

## ОТЗЫВ

официального оппонента, доктора технических наук, доцента  
**Антонова Вячеслава Викторовича** на диссертационную работу  
**Климачева Сергея Александровича** на тему: «Оптико-электронная система  
контроля качества листового металлопроката со средствами интеллектуальной  
поддержки решений по устранению дефектов», представленную на соискание учёной  
степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ,  
управление и обработка информации, статистика

### 1. Актуальность исследования

Продукция листового проката цветных металлов используется в высокотехнологичных и критически важных отраслях производства. При этом существует положительная динамика роста дефектов поверхности проката в условиях перехода к тонколистовому прокату и влияния факторов внешней среды. С целью повышения качества продукции технологические линии оснащают оптико-электронными системами контроля качества (ОЭСКК) поверхности проката, которые позволяют в процессе холодной обработки металла давлением обнаружить дефекты. Часть дефектов можно устранить в режиме реверсной прокатки посредством правильной корректировки задающих параметров. Внедрение средств поддержки принятия решений (СППР) в ОЭСКК по устранению дефектов позволит повысить эффективность данных систем и положительно скажется на производственном процессе. Кроме того, использование новых цифровых решений при производстве листового металлопроката полностью согласуется с политикой технологической независимости Российской Федерации.

### 2. Обоснованность, достоверность и новизна научных положений, выводов и рекомендаций, полученных в работе

Достоверность результатов научной работы основана на применяемой методологической базе исследования, используемых методах теории систем и системного анализа, искусственного интеллекта, исследования операций и теории автоматизированного управления, обеспечивается обоснованностью принятых ограничений и сходимостью полученных результатов с экспериментальными данными.

Научная новизна исследования включает:

1) Концептуальную модель принятия решений по устранению дефектов поверхности листового металлопроката на основе контура управления технической системой с ОЭСКК, которая отличается установленной взаимосвязью технологических параметров холодной обработки металла давлением с показателями качества поверхности листового металлопроката в условиях воздействия внешней среды (п. 2, п. 3 паспорта специальности 2.3.1).

2) Методику поддержки принятия решений по устранению дефектов поверхности листового материала при холодной обработке металла давлением, отличающуюся наличием модели области дефектов проката с расширенным набором признаков и учётом воздействия факторов внешней среды, оказывающих влияние на качество поверхности проката и особенности дефекта (п. 5 паспорта специальности 2.3.1).

3) Модель изменения состояний поверхности листового металла в процессе прокатки, отличающуюся учётом воздействия факторов, оказывающих влияние на качество поверхности проката: качества заготовки, технического состояния



прокатного оборудования, влияния человеческого фактора (п. 3 паспорта специальности 2.3.1).

4) Алгоритм поддержки принятия решений по устранению дефектов поверхности листового металлопроката, отличающийся использованием множества Парето-оптимальных альтернатив устранения дефектов и выбором лучшей альтернативы по критерию уровня дефектности, оцениваемого на основе признаков изображения области дефекта по многопараметрической модели изменения состояний поверхности металлопроката (п. 4, п. 5 паспорта специальности 2.3.1).

### **3. Оценка содержания диссертации и её завершенности**

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, библиографического списка и приложений.

Во введении описана актуальность работы, выполнен анализ изученности темы исследования, определены объект, предмет, цель и задачи исследования, сформулированы основные положения, обладающие научной новизной и выносимые на защиту.

Первая глава включает описание используемой в качестве основы исследования структуры ОЭСКК листового металлопроката, а также обзор существующих разработок ОЭСКК и использования в них средств поддержки принятия решений. В главе описаны основные дефекты поверхности металлопроката и причины их возникновения, определены ключевые группы внешних факторов, влияющих на качество поверхности проката. Выявлена проблемная ситуация использования ОЭСКК при холодной обработке металла давлением и выдвинута гипотеза по ее разрешению. В соответствии с гипотезой разработана концептуальная модель поддержки принятия решений по устранению поверхностных дефектов листового металлопроката.

Во второй главе выполнена разработка модели области дефекта на основе расширенного множества признаков изображения поверхности ленты проката, критерия уровня дефектности, модели изменения состояний поверхности ленты проката при холодной обработке металла давлением в условиях влияния внешних факторов, определена целевая функция, разработаны методика и алгоритмы поддержки принятия решений.

В третьей главе описана разработка прототипа программного средства интеллектуальной поддержки принятия решений в ОЭСКК.

Четвертая глава содержит результаты экспериментальных исследований разработанных решений. Имитационный эксперимент показал, что использование интеллектуальной поддержки решений в ОЭСКК по устранению обнаруженных дефектов проката может уменьшить среднее количество дефектов типа «отпечатки» на 47%, «царапина» – на 43%, «риска» – на 42%.

В заключении отражены основные результаты диссертации и предложены направления дальнейших исследований.

Полнота и завершенность диссертационной работы подтверждаются соответствием темы работы её содержанию, последовательным, логически связанным изложением материала, решением поставленных задач и достижением цели исследования.

Таким образом, диссертационная работа Климачева С.А. является завершенной научно-квалификационной работой.

### **4. Полнота публикаций по теме исследования**

Основные результаты исследования отражены в 14 работах, опубликованных в рецензируемых изданиях и сборниках трудов международных и всероссийских

научно-практических конференций, в том числе 3 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ, включённых в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата наук, на соискание учёной степени доктора наук». Получено 1 свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ.

### **5. Соответствие автореферата содержанию диссертации**

Содержимое автореферата соответствует основным положениям, представленным в диссертации, и позволяет оценить полученные автором результаты исследования. Изложение материала в автореферате последовательное, логически связанное. Оформление соответствует требованиям ВАК РФ.

### **6. Замечания по диссертационной работе**

- 1) В описании графического представления концептуальной модели отсутствует пояснение относительно представления контура управления технической системой с ОЭСКК.
- 2) В тексте диссертации не описаны требования к качеству изображений, отражённые в концептуальной модели поддержки принятия решений.
- 3) Какие именно проектные возможности стана холодной прокатки были взяты за основу в проблемах практики на рисунке 9?
- 4) Не приведено обоснование количества кластеров значений уровней дефектности.
- 5) На рисунке 44 значение шкал нечитаемое.
- 6) При вычислении минимальной частоты линейной камеры (стр. 13) допущена арифметическая ошибка: результат деления  $9000 / 0,29$  равен  $31034$  Гц ( $31,034$  кГц), а не  $30,727$  кГц, как указано в тексте. Используя корректное значение, запас производительности камеры с частотой  $51$  кГц составляет:  $51/31,034 \approx 1,643$  ( $64,3\%$ ). Это обеспечивает возможность увеличения скорости прокатки до  $14,79$  м/с, что автор подтверждает далее по тексту. Однако сам расчёт в явном виде не приведён, а использованная автором запись  $30,727$  кГц противоречит последующему значению  $14,79$  м/с.
- 7) Из числа перечисленных в автореферате основных научных публикаций по теме диссертационной работы в изданиях из перечня, рекомендованного ВАК и наличием в тексте диссертации связанных с ними сведений, двух работ нет в списке литературы диссертации (1. Климачев, С. А. Интеллектуальная поддержка принятия решений по устранению дефектов поверхности листового проката / С. А. Климачев, Н. А. Соловьев // Программные продукты и системы. – 2025. – № 38 (3). – С. 513-523. 2. Климачев, С. А. Методика принятия решений на основе компьютерного зрения и выбора Парето-оптимальной альтернативы технологических параметров производства / С. А. Климачев, Н. А. Соловьев // Информационные технологии. – 2023. – № 7 (29). – С. 382-388.).
- 8) В таблице 5 (стр. 44–45) значения в столбцах «Минимум» и «Максимум» переставлены местами.

### **7. Заключение**

Диссертационная работа Климачева Сергея Александровича содержит новую методику и алгоритмы поддержки принятия решений в ОЭСКК листового металлопроката по устранению поверхностных дефектов, выполнена на актуальную тему. Содержимое работы изложено в научном стиле, технически грамотно.

Диссертация Климачева Сергея Александровича «Оптико-электронная система контроля качества листового металлопроката со средствами интеллектуальной

поддержки решений по устранению дефектов» полностью соответствует требованиям пп. 9-14 Положения о присуждении учёных степеней ВАК РФ, утверждённого Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842 (с изменениями и дополнениями от 25.01.2024), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук, а её автор, Климачев Сергей Александрович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика.

**Официальный оппонент:**

Заведующий кафедрой автоматизированных систем управления федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», доктор технических наук, доцент  
«13» сентября 2026 г.



В.В. Антонов

ФИО: Антонов Вячеслав Викторович

Адрес (рабочий): 450076, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. К. Маркса, дом 12, корп. 6.

Контактная информация: тел.: + 7 (908) 350-30-83, e-mail: [asu@ugatu.su](mailto:asu@ugatu.su)

Организация, должность: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Уфимский университет науки и технологий», заведующий кафедрой автоматизированных систем управления.

Научная специальность докторской диссертации 05.13.11 – Математическое и программное обеспечение вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей.

Дата составления отзыва: «13» сентября 2026 г.



Подпись Антонова В.В.  
Удостоверяю «13» сентября 2026 г.  
Заведующий кафедрой автоматизированных систем управления Антонов В.В.