канатов диаметром 12,5 мм по ГОСТ Р 53772-2010.

На основе выполненных исследований соискателем получены математические модели, описывающие взаимосвязь параметров управления механотермической обработкой с механическими свойствами стабилизированных арматурных канатов диаметром 12,5 мм, позволяющие определять температурно-скоростные режимы обработки, обеспечивающие формирование заданного комплекса потребительских свойств готовой продукции.

В четвертой главе соискателем убедительно проведена процедура идентификации возмущающих факторов, вызывающих вариабельность механических свойств стабилизированных арматурных канатов, что позволило получить количественную оценку технологической неопределенности температуры нагрева и скорости обработки стабилизированных арматурных канатов.

Далее обоснованно и в соответствии с выполненными исследованиями соискателем осуществлено робастное параметрическое проектирование технологии производства стабилизированных арматурных канатов диаметром 12,5 мм и определены оптимальные режимы механотермической обработки, обеспечивающие получение заданного уровня показателей качества готовой продукции.

Соискателем разработана и внедрена в ОАО «ММК-МЕТИЗ» усовершенствованная технология производства стабилизированных арматурных канатов, обеспечивающая повышение эффективности процесса по показателю технологической устойчивости и уровню показателей качества готовой продукции. Необходимо отметить, что соискателем разработана и внедрена в условиях ОАО «ММК-МЕТИЗ» технологическая карта КП.00187240.05-КТП «Изготовление наноструктурированных арматурных канатов диаметром 12,5 мм».

**В пятой главе** «Реализация методологии при совершенствовании отдельно взятой технологической операции (на примере операции стабилизации высокопрочной арматуры)» (стр.175-218) приведены результаты реализации методологии при совершенствовании отдельно взятой технологической операции на примере операции стабилизации высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм по ТУ 0930-011-01115863-2008 для железобетонных шпал, используемых на тяжелонагруженных участках железных дорог.

Соискателем получены математические модели, описывающие взаимосвязь параметров управления операции стабилизации с показателями механических свойств арматуры для железобетонных шпал диаметром 9,6 мм, обеспечивающие формирование заданного комплекса свойств готовой продукции. Отметим, что на основании этих данных

получена количественная оценка технологической неопределенности установленной тяги и температуры нагрева высокопрочной арматуры.

На основе выполненных исследований соискателем осуществлено робастное параметрическое проектирование операции стабилизации высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм и определены оптимальные режимы, обеспечивающие заданный уровень показателей качества по механическим свойствам. Важным при этом, полагаем, является то, что на основании проведенных исследований соискателем разработана и реализована в ОАО «ММК-МЕТИЗ» усовершенствованная операция стабилизации, обеспечивающая повышение эффективности по показателю технологической устойчивости и уровню показателей качества высокопрочной арматуры диаметром 9,6 мм по ТУ 0930-011-01115863-2008, используемой для армирования железобетонных шпал.

Анализ содержания и структуры работы позволяет сделать вывод, что работа отвечает поставленной цели исследования. Все поставленные задачи исследования рассмотрены и успешно решены.

#### **Основные результаты и научная новизна**

Представленная работа направлена на разработку и реализацию методологии управления качеством металлических изделий с элементами робастного параметрического проектирования для повышения устойчивости технологических процессов метизного производства к возмущающим воздействиям и обеспечения заданного уровня свойств готовой продукции.

Такая постановка определила научную новизну диссертационной работы соискателя, основные моменты которой заключается в следующем:

- Прежде всего, отмечая составляющие научной новизны, следует указать, что соискателем разработана методология управления качеством металлических изделий, реализующая возможности робастного параметрического проектирования применительно к технологическим процессам метизного производства, на основе определения режимов обработки, устойчивых к воздействиям возмущающих факторов и обеспечивающих заданный уровень свойств готовой продукции.

- Очевидно, одной из составляющих научной новизны диссертационного исследования соискателя является разработанная им процедура идентификации возмущающих воздействий в технологических процессах метизного производства и матрица для оценки влияния возмущающих факторов на показатели качества продукции и параметры процесса, что позволяет получить количественную оценку технологической неопределенности в процессах метизного производства.

- В работе соискателя следует отметить еще одну составляющую научной новизны, связанную с разработкой математических моделей управления показателями качества металлических изделий в технологических процессах обработки калиброванной стали, стабилизированных арматурных канатов, высокопрочной арматуры, обеспечивающие заданный уровень потребительских свойств продукции. Научная новизна в этом смысле позволила соискателю получить новые научные знания о формировании показателей качества в технологических процессах обработки калиброванной стали, стабилизированных арматурных канатов, высокопрочной арматуры с учетом влияния возмущающих воздействий.

**Новые научные результаты**, нашедшие отражение в диссертационном исследовании, позволили сформулировать положения, **выносимые автором на защиту**. **Кратко обозначим подходы соискателя при определении этих научных результатов:**

- Концепция управления качеством металлических изделий, отличающаяся использованием принципов робастного параметрического проектирования в технологиях метизного производства.

- Формализация понятий «технологическая неопределенность», «показатель технологической устойчивости»;

- Комплексный подход к поддержке принятия решений в задачах управления качеством продукции, связанных с повышением технологической устойчивости к возмущающим воздействиям;

- Результаты практической апробации и внедрения методологии управления качеством металлических изделий с элементами робастного параметрического проектирования.

**Достоверность результатов исследования** подтверждается использованием современных представлений об оценке качества технологических систем, многомерных статистических методов, теории вероятностей.

### **Теоретическая и практическая значимость**

**Теоретическая ценность работы** заключается, прежде всего, в том, что соискатель предложил методики идентификации возмущающих воздействий применительно к процессам метизного производства, позволяющие выявить наиболее существенные возмущающие факторы, влияющие на неопределенность показателей качества, и предпринять целенаправленные действия по ее снижению. И им, на этой основе разработан методический подход количественной оценки неопределенности показателей качества и параметров управления процессом в зависимости от

возмущающих воздействий оборудования, персонала, метода управления и измерительной системы.

**Практическая значимость диссертационного исследования К.Г. Пивоваровой определена тем, что** решена задача параметрической оптимизации технологических процессов производства калиброванной стали, стабилизированных арматурных канатов, высокопрочной арматуры на основании разработанного показателя технологической устойчивости с учетом значимости показателей качества. Автором, на этой основе подготовлены к практическому использованию методики управления показателями качества калиброванной стали, арматурных канатов, высокопрочной арматуры, позволяющие существенно сократить время на анализ и принятие решений по обеспечению заданного уровня качества готовой продукции.

Таким образом, в диссертационной работе **изложены новые научно обоснованные технологические решения**, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие страны, заключающиеся в разработке и применении научно обоснованного методологического инструментария с элементами робастного подхода для управления качеством продукции при проектировании новых и совершенствовании действующих технологических процессов метизного производства.

**Следует отметить, что область исследования** соответствует паспорту специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции, а именно: п. 1 «Методы анализа, синтеза и оптимизации, математические и информационные модели состояния и динамики качества объектов» и п. 3 «Методы стандартизации и менеджмента (контроль, управление, обеспечение, повышение, планирование) качества объектов и услуг на различных стадиях жизненного цикла продукции».

Важно отметить и то, что **апробация результатов исследования весьма обширна**. Материалы диссертационной работы К.Г. Пивоваровой достаточно широко апробированы при участии диссертанта на различных международных, всероссийских научно-технических конференциях, семинарах и симпозиумах. Результаты диссертационной работы внедрены в ОАО «Магнитогорский метизно-калибровочный завод «ММК-МЕТИЗ», АО «Белорецкий металлургический комбинат», АО «Композит» (Королев), АО «Научно-исследовательский центр «Строительство» (Москва), ООО «БИЗНЕС-КОНСАЛТ» (Тольятти), используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» для подготовки обучающихся по направлениям 22.03.02 Металлургия (уровень бакалавриата), 22.04.02 Металлургия (уровень магистратуры).

По материалам диссертации опубликовано 65 научных работ, в том числе 20 научных статей опубликованы в рецензируемых изданиях из перечня ВАК РФ, 5 статей в журналах, индексируемых в международных наукометрических базах Scopus и Web of Science. Имеется 1 монография, 1 патент на изобретение, 2 свидетельства о регистрации программ для ЭВМ.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов по главам, общих выводов (заключения), библиографического списка, включающего 345 источников и 7 приложений. В приложениях приведены акты внедрения и использования результатов диссертационной работы. Текст диссертации составляет 275 страниц. Диссертация содержит 104 рисунка и 82 таблицы.

### **Замечания по работе**

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 Мэзона.

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- оправдано 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.

Отмеченные недостатки не являются принципиальными и не снижают ценности выполненного исследования.

Представленный в диссертации автореферат отражает основное содержание работы, в нем приведены признаки научной новизны, практической значимости, другие характеристики работы, основные полученные автором результаты и выводы, совпадающие с текстом диссертации. Список литературы в автореферате полно представляет работы, опубликованные автором.

### **Заключение**

На основании вышеизложенного считаю, что диссертация Пивоваровой К.Г. «Методология управления качеством продукции метизного производства с элементами робастного параметрического проектирования» является законченной научно-

квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение, заключающееся в разработке и применении научно обоснованного методологического инструментария с элементами робастного подхода для управления качеством продукции при проектировании новых и совершенствовании действующих технологических процессов метизного производства, внедрение которых вносит существенный вклад в развитие металлургической промышленности РФ.

Работа отвечает требованиям п.9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор, Пивоварова Ксения Григорьевна, заслуживает присуждения ей степени доктора технических наук по специальности 05.02.23 – Стандартизация и управление качеством продукции.

Официальный оппонент:

д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры автоматизации и управления, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский национальный исследовательский технический университет»

Лонцих Павел Абрамович

Тел. 8(3952) 40-51-79 [palon@list.ru](mailto:palon@list.ru)

Почтовый адрес: 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83 кафедра автоматизации и управления

Подпись официального оппонента П.А. Лонциха заверяю



Ученая степень доктора технических наук получена Лонцихом П.А. по специальности 05.03.01 – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки

