

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации Соколовской Элины Александровны на тему «Развитие методов цифровизации в материаловедении и металлургии для повышения качества металлопродукции», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и состоявшейся в МИСИС 24 марта 2026 года.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом МИСИС 15 декабря 2025 года, протокол № 35.

Диссертация выполнена на кафедре металловедения и физики прочности (МиФП) МИСИС. Научный консультант – Кудря Александр Викторович, д.т.н., профессор кафедры МиФП МИСИС, профессор.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом МИСИС (протокол № 35 от 15.12.2025 с изменениями от 09.02.2026 протокол № 36) в составе:

1. Калошкин Сергей Дмитриевич, д.ф.-м.н., директор института новых материалов и нанотехнологий МИСИС – председатель комиссии;
2. Прокошкин Сергей Дмитриевич, д.ф.-м.н., главный научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением МИСИС;
3. Тарасов Вадим Петрович, д.т.н., заведующий кафедрой цветных металлов и золота МИСИС;
4. Орлов Виктор Валерьевич, д.т.н., генеральный директор государственного научного центра РФ Акционерное общество «Научно-производственное объединение «Центральный научно-исследовательский институт технологии машиностроения»;
5. Криштал Михаил Михайлович, д.ф.-м.н, ректор федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Тольяттинский государственный университет»;
6. Макаров Алексей Викторович, д.т.н., академик РАН, заведующий лабораторией механических свойств федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики металлов имени М.Н. Михеева Уральского отделения Российской академии наук;
7. Маркелов Владимир Андреевич, д.т.н., главный научный сотрудник отдела разработки циркониевых материалов Акционерного общества «Высокотехнологический научно-исследовательский институт неорганических материалов имени академика А.А. Бочвара».

В качестве ведущей организации утверждено федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» г. Екатеринбург.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- разработаны научные основы метрологического обеспечения цифровых измерений структур и изломов в материаловедении и металлургии;

- для измерения различий размещения неметаллических включений на металлографическом шлифе, темных пятен на серном отпечатке, центров ямок в вязких изломах показана эффективность разбиения плоскости изображений на полиэдры Вороного с оценкой значений коэффициентов асимметрии и эксцесса распределений площадей полиэдров, расстояний между ними и количества их соседей;

- впервые установлено, что на изображении разномасштабных структур и изломов в их представлении в виде однозначной функции координат поля яркости на плоскости кадра (в 256 оттенках серого), на сводной зависимости «суммарные площадь объектов – и их периметр», построенной по 255 бинарным изображениям, наблюдаются плавные перегибы на прямых скейлинга, отвечающие смене закономерностей формирования изображений отдельных структурных составляющих;

- выявлено и описано разнообразие статистической природы объектов исследования в материаловедении и металлургии (структуры, изломы, составляющие баз данных производственного контроля техпроцесса и продукта в металлургии) и подходы к её учету при анализе причин неоднородности качества металлопродукции и выработке управленческих решений, направленных на повышение его стабильности, включая определение границ эффективного применения процедур классической статистики;

- уточнены подходы к оценке трещиностойкости вязких материалов на малогабаритных образцах с применением критериев нелинейной механики разрушения, которые обеспечивают получение значений трещиностойкости (критического раскрытия трещины δ_c);

- впервые выявлены и оценены масштабы неоднородности вида распределения значений геометрических параметров объектов на изображениях эталонных структур (ГОСТ 3443; 1778; 5639; 5640) в пределах отдельных размерных рядов – диапазон размахов величин коэффициентов асимметрии $A_s \in [0,10;3.21]$ и эксцесса $E_x \in [-1,60;3,80]$ соответственно;

- на основе анализа результатов штатных испытаний на ударную вязкость при комнатной (20 °С) $\{X_{pi}\}$ и пониженной (-50 °С) $\{X_{nj}\}$ температурах испытания, имеющихся в базе данных производственного контроля технологии получения крупных поковок из стали 38ХНЗМФА-Ш, показана возможность в качестве меры хладостойкости оценивать «крутизну» снижения ударной вязкости $\Delta_{ij} = (X_{pi} - X_{nj})$ с учетом ее среднего значения $\bar{X}_{ij} = (KCU_{\max i}^{+20} + KCU_{\min j}^{-50})/2$ – двухпараметрический критерий хладостойкости;

- для листовой стали 16Г2АФ обнаружен неизвестный ранее механизм разрушения - шиферообразный излом, представляющий собой последовательно

чередующиеся выступы и впадины, ориентированные вдоль направления прокатки, с вытянутыми первичными ямками на их поверхности, на дне которых наблюдаются нитки сульфидов марганца. Выявлены причины образования шиферообразных изломов, свидетельствующие о склонности материала к снижению ударной вязкости.

- доказана перспективность и эффективность практического использования предложенного способа прогнозирования сопротивления разрушению твердых сплавов для наплавов рабочих органов почвообрабатывающих машин по величине предельной деформации его матрицы, обволакивающих упрочняющие частицы, в зависимости от статистики распределения элементов структуры по размерам; (Патент RU 2668691, заяв. 27.12.2017).

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что:

- прямыми массовыми цифровыми измерениями вязких изломов на основе синтеза 3D-картины из нескольких 2D-кадров (стереофотограмметрия) и экспресс-оценки 3D-рельефа по «плоским» снимкам (2D-кадрам) показано, что для всех исследуемых сталей 38ХНЗМФА, 09Г2С, 40Х2Н2МА и 15Х2НМФА различного сортамента, технологий получения, типа и схемы вырезки образцов у ямок вязкого излома единая природа - параболоид вращения обрезанный «сверху» плоскостью мезоступени излома, наклонённой под некоторым углом к макроплоскости излома;

- выявлены особенности механизма вязкого разрушения, определяющие различия вязкости, единые для сталей различного сортамента и способа получения. С увеличением ударной вязкости с 0,54 до 2,8 МДж/м² и относительного сужения ψ с 37 до 75 % для сталей различного сортамента и способа получения возрастает величина коэффициента асимметрии A_s в эмпирических распределениях числа соседей ямок с 0,43 до 0,97. Большим значениям A_s отвечают ямки большего масштаба. Различиям способствуют неизвестные ранее механизмы разрушения перемычек между порами-соседями: отрывом с вторичными микроямками и без них срезом;

- на основе анализа совокупности распределений значений геометрии параметров морфологии изображения структур и изломов, данных контроля процесса и продукта и оценки их разброса выявлен существенный масштаб неоднородности статистической природы, определены риски проверки статистических гипотез с использованием критерия Стьюдента и показана необходимость применения непараметрического критерия Смирнова.

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

Разработанные цифровые процедуры измерения структур и изломов, уточненная методика определения критического раскрытия трещины были использованы в производственных условиях АО «ВМЗ» Объединенная металлургическая компания (г. Выкса), АО «АВТОВАЗ» (г. Тольятти), ГНЦ РФ АО «НПО «ЦНИИТМАШ» (Москва), ООО ИТ-Сервис (г. Самара). С АО «РТП «Петровское» г. Светлоград, в соответствии с Лицензионным договором между

НИТУ МИСиС и АО «РТП «Петровское» (№ ЛД 03.031-2019 от 25.04.2019), на производственных площадях АО «РТП «Петровское», за период его действия (по 2024 г. включительно) произведено продукции по лицензии – рабочие органы сельскохозяйственных машин (сортамента «АО РТП «Петровское») на общую сумму 68704215,74 руб.

Оценка достоверности результатов исследования выявила следующее:

Для экспериментальных исследований и испытаний использовано современное испытательное и исследовательское оборудование, представительные базы данных заводского контроля процесса и продукта, современные программные решения. Надежность основных результатов достаточно подтверждена статистическим анализом результатов обработки больших массивов изображений структур, изломов, баз данных производственного контроля. Полученные результаты согласуются с известными представлениями в литературе по рассматриваемой тематике.

Личный вклад соискателя состоит в обосновании актуальности, цели и направления исследований, формулировке задач и путей их решения. Автор принимал участие на всех этапах выполнения работы, включая участие в полевых испытаниях, написании статей (94 печатных работ, из которых 45 научных статей в рецензируемых изданиях, входящих в перечень ВАК РФ и МБД/ (из них 36 в МБД, 1 – в базе RSCI), имеется 2 патента на изобретение).

Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения ученых степеней в МИСИС соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация Соколовской Э.А. соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в МИСИС, т.к. в ней изложены новые научно обоснованные методы цифровизации в материаловедении и металлургии для повышения качества металлопродукции. Внедрение предложенных решений вносит значительный вклад в повышение качества отечественной металлопродукции и её конкурентоспособности, в развитие страны в целом.

Диссертация выполнена на высоком научном уровне, обладает внутренним единством, выводы и рекомендации достоверны и убедительны, результаты работы имеют теоретическую ценность и практическую значимость.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Соколовской Элине Александровне ученой степени доктора технических наук по специальности 2.6.1. – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 7 человек, участвовавших в заседании, из 7 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 7, против 0, недействительных бюллетеней 0.

Председатель Экспертной комиссии
24.03.2026



С.Д. Калошкин