

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

Тихоновой Натальи Васильевны на диссертационную работу Чэнь Чэньюй
«ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ
ЖЕНСКИХ ПЛАТЬЕВ СКЛАДЧАТОЙ ФОРМЫ»,
представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по
специальности 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой
промышленности.

1. АКТУАЛЬНОСТЬ. Диссертационная работа Чэнь Чэньюй «Имитационное моделирование цифровых двойников женских платьев складчатой формы» посвящена решению актуальной научно-технической задачи, связанной с развитием методов цифрового проектирования изделий легкой промышленности на основе технологий имитационного моделирования и цифровых двойников.

Цифровая трансформация швейной отрасли требует создания достоверных цифровых двойников изделий, позволяющих сократить производственный цикл и повысить качество продукции. Однако для одежды со сложной геометрией поверхности, особенно женских платьев складчатых форм, генерация реалистичных цифровых двойников остаётся серьёзной научной проблемой. Формообразование складок определяется комплексом физико-механических свойств ткани, ключевое значение среди которых отводится драпируемости. Существующие методы её оценки используют упрощённые геометрические опоры и не учитывают антропоморфные условия закрепления материала на фигуре человека. Кроме того, традиционные способы получения параметров тканей для виртуальной симуляции трудоёмки, требуют дорогостоящего оборудования и ограничивают применение на предприятиях.

Развитие технологий искусственного интеллекта и компьютерного зрения открывает новые возможности для измерения свойств материалов, однако отсутствие стандартов проведения таких измерений сдерживает их внедрение. В связи с этим возникает необходимость в разработке новых методов и средств оценки драпируемости, интегрированных с технологиями ИИ, компьютерного зрения и 3D-моделирования.

Таким образом, совершенствование методов имитационного моделирования цифровых двойников женских платьев складчатой формы посредством разработки новых подходов к оценке драпируемости тканей, генерации цифровых двойников материалов и прогнозированию процессов формообразования одежды на этапе конструкторской разработки чертежей является востребованной научной задачей и имеет важное значение для повышения конкурентоспособности отечественной легкой промышленности.

2. СТЕПЕНЬ ОБОСНОВАННОСТИ И ДОСТОВЕРНОСТИ НАУЧНЫХ ПОЛОЖЕНИЙ И ВЫВОДОВ. Сформулированные в диссертации научные положения и выводы обладают достаточной степенью научной обоснованности, что подтверждается: теоретической проработкой вопросов формообразования одежды, включая анализ физико-механических свойств тканей и их роли в создании поверхностей со сложной пространственной геометрией, а также методов измерения и оценки драпируемости материалов, применения искусственного интеллекта для измерения свойств тканей и построения их цифровых двойников; использованием общепринятых подходов к систематизации экспериментальных данных и стандартизированных методик ASTM, ISO для получения эталонных значений физико-механических свойств тканей; применением

современного комплекса оборудования и программного обеспечения при решении задач исследования; использованием методов статистической обработки полученных экспериментальных данных исследования.

Основные научные результаты исследования представлены на международных и национальных конференциях (IFFTI 2025, IEEE Smart World Congress 2025, конференция ПОИСК 2024–2026) и изложены в 3 печатных работах, из них 2 статьи опубликованы в рецензируемых научных изданиях, входящих в перечень ВАК, и одна статья в издании, индексируемом в базах (WoS), и четырех материалах конференций.

3. НАУЧНАЯ НОВИЗНА И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЯ. Научная новизна диссертационного исследования заключается в следующем:

1. Разработан антропоморфный метод оценки драпируемости текстильных материалов (SFM), позволяющий воспроизводить условия закрепления материала на плечевом поясе женской фигуры с учетом влияния конструктивных параметров чертежей и аппаратное обеспечение для его реализации.

2. Обоснована концепция создания цифровых двойников текстильных материалов с использованием генеративных моделей искусственного интеллекта, основанная на формализации входных данных, формализации процесса измерения показателей физико-механических свойств материалов в реальных условиях и использовании референсных фотографий ткани в плоском и складчатом состояниях.

3. Получена высоко прогностическая регрессионная модель, устанавливающая на этапе конструктивного моделирования чертежей количественные закономерности между новым антропоморфным коэффициентом драпируемости и параметрами поверхности формы платья.

Практическая значимость исследования определяется:

1. Разработкой экспериментального устройства для определения антропоморфной драпируемости тканей, который может быть использован на предприятиях по швейной промышленности для повышения точности воспроизведения драпируемости материалов в виртуальной среде, сокращения времени на подготовку цифровых моделей образцов тканей и изделий на этапе проектирования.

2. Разработкой алгоритма коррекции чертежей путем уточнения параметров конструктивного моделирования на основе антропоморфного коэффициента драпируемости и показателей светлой области складчатой поверхности ткани, позволяющего сокращать затраты на изготовление физических образцов и развивать параметрическое проектирование в индустрии моды.

Полученные автором результаты теоретически значимы и дополняют существующие научные знания в области процессов моделирования драпируемости тканей, закономерностей формообразования складчатых поверхностей материалов и изделий одежды, методов оценки цифровых двойников и имитационного моделирования процессов формообразования одежды. Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании систем автоматизированного проектирования одежды, а также в образовательном процессе учреждений высшего образования при подготовке студентов и аспирантов по направлению «Цифровое проектирование изделий легкой промышленности».

4. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ.

Структура диссертационной работы выстроена логично и отражает общую схему проведенных автором исследований. По своей структуре работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Диссертационная работа завершается рекомендациями и перспективами разработки темы.

Объем работы составляет 214 страниц машинописного текста с приложениями и содержит 36 рисунков и 25 таблиц. Список литературы включает 175 наименований.

Качество оформления, язык изложения и стиль диссертации и автореферата соответствуют требованиям. Автореферат и опубликованные автором работы отражают содержание диссертационного исследования.

ПЕРВАЯ ГЛАВА посвящена анализу современного состояния исследований в области цифровых двойников текстильных материалов и одежды: методов определения и оценки драпируемости тканей; эволюции методов, устройств и подхода к определению, измерению и интерпретации результатов; виртуального моделирования и приближению его результатов к физическим для прогнозирования и принятия проектных решений; возможностей и проблем методов искусственного интеллекта при генерации и визуальном представлении цифровых образцов материала, измерении их параметров и валидации. Автором систематизированы проблемы и ограничения традиционных методов, главное из которых – несоответствие условий опоры и формы проб реальным условиям формообразования одежды на фигуре человека. Выявлены пробелы в области прогнозирования формы одежды на основе драпируемости и коррекции параметров лекал. Определена цель и задачи исследования.

ВТОРАЯ ГЛАВА посвящена выбору и характеристике объектов исследования (пять видов реальных тканей, восемь виртуальных тканей, чертежи базового и драпированного платьев), определению средств программного обеспечения (Style3D, Rhinoceros, ImageJ, SPSS) и формированию методической базы исследования. Соискателем обозначена разработка нового метода установления антропоморфной драпируемости текстильных материалов, основанного на моделировании условий закрепления ткани, приближенных к реальным условиям взаимодействия одежды с плечевым поясом человека. Разработаны система кодирования физико-механических параметров тканей и методика прогнозирования параметров формы базового платья и оценки градиентной реакции складчатой поверхности. Предложены методы валидации для обеспечения многоуровневой проверки достоверности результатов.

ТРЕТЬЯ ГЛАВА посвящена разработке и применению нового метода плечевой посадки ShoulderFitting Method (SFM) для оценки драпируемости. Для реализации предложенного подхода на основе усреднённых антропометрических данных автором создано специализированное устройство для проведения испытаний в виртуальной и физической средах. Предложены конструкции короткой и средней длины проб, а также формула расчёта коэффициента драпируемости DC_{SFM} . Экспериментальная проверка показала отсутствие статистически значимых различий между результатами, полученными в виртуальной и физической средах, что подтверждает адекватность разработанного метода. Установлено, что новый метод не заменяет традиционный дисковый метод, а характеризует уровень драпируемости, связанный с плечевой опорой и структурой пробы.

ЧЕТВЕРТАЯ ГЛАВА посвящена разработке протоколо-управляемой схемы ИИ-измерений физико-механических свойств тканей на основе стандартизированного набора фотографий. Особое внимание уделено разработке библиотеки эталонных двумерных и трехмерных изображений тканей, обеспечивающей корректность генерации цифровых моделей материалов, и установлено, что контроль ошибки определяется не только количеством фотографий, а их типом и совместимостью. Выполнен отбор наилучшей мультимодальной модели ИИ (GPT-5.1) и определён оптимальный набор фотографических доказательств (P1+P2+P6-Warp). На основе полученных ИИ-параметров сгенерированы цифровые двойники тканей в Style3D. Выполнена валидация полученных результатов на примере юбок и платьев, которая показала высокую геометрическую согласованность. Предложена стратегия гибридной маршрутизации как дополнительного пути повышения точности при генерации цифрового двойника изделия.

ПЯТАЯ ГЛАВА раскрывает связь параметров драпируемости, полученных по новому методу SFM, с параметрами формы платья и схемой конструктивного моделирования чертежей, что формирует основу для прогнозирования складчатой формы платья. Модель коррекции чертежа разработана на основе нового коэффициента

драпируемости DC_{SFM} и показателя светлой области $A_{overall}$, обеспечивающего одинаковое восприятие драпированной складчатой поверхности изделий из разных материалов. Экспериментальная проверка показала, что новый коэффициент драпируемости DC_{SFM} можно использовать как показатель драпируемости ткани, расчетный параметр для прогнозирования формы платья и управляющий фактор для параметризации приемов конструктивного моделирования физических образцов и цифровых двойников одежды.

Далее автором представлены выводы и рекомендации по работе, список литературы, таблиц и рисунков, приложения.

5. СООТВЕТСТВИЕ ПАСПОРТУ СПЕЦИАЛЬНОСТИ. Диссертация Чэнь Чэнюй «ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ ЖЕНСКИХ ПЛАТЬЕВ СКЛАДЧАТОЙ ФОРМЫ» по совокупности полученных результатов соответствует паспорту научной специальности 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности: п. 7 «Цифровое прогнозирование, математические методы, информационные технологии моделирования технологических процессов первичной обработки сырья, организации производства и изготовления волокон, нитей, материалов и изделий текстильной и легкой промышленности»; п. 8 «Технологии имитационного моделирования цифровых двойников волокон, нитей, материалов, изделий легкой промышленности и человеческих фигур»; п. 26 «Методы системного анализа свойств формы и материалов в проектируемых ИТЛП».

6. ЗАМЕЧАНИЯ И ВОПРОСЫ ПО РАБОТЕ.

При общей высокой положительной оценке диссертации можно высказать ряд замечаний, которые носят скорее дискуссионный характер и не снижают научной ценности работы:

1. В работе используется достаточно большое количество англоязычной и узкоспециализированной терминологии. В то же время 9 страниц (с 204 по 212) в работе выделено для указания списка таблиц и рисунков. Возможно, автору следовало уделить внимание включению раздела «Словарь терминов» для однозначного толкования используемых в исследовании терминов.

2. В главе 1 достаточно подробно представлен обзор современного состояния зарубежных исследований в области цифровых двойников текстильных материалов и одежды, и представляется неполным ввиду отсутствия представления результатов отечественных исследований в данной области. Так, например, вопросами формообразования поверхности из драпируемых текстильных материалов и математическим моделированием поверхности объектов из драпируемых тканей занимаются ученые Омского государственного технического университета М.А. Чижик, В.Ю. Юрков, В.В. Максач, а количественные критерии оценки цифровой модели и реального образца, позволяющие оценить необходимость коррекции конструктивного решения или выбора свойств материалов, составляют область научных интересов ученых РГУ им. А.Н. Косыгина И.А. Петросовой, Е.Г. Андреевой, Д.Н. Гогужева.

3. В разделе 1.5 (с. 54) указанная цель диссертационного исследования *«разработать интегрированную методологическую основу для проектирования цифровых двойников текстильных материалов и одежды на основе трехмерной технологии»* не согласована с целью, представленной в разделе «Общая характеристика работы» – *«сокращение длительности процесса имитационного моделирования женских платьев складчатой формы»*.

4. В разделе 2.1.1 «Ткани» в таблице 2.2 приведены виртуальные ткани из библиотеки тканей Style3D и их характеристики. С какой целью автор приводит эти данные, если на следующих этапах исследования они не участвуют в экспериментальной работе.

5. При разработке антропоморфного драпометра (глава 3) автор использует усреднённые геометрические параметры плечевой области, полученные по 10 женским

виртуальным фигурам размеров 160/76Y–160/100C. Однако в работе не указано, насколько эти усреднённые параметры репрезентативны для других размерных групп (например, для фигур большего роста или с иной осанкой). Это ограничивает универсальность метода, и следовало бы обсудить возможные границы его применимости.

6. Предложенный автором антропоморфный драпометр имитирует лишь часть опорной плечевой поверхности и обуславливает конфигурацию контрольных проб без их фиксации по линии середины переда и спинки. Чем обосновано данное решение?

7. Выбранная автором форма проб (рис. 3.5) имеет наклонную конфигурацию продольных срезов, которые подвергаются повышенной деформации при проведении эксперимента и могут оказывать влияние на показатели драпируемости пробы. Возможно использование полной опорной поверхности при создании антропоморфного драпометра и проб, имитирующих полные детали спинки и переда, позволили бы получить более объективные результаты.

8. На рис. 3.5 (с. 88) показаны структурные формы и конструктивные переменные проб короткой SS и длинной LS. В тексте сказано, что *«образец LS создавали на основе SS путем увеличения длины и ширины»*, однако пробы имеют различные конструктивные элементы. В пробе LS присутствуют нагрудная и плечевая вытачки и явно выражены линии проймы и бокового среза. Это же продемонстрировано на рис. 3.8 при размещении образцов для теста драпировки SFM. Согласно представленным данным, не представляется возможным однозначно определить были ли условия размещения едины для всех трех образцов, а также не вполне ясно присутствует ли боковой шов у виртуального (LS) образца и физического (SS). В случае его наличия, а также присутствия дополнительных конструктивных элементов (вытачек) на образце LS, необходимо уточнить, чем это обусловлено и как исключили их влияние (установили отсутствие) на показатели драпируемости.

9. При проведении экспериментальной работы, описанной в разделе 3.3, наклон плечевых срезов проб был установлен в пределах диапазона 20–40°. С какой целью и на каком основании он был определен? Как автор учитывал разность наклонов плечевых срезов типовых базовых конструкций спинки и переда, наблюдаемую практически во всех методиках конструирования? При изменении угла наклона плеча одинаково ли изменялись наклоны плечевых срезов передней и задней деталей проб?

10. В работе генерация цифровых образцов материалов и ИИ-измерения произведены с применением нейронных сетей GPT-5.1, Gemini3Pro, Grok-4.1, Qwen3-Max. В то же время в аппарате работы сказано, что практической значимостью исследования является создание *«инструментария для получения цифровых двойников тканей и женских платьев, доступного предприятиям легкой промышленности»*. Однако использование названных выше нейронных сетей в России ограничено. Как, по мнению автора, обеспечить минимизацию зависимости отечественных производителей от импортных средств обеспечения технологического процесса?

11. В разделе 4.3.3 при сравнении одиночных и гибридных фотографических конфигураций автор использует локальную метрику отбора и показывает, что добавление третьей фотографии не всегда улучшает точность (например, для ткани F2 комбинация P1+P2+P5 увеличивает MAPE). Однако не предложено чёткого критерия, по которому можно было бы заранее определить, какая комбинация фотографий будет оптимальна для конкретной ткани.

12. В разделе 4.5 получены параметры драпируемости по новому методу SFM и подробно представлена валидация выбранного фотографического протокола для симуляции на уровне изделия на примере юбки и базового платья BD в виртуальной среде программы Style3D. На основе полученного параметра драпируемости в главе 5 представлены результаты прогнозирования формы платья и коррекции чертежей с учетом связи цифрового двойника ткани с цифровым двойником платья на примере базового платья BD и драпированного платья PLD. Из представленного визуального ряда не совсем

ясно был ли изготовлен цифровой двойник драпированного PLD платья и насколько он идентичен с представленными физическими образцами. Наличие визуализации цифрового двойника одежды и его физического образца усилили бы представленные в работе результаты.

13. В главе 5 при построении регрессионных уравнений для прогнозирования параметров формы базового платья автор использует тканеспецифические модели на основе DC_{SFM} короткой пробы. Однако в уравнениях (5.2)–(5.13) коэффициенты регрессии сильно различаются для разных тканей. Неясно, можно ли использовать эти уравнения для других тканей без перекалибровки, или требуется предварительное измерение DC_{SFM} для каждой новой ткани.

14. В работе приведены результаты валидации скорректированного чертежа на одной контрольной ткани (F5). Для подтверждения универсальности алгоритма коррекции следовало бы провести серию экспериментов с несколькими тканями, имеющими различные драпировочные характеристики, и оценить стабильность результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ПО ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЕ.

Диссертационная работа Чэнь Чэнюй «Имитационное моделирование цифровых двойников женских платьев складчатой формы» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены новые научно-обоснованные технологические решения актуальной научной задачи – совершенствование методов создания цифровых двойников одежды посредством разработки новых подходов к оценке драпируемости текстильных материалов, моделированию складчатых поверхностей изделий, формированию цифровых двойников тканей и количественной валидации результатов имитационного моделирования.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям (п.9 положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г. с изм. и доп. от 25.01.2024 № 62). Чэнь Чэнюй заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности.

Официальный оппонент,
доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Конструирования
одежды и обуви»
ФГБОУ ВО «КНИТУ»

Тихонова Наталья Васильевна

«24» 08 2026 года

Тихонова Наталья Васильевна – доктор технических наук (05.19.05 – Технология кожи, меха обувных и кожевенно-галантерейных изделий), профессор, заведующий кафедрой «Конструирования одежды и обуви», Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 420015, Российская Федерация, г. Казань, ул. К. Маркса, д.68, Тел.: +7 (843) 231-41-96, e-mail: nata.tihonova.81@mail.ru.

Подпись <u>Тихоновой Н.В.</u>
удостоверяю. Начальник управления организационного и кадрового развития ФГБОУ ВО «КНИТУ»
И.Ш. Харисов
« 25 » 08 20 26 г.

