На правах рукописи



АБДУЛЛАЕВА АННА СЕРГЕЕВНА

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА КОРРЕКТИРУЮЩЕГО ОРТОПЕДИЧЕСКОГО ШЛЕМА НА ОСНОВЕ МНОГОСЛОЙНЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань 2026

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет».

Научный руководитель:	**Тихонова Наталья Васильевна**, доктор технических наук, профессор.
Официальные оппоненты:	**Шустов Юрий Степанович**, доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство)», заведующий кафедрой материаловедения и товарной экспертизы;
	Чагина Любовь Леонидовна, доктор технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Костромской государственный университет», профессор кафедры дизайна, технологий, материаловедения и экспертизы потребительских товаров.
Ведущая организация:	Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный технический университет», г. Омск.

Защита диссертации состоится «25» декабря 2026 года в 15:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.312.12, созданного на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, зал заседаний Ученого совета, А-330.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и на сайте https://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=599579

Отзывы на автореферат и диссертацию в 2-х экземплярах с подписями, заверенными печатью, просим направлять по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, ФГБОУ ВО «КНИТУ», ученому секретарю диссертационного совета 24.2.312.12. В отзыве указываются фамилия, имя, отчество (полностью), ученая степень с указанием специальности, ученое звание, наименование организации и должность лица, представившего отзыв, с указанием структурного подразделения, почтовый адрес, телефон и адрес электронной почты (при наличии) (п. 28 Положения о присуждении ученых степеней).

Автореферат разослан «___» _____ 2026 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
доктор технических наук  Н.В. Тихонова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. На сегодняшний день в Российской Федерации наблюдается устойчивый рост потребности в технических средствах реабилитации и ортопедических изделиях, что обусловлено ростом числа инвалидов, совершенствованием медицинской помощи и повышением требований к качеству жизни пациентов. Российский рынок протезно-ортопедической продукции активно развивается, расширяется ассортимент изделий с внедрением современных цифровых технологий проектирования и производства. Вместе с тем отдельные сегменты ортезирования остаются недостаточно развитыми и представлены ограниченным числом производителей. К таким направлениям относится создание шлемов (краниокорректоров) для лечения деформаций черепа у детей грудного возраста, а также для применения в послеоперационный период после хирургических вмешательств, выполняемых при преждевременном срастании швов черепа.

Деформации черепа у детей грудного возраста требуют своевременного выявления и выбора обоснованного способа коррекции. Особое значение имеет первый год жизни, когда интенсивный рост и высокая пластичность костей черепа создают благоприятные условия для восстановления его формы. При сохраняющихся деформациях средней и тяжелой степени, а также в период реабилитации после хирургического лечения по медицинским показаниям применяются индивидуальные ортопедические шлемы, именуемые краниальными ортезами или краниокорректорами.

Функциональное действие ортопедического шлема основано на управляемом взаимодействии изделия с поверхностью головы ребенка. Конструкция должна ограничивать рост выступающих областей черепа, сохранять свободное пространство в зонах уплощения и обеспечивать устойчивое положение относительно зон коррекции, опоры и разгрузки. Результативность такого воздействия зависит от точности соответствия внутренней формы изделия антропометрическим параметрам ребенка, распределения контактного давления, стабильности конструкции и возможности ее своевременной корректировки.

Необходимость длительного ежедневного ношения ортопедического шлема повышает требования к его массе, гигиеническим и эргономическим характеристикам, а также безопасности контактирующих с кожей материалов. Большинство существующих изделий изготавливается в виде жесткой полимерной оболочки с мягким внутренним слоем. Такая конструкция обеспечивает требуемую геометрию, однако ограничивает воздухо- и влагообмен, способствует локальному перегреву и повышенному потоотделению, а также может вызывать раздражение и натирание кожи. Кроме того, по мере роста головы ребенка возникает необходимость регулярной корректировки или изготовления нового изделия, что увеличивает продолжительность и стоимость лечения.

Применение 3D-сканирования и цифрового моделирования повысило точность индивидуального проектирования краниальных ортезов. Вместе с тем существующие разработки преимущественно ориентированы на воспроизведение геометрии жесткой оболочки. Недостаточно разработан комплексный подход к проектированию краниальных ортезов как системы, учитывающий антропометрические параметры, зональное распределение контактного давления, свойства материалов, условия микроклимата и необходимость адаптации изделия в процессе лечения.

Перспективным решением является создание модульной текстильно-полимерной конструкции, в которой многослойная текстильная основа обеспечивает фиксацию, воздухо- и влагообмен и регулирование размеров, а сменные полимерные элементы формируют требуемое корректирующее воздействие.

Степень разработанности темы исследования. Существенный вклад в изучение свойств текстильных и композиционных материалов и адаптируемых изделий внесли отечественные ученые и исследователи: Шустов Ю.С., Чагина Л.Л., Абуталипова Л.Н., Киселев М.В., Хамматова В.В., Тихонова Н.В., Бикбулатова А.А., Корнилова Н.Л., Гетманцева В.В.; зарубежные ученые: Clarren S., Ballardini E., Trebilcock A., Graham T., Wilbrand J., Kropla F., Dai N.

На современном рынке ортопедических средств коррекции формы черепа для детей с деформацией преобладают традиционные конструкции, выполненные из жестких полимерных материалов. Вместе с тем остаются актуальными вопросы улучшения гигиенических и эксплуатационных свойств, снижения массы, уменьшения сроков изготовления изделий и стоимости лечения. В отечественной практике производство подобных изделий носит преимущественно индивидуальный характер, а подходы к выбору материалов и проектированию конструкций существенно различаются. Данная работа является продолжением исследований в области разработки адаптируемых и корректирующих изделий. В работе предложены новые конструктивные и технологические решения, направленные на создание модульного корректирующего ортопедического шлема из текстильных материалов для коррекции деформации черепа у детей грудного возраста.

Работа выполнена в Казанском национальном исследовательском технологическом университете. Автором при работе над диссертацией использовались методики и аналитическое оборудование центра коллективного пользования «Нанотехнологии и наноматериалы» (ЦКП «Нанотехнологии и наноматериалы») и комплексная лаборатория «Наноаналитика» (ЛК Наноаналитика) ФГБОУ ВО «КНИТУ».

В диссертационной работе изложены результаты научных исследований автора с 2023 по 2026 год в области разработки модульной конструкции ортопедического шлема из текстильных материалов для коррекции деформации черепа у детей грудного возраста.

Область исследования соответствует паспорту научной специальности 2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности: п.2. Проектирование структуры и прогнозирование показателей свойств и качества волокон, нитей, материалов и ИТЛП; п.13. Разработка оптимальных структур, конструкций, материалов и ИТЛП для снижения затрат на организацию их производства, повышения качества продукции и оптимизации процесса работы технологического оборудования.

Цели и задачи. Целью работы является разработка технологии создания модульной адаптируемой конструкции ортопедического шлема для детей с деформацией черепа в период интенсивного роста с применением многослойных текстильных материалов и системы сменных полимерных корректирующих элементов, обеспечивающих улучшенные эргономические и гигиенические свойства изделия.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Проведение анализа современного состояния и перспективных направлений развития технологий изготовления краниальных ортезов для детей с

деформацией черепа с учетом физиологических и антропометрических особенностей головы ребенка в раннем возрасте.

2. Выбор объектов, методов исследования, материалов модульной конструкции ортопедического шлема для детей с деформацией черепа.

3. Экспериментальные исследования физико-механических, эксплуатационных и гигиенических характеристик текстильных материалов для ортопедического шлема; подбор оптимального многослойного пакета материалов, разработка конструкции изделия с применением корректирующих пластин.

4. Разработка технологии изготовления модульной адаптируемой конструкции ортопедического шлема для детей с деформацией черепа из текстильных материалов.

Научная новизна работы.

1. Разработаны конструктивно-технологические принципы создания модульного адаптируемого ортопедического шлема на основе функционального разделения элементов с применением многослойной текстильной основы, обеспечивающей фиксацию изделия и регулирование размерных параметров.

2. Разработана зональная расчетная модель контактного давления ортопедического шлема, учитывающая анатомические параметры головы ребенка, упруго-пластические свойства текстильной основы, площадь контакта, количество и расположение корректирующих пластин.

3. Разработана методика цифрового проектирования модульного ортопедического шлема на основе результатов 3D-сканирования и антропометрических параметров головы ребенка, позволяющая формировать целевую форму изделия с учетом зон коррекции, опоры и разгрузки.

4. Разработан комплексный подход подбора материалов для модульного адаптируемого ортопедического шлема с учетом их гигиенических, контактных, физико-механических, эксплуатационных характеристик.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии представлений об ортопедическом шлеме как о гибридной текстильно-полимерной системе, где в конструкции выделены зоны коррекции, опоры и разгрузки. Установлена взаимосвязь между геометрией головы ребенка, деформационными свойствами текстильной основы, площадью контакта, количеством и расположением корректирующих элементов, а также контактным давлением. Разработанные подходы формируют теоретическую основу проектирования модульных адаптируемых изделий.

Практическая значимость работы заключается в том, что:

1. Разработана конструкция модульного адаптируемого ортопедического шлема, включающая многослойную текстильную основу, карманы для сменных корректирующих пластин и элементы регулирования, позволяющая изменять окружность изделия до 60 мм, при этом расчетный коэффициент регулирования составил 13,1 %.

2. Экспериментально обоснован рациональный пакет материалов текстильной основы, состоящий из: трикотажного полотна «Бифлекс» поверхностной плотностью 220 г/м², комплексного материала «Antynea Триплин» поверхностной плотностью 330 г/м² и хлопкового трикотажного полотна поверхностной плотностью 140 г/м². Показатель воздухопроницаемости пакета составляет 91 дм³/(м²·с), гигроскопичности – 15,1 %, паропроницаемости – 286,23 г/(м²·ч).

3. Изготовлен опытный образец модульного адаптируемого ортопедического шлема на текстильной основе, отличающейся на 35 % меньшей массой, пониженной на 6% температурой внутришлемного воздуха в затылочной зоне головы и на 28% меньшей относительной влажностью внутришлемного воздуха по сравнению с промышленным аналогом.

4. Разработана технология создания модульного адаптируемого ортопедического шлема, включающая 3D-сканирование головы ребенка, цифровое моделирование, построение лекал, изготовление многослойной текстильной основы и формирование карманов, термоформование сменных корректирующих полимерных пластин при температуре 80±2 °С.

Результаты диссертационной работы прошли производственные испытания. Технология внедрена в Чебоксарском филиале АО «Московское протезно-ортопедическое предприятие» (г. Чебоксары). Проведена оценка экономической целесообразности производства разработанного ортопедического шлема. Ожидаемый экономический эффект составляет 2 646 821 руб. в год при объеме производства 240 изделий в год.

Объекты и методы исследований. В качестве объектов исследования выбраны: трикотажное полотно «Бифлекс» (80% полиамид / 20% эластан), Вьетнам; трикотажное полотно «Бифлекс Стрейч 30С» (82% нейлон / 18 % спандекс), г. Узловая, Россия; трикотажное полотно «Бифлекс Маделин» (93% полиэстер / 7% спандекс) Китай; трикотажное полотно «Бифлекс бельевой» (88% микрополиамид / 12% эластан) Корея; комплексный материал «Триплин Antynea O-309» (100% полиэстер / 100% пенополиуретан / 100% хлопок) Беларусь; комплексный материал «Триплин Antynea B-303a» (100% хлопок / 100% пенополиуретан / 100% хлопок) Беларусь; трикотажное полотно «Меланж» (100% хлопок) Турция; трикотажное полотно (100% хлопок), г. Родники, Россия; трикотажное полотно (95% хлопок / 5% полиэстер), Египет; полужесткая трикотажная полимерная лента «Intrarich Cast Soft», Корея; жесткая трикотажная полимерная лента «Intrarich Cast», Корея; трикотажная полимерная лента «Alfacast», г. Красноярск, Россия; трикотажная полимерная лента «Alfacast», г. Красноярск, Россия; нетканый материал «Alfasplint», г. Красноярск, Россия.

Для исследования комплекса свойств материалов, используемых при разработке текстильного ортопедического шлема, применялись стандартные и специальные методы испытаний. Разрывную нагрузку и удлинение при разрыве определяли по ГОСТ 3813-72, растяжимость трикотажных полотен при нагрузках меньше разрывных по ГОСТ 8847-85, стойкость к истиранию по ГОСТ 18976-73, гигроскопичность по ГОСТ 3816-81, устойчивость к воздействию пота по ГОСТ 9733.6-83, напряженность электростатического поля по ГОСТ 32995-2014, воздухопроницаемость по ГОСТ ISO 9237-2013, изменение линейных размеров после мокрых обработок по ГОСТ 6330-2014.

Эргономические характеристики ортопедического шлема оценивали по величине давления, создаваемого корректирующими элементами на поверхность головы ребенка. Определение сдавливающего воздействия выполняли расчетным методом на основе площади контактного взаимодействия и величины корректирующего усилия. Выполнялось определение коэффициента и силы трения между кожей головы ребенка и текстильным материалом методом наклонной плоскости. Исследование температуры и относительной влажности воздуха в выбранных областях между кожей ребенка и внутренним слоем ортопедического шлема осуществлялось путем измерения с использованием цифрового термогигрометра.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Конструктивно-технологические принципы создания модульного адаптируемого ортопедического шлема с функциональной текстильной основой и сменными корректирующими полимерными элементами.
2. Зональная расчетная модель контактного давления ортопедического шлема на поверхность головы ребенка, позволяющая определить распределение механических воздействий на различные анатомические зоны головы.
3. Методика цифрового проектирования модульного адаптируемого ортопедического шлема на основе результатов 3D-сканирования и антропометрических параметров головы ребенка.
4. Экспериментально обоснованный подбор многослойного текстильного пакета с применением полимерного материала для сменных корректирующих элементов.
5. Технологический процесс создания модульного адаптируемого ортопедического шлема на текстильной основе с применением корректирующих полимерных элементов.

Достоверность полученных результатов и выводов обеспечивается применением стандартизированных методов испытаний, регламентированных действующими ГОСТ, а также использованием современных средств измерений, обеспечивающих необходимую точность и воспроизводимость экспериментальных данных. Обработка и анализ результатов исследований выполнялись с применением методов математической статистики.

Апробация работы и публикации. Результаты работы обсуждались на I, II, III международном форуме «Молодежь. Наука. Творчество» (Омск, 2024-2026), II, III, IV Всероссийской конференции ученых, аспирантов и студентов с международным участием «Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности» (Казань, 2024-2026). III Всероссийской конференции с международным участием «Материаловедение – 2025» (Казань, 2025), XXI, XXII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и молодых ученых с международным участием «Новые технологии материалы легкой промышленности» (Казань, 2025, 2026). Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий» (Кострома, 2026).

Личный вклад автора заключается в постановке цели и задач исследования, подборе объектов исследования, выборе и апробации методик исследований, в систематизации результатов экспериментов, их анализе и последующем обосновании научных выводов.

На основании полученных результатов автором разработана конструкция и технология изготовления модульного ортопедического шлема из текстильных материалов со сменными корректирующими элементами для детей с деформацией черепа. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в ведущих отечественных научных изданиях и представлены на научно-практических конференциях.

Публикации. Результаты работы отражены в 18 печатных работах, в том числе в 3 статьях, входящих в перечень научных журналов и изданий, рекомендованных ВАК Минобрнауки России, в 1 статье в научных журналах, индексируемых международной базой данных Scopus, остальные – в материалах конференций различного уровня, 1 патент.

Структура и объем работы: Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Работа изложена на 209 страницах машинописного текста, содержит 33 рисунков и 33 таблицы. В тексте приведены ссылки на 225 литературных источников.

Автор выражает глубокую благодарность доценту, к.т.н. Жуковской Татьяне Владимировне, профессору, д.ф.-м.н. Желтухину Виктору Семеновичу, профессору, д.т.н. Вознесенскому Эмилю Фаатовичу, за помощь в определении направления исследования и обсуждении результатов работы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность разработки корректирующего модульного адаптируемого ортопедического шлема для детей с деформациями черепа, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, представлены основные положения, выносимые на защиту, сведения об апробации и внедрении результатов.

В первой главе проведен анализ современных технологий проектирования и изготовления протезно-ортопедических изделий, применяемых для коррекции деформаций черепа у детей раннего возраста. Рассмотрены существующие конструкции ортопедических шлемов, применяемые материалы и технологии их изготовления, а также требования, определяющие безопасность и эффективность при длительной эксплуатации изделия.

Установлено, что большинство существующих ортопедических шлемов выполняется на основе жесткой полимерной оболочки с внутренним амортизирующим слоем. Данная конструкция обеспечивает сохранение заданной геометрии изделия и формирование корректирующего воздействия, однако ограничивает возможности адаптации изделия к изменяющимся антропометрическим параметрам головы ребенка. Длительное ежедневное ношение изделия повышает требования к его массе, воздухо- и влагообмену, безопасности контактирующих с кожей материалов и возможности регулирования размеров.

Анализ современных методов цифрового проектирования показал целесообразность применения 3D-сканирования и параметрического моделирования для индивидуализации геометрии шлема. Обоснована необходимость комплексного подхода, учитывающего форму головы ребенка, расположение зон коррекции, опоры и разгрузки, свойства материалов, характер контактного взаимодействия и возможность изменения размерных параметров изделия в процессе роста.

На основании проведенного анализа определено направление совершенствования ортопедического шлема, предусматривающее сочетание многослойной текстильной основы, которые обеспечивают фиксацию изделия на голове ребенка и сменных полимерных элементов, предназначенных для создания локального корректирующего воздействия.

Во второй главе обоснован выбор объектов и методов экспериментальных исследований материалов для разработки конструкции ортопедического шлема. В качестве объектов выбраны текстильные материалы различного волокнистого состава и структуры для наружного, амортизирующего и внутреннего слоев, а

также термопластичные полимерные материалы для изготовления сменных корректирующих элементов.

В третьей главе экспериментально обоснован выбор материалов и сформирован оптимальный пакет для модульной конструкции ортопедического шлема. Исследования выполнены в три этапа.

На первом этапе проведены экспериментальные исследования 10 текстильных материалов, отобранных в главе 2 в качестве объектов для верхнего, амортизирующего и подкладочного слоев конструкции. Оценены воздухопроницаемость (ГОСТ ISO 9237–2013), гигроскопичность (ГОСТ 3816–81), паропроницаемость (ГОСТ ISO 11092–2021), разрывные характеристики (ГОСТ 3813–72), растяжимость при эксплуатационных нагрузках (ГОСТ 8847–85), стойкость к истиранию (ГОСТ 18976–73), электризуемость (ГОСТ 32995–2014), устойчивость окраски к поту (ГОСТ 9733.6–83) и изменение линейных размеров после мокрых обработок (ГОСТ 6330–2014). По совокупности показателей для верхнего слоя отобраны два варианта трикотажного полотна «Бифлекс» поверхностной плотностью 190 и 220 г/м²; для амортизирующего слоя – комплексный материал «Antynea Триплин В-303а» поверхностной плотностью 330 г/м²; для подкладочного слоя – два варианта хлопкового трикотажного полотна поверхностной плотностью 168 и 140 г/м².

Вспененный полиэтилен «Пластазот», используемый в промышленных аналогах, не удовлетворяет требованиям по воздухопроницаемости (71 дм³/(м²·с)) и гигроскопичности (6,51 %) указанным в ГОСТ 32119–2024. Безопасность отобранных материалов подтверждена рентгенофлуоресцентным анализом: потенциально опасные неорганические примеси не обнаружены.

На втором этапе исследованы физико-механические характеристики 5 полимерных материалов для сменных корректирующих пластин: прочность при растяжении (ГОСТ 11262–2017), модуль Юнга и устойчивость к ползучести при трехточечном изгибе (ГОСТ 34368–2017) образцов толщиной 3-6 мм. По совокупности показателей прочности (4,9 МПа), модуля ползучести при изгибе (202,7 МПа) и минимальной деформации изгиба (0,9 %) обоснован выбор полимерного нетканого материала «Alfasplint», обеспечивающего требуемую формоустойчивость и пригодность к термоформованию при 80 ± 2 °С.

На третьем этапе изучены образцы текстильных материалов методом рентгенофазового анализа (ГОСТ Р 56561-2015), с целью выявления потенциально опасных веществ, присутствие которых может представлять угрозу здоровью при длительном контакте материалов с кожей ребенка. Полученные в ходе исследования результаты свидетельствуют о том, что в пределах возможностей примененного метода свинец, мышьяк, кадмий и другие опасные вещества не выявлены, что позволяет рассматривать данные материалы в изготовлении изделий детского назначения.

На четвертом этапе на основании результатов первых двух этапов составлена матрица пакетов, включающая четыре варианта сочетаний материалов верхнего и подкладочного слоев при фиксированном амортизирующем слое

(«Antynea Триплин В-303а»).Для каждого варианта определены показатели воздухопроницаемости, гигроскопичности и паропроницаемости (таблица 1).

Таблица 1 – Значение показателей гигроскопичности, воздухопроницаемости и паропроницаемости подобранных пакетов материалов ортопедического шлема для детей с деформацией черепа

№ пакета*	Гигроскопичность, %	Воздухопроницаемость, дм³/м²·с	Паропроницаемость, г/м²·ч
1	11,55	87	264,2
2	11,72	86	229,6
3	14,02	87	195,0
4	15,09	91	286,2

**пакет 1 – трикотажное полотно «Бифлекс» 190 г/м², комплексный материал «Antynea Триплин В-303а», трикотажное полотно «Меланж» 168 г/м²; пакет 2 – трикотажное полотно «Бифлекс» 220 г/м², комплексный материал «Antynea Триплин В-303а», трикотажное полотно «Меланж» 168 г/м²; пакет 3 – трикотажное полотно «Бифлекс» 190 г/м², комплексный материал «Antynea Триплин В-303а», трикотажное полотно 140 г/м²; пакет 4 – трикотажное полотно «Бифлекс» 220 г/м², комплексный материал «Antynea Триплин В-303а», трикотажное полотно 140 г/м².*

По совокупности гигиенических показателей обоснован выбор пакета № 4, состоящего из трикотажного полотна «Бифлекс» поверхностной плотностью 220 г/м², комплексного материала «Antynea Триплин В-303а» поверхностной плотностью 330 г/м² и хлопкового трикотажного полотна поверхностной плотностью 140 г/м² (рисунок 2). Данный пакет обеспечивает воздухопроницаемость 91 дм³/(м²·с), гигроскопичность 15,1 % и паропроницаемость 286,2 г/(м²·ч), что соответствует требованиям ГОСТ 32119–2024 для изделий первого слоя детского назначения.

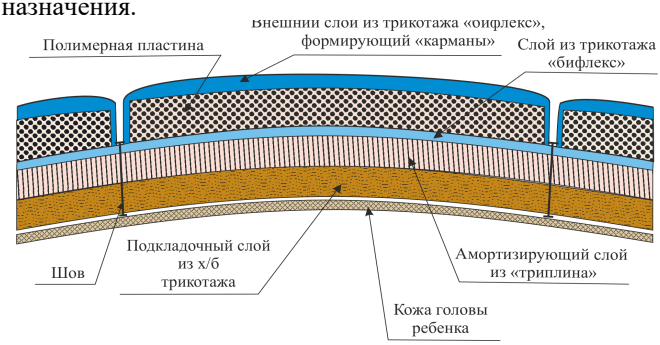


Рисунок 2 – Многослойная структура ортопедического шлема

Для обоснования выбора материала подкладочного слоя проведено трибологическое исследование взаимодействия с моделью кожного покрова методом наклонной плоскости (таблица 2).

Таблица 2 – Расчет средних значений коэффициента силы трения покоя исследуемых образцов материалов, взаимодействующих с моделью кожи головы методом наклонной плоскости

Материал	Среднее значение угла α, град	Среднее значение коэффициента силы трения покоя, tan α
Трикотажное полотно	49	1,17
Материал-аналог «Пластазот»	40	0,9

Установлено, что хлопковое трикотажное полотно кулирного переплетения обладает более высоким коэффициентом силы трения покоя (1,17) по сравнению с промышленным аналогом – вспененным полиэтиленом «Пластазот» (0,90), что обеспечивает устойчивость положения изделия на голове при эксплуатации и обосновывает его применение в качестве контактного слоя конструкции.

В четвертой главе предложены конструктивно-технологические принципы модульного адаптируемого ортопедического шлема (рисунок 3), разработана методика цифрового проектирования, обоснованы конструктивные параметры изделия, изготовлен опытный образец и разработана технология его изготовления.

Конструкция основана на функциональном разделении элементов изделия: многослойная текстильная основа обеспечивает формирование конструкции, фиксацию и регулирование размерных параметров, а сменные полимерные пластины, размещаемые в карманах, формируют локальное корректирующее воздействие. Разработана методика цифрового проектирования, включающая 3D-сканирование, построение параметрической модели головы в программной среде «Blender», локальную коррекцию по верхности и получение плоских разверток в САПР «T-FLEX CAD». Методика обеспечивает переход от индивидуальной пространственной геометрии головы к параметрам конструкции и лекалам текстильной основы (рисунок 4). На основе цифровой модели разработаны два унифицированных комплекта лекал текстильной основы, состоящие из 12 и 9 деталей и обеспечивающие технологическую адаптацию конструкции к индивидуальным параметрам (рисунки 5). В конструкцию интегрированы карманы для размещения сменных полимерных пластин и система регулирования на основе двух застежек «Velcro», позволяющая изменять окружность изделия до 60 мм при коэффициенте регулирования 13,1 %. Разработаны два типоразмера текстильной основы с исходной окружностью 410 и 450 мм.

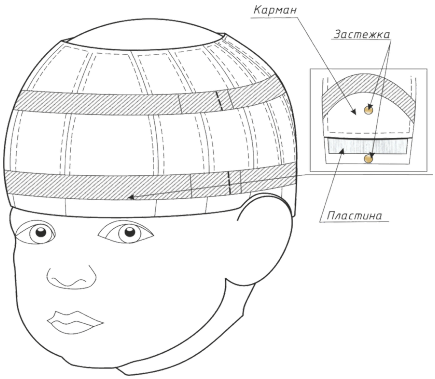


Рисунок 3 – Эскиз конструкции ортопедического шлема из текстильных материалов

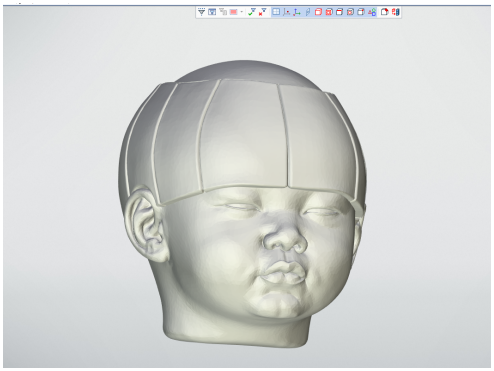


Рисунок 4 – полученная в программе «T-FLEX CAD» конструкция ортопедического шлема

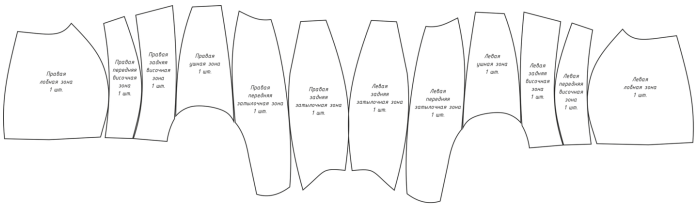


Рисунок 5 – Схема унифицированного комплекта лекал текстильной основы ортопедического шлема для выраженной асимметрии лобной зоны

Для адаптации изделия к изменению антропометрических параметров головы ребенка разработана система регулирования текстильной основы с использованием двух застежек «Velcro». Диапазон изменения окружности составляет до 60 мм, расчетный коэффициент регулирования – 13,1 %. Разработаны два типоразмера текстильной основы: для окружности головы 410 мм и для окружности головы 450 мм. Модульный принцип конструкции предусматривает размещение сменных корректирующих пластин в функциональных участках текстильной основы и позволяет изменять конфигурацию корректирующих элементов без полного изготовления новой основы.

Для обоснования конструктивных параметров разработана зональная расчетная модель контактного давления, учитывающая геометрические параметры, свойства многослойной текстильной основы, площадь контакта, количество и расположение сменных пластин. Модель позволяет определять распределение контактного давления и обосновывать параметры элементов конструкции. Результаты измерения суммарного давления модульного ортопедического шлема по зонам представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Суммарное давление модульного ортопедического шлема по зонам

Зоны головы	Давление ортопедического шлема, мм.рт.ст.
Лобная	24,98
Височная	21,23
Ушная	18,65
Затылок слева	29,10
Затылок справа	20,10

По разработанным конструктивным решениям изготовлен опытный образец модульного адаптируемого ортопедического шлема. Сравнительная экспериментальная оценка с промышленным полимерным аналогом показала снижение массы изделия на 35 % – со 205 до 133 г. Температура внутришлемного пространства в затылочной зоне снизилась на 6 %, относительная влажность – на 28 %, что подтверждает улучшение эксплуатационных характеристик конструкции на текстильной основе.

Разработана технология изготовления модульного адаптируемого ортопедического шлема, включающая 3D-сканирование и цифровое моделирование; изготовление физической модели головы методом 3D-печати; получение лекал и раскрой деталей; сборку многослойной текстильной основы с формированием карманов; получение заготовок сменных пластин; их термоформование при температуре 80±2 °С; установку пластин, окончательную сборку и контроль качества изделия. Последовательность операций формирует единый технологический процесс, объединяющий цифровое проектирование, изготовление текстильной основы и формование сменных корректирующих элементов (рисунок 6).



Рисунок 6 – Схема технологического процесса изготовления модульной адаптируемой конструкции ортопедического шлема

Разработанные конструктивно-технологические решения прошли производственные испытания; технология внедрена в Чебоксарском филиале АО «Московское протезно-ортопедическое предприятие». При расчетном объеме производства 240 изделий в год ожидаемый экономический эффект составляет 2 646 821 руб. в год.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненный комплекс теоретических, экспериментальных, расчетных и проектно-технологических исследований позволил достичь поставленной цели – разработать технологию создания модульного адаптируемого ортопедического шлема для детей с деформацией черепа на основе многослойной текстильной системы и сменных полимерных корректирующих элементов.

1. Анализ современных способов коррекции деформаций черепа у детей раннего возраста показал, что основными ограничениями применяемых изделий являются недостаточный воздухо- и влагообмен, повышенная масса, ограниченные возможности изменения размеров и необходимость повторного изготовления изделия по мере роста головы ребенка. Установлено, что устранение выявленных недостатков возможно за счет разделения функций фиксации и коррекции между регулируемой текстильной основой и локально размещаемыми полимерными элементами.

2. Экспериментально установлено влияние состава и структуры материалов на гигиенические, физико-механические, эксплуатационные и контактные характеристики ортопедического шлема. По совокупности показателей обосновано применение пакета, включающего трикотажное полотно «Бифлекс» поверхностной плотностью 220 г/м², комплексный материал «Antynea Триплин В-303а» поверхностной плотностью 330 г/м² и хлопковое трикотажное полотно поверхностной плотностью 140 г/м². Воздухопроницаемость пакета составила 91 дм³/(м²·с), гигроскопичность – 15,1 %, паропроницаемость – 286,2 г/(м²·ч).

3. На основании результатов 3D-сканирования установлены параметры, необходимые для построения цифровой модели целевой формы головы и

получения разверток текстильной основы. Сформированы два унифицированных комплекта лекал: из 12 деталей – для деформаций с выраженной фронтальной асимметрией и из 9 деталей – для деформаций с преимущественной коррекцией затылочной области. Расчетный диапазон регулирования окружности конструкции составил 60 мм без изменения положения корректирующих пластин.

4. Расчет контактного взаимодействия показал, что давление, создаваемое текстильной основой, определяется напряжением многослойного пакета, его толщиной и локальным радиусом кривизны поверхности головы. Сменные полимерные пластины обеспечивают дополнительное перераспределение нагрузки между зонами коррекции, опоры и разгрузки. Расчетные значения суммарного контактного давления составили от 18,65 до 29,10 мм рт. ст.; наибольшее воздействие сформировано в зоне активной коррекции, а в разгрузочных областях давление снижено. Полученные значения не превышают принятого в работе ориентировочного предела 32 мм рт. ст.

5. Изготовлен опытный образец модульного адаптируемого ортопедического шлема и выполнена его экспериментальная оценка, показывающая снижение массы изделия на 35 %, снижение температуры в затылочной зоне головы на 6% и уменьшение относительной влажности воздуха на 28%, что свидетельствует об улучшении гигиенических характеристик изделия.

6. На основании установленных конструктивных, материаловедческих и расчетных параметров определена последовательность изготовления модульного адаптируемого ортопедического шлема, объединяющая 3D-сканирование головы ребенка, формирование целевой цифровой модели, получение лекал текстильной основы, изготовление оболочки, термоформование сменных пластин, сборку, регулирование и контроль качества изделия. Производственная апробация в Чебоксарском филиале АО «Московское протезно-ортопедическое предприятие» подтвердила реализуемость разработанной технологии. При выпуске 240 изделий в год расчетная чистая прибыль составляет 2 646 821 руб., рентабельность производства – 22 %.

Совокупность полученных результатов подтверждает возможность создания регулируемого ортопедического шлема с многослойными текстильными основами, обеспечивающего требуемое зональное воздействие, снижение массы и более благоприятные температурно-влажностные условия эксплуатации. Разработанные подходы могут быть использованы при проектировании других ортопедических изделий, сочетающих текстильные и полимерные элементы.

Основные результаты работы изложены в следующих публикациях:

Статьи, опубликованные в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК РФ:

1. **Абдуллаева, А.С.** Исследование физико-механических свойств полимерных текстильных материалов краниокорректора для детей с деформацией черепа / **А.С. Абдуллаева**, Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская, Р.Р. Хасаншин // Костюмология. – 2025. – Т.10. – №1. – URL: https://kostumologiya.ru/PDF/11TLKL125.pdf.

2. **Абдуллаева, А.С.** Оценка коэффициента трения материалов внутреннего слоя краниокорректора для коррекции деформации черепа с использованием модели кожного покрова головы человека / **А.С. Абдуллаева**, Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская // Костюмология. – 2026. – Т.11. – №2. – URL: https://kostumologiya.ru/PDF/24TLKL226.pdf.

3. **Абдуллаева, А.С.** Исследование показателей воздухопроницаемости и гигроскопичности материалов краниокорректора для детей с деформацией черепа / **А.С.**

Абдуллаева, Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская // Технологии и качество. – 2026. – №3(73). – С. 12–17.

Публикации в научных журналах, индексируемых в базе данных Scopus / Web of Science:

4. **Абдуллаева, А.С.** Современные функциональные материалы, применяемые в изготовлении краниокорректоров для детей с деформацией черепа / **А.С. Абдуллаева**, Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. – 2026. – № 4 (424). – С. 5–15.

Статьи в сборниках научных трудов и материалов конференций:

5. **Бутенкова (Абдуллаева), А.С.** История разработки устройств для коррекции формы головы человека / **А.С. Бутенкова (Абдуллаева)**, Т.В. Жуковская, Н.В. Тихонова // ИТ. Наука. Креатив. Материалы I Международного форума: в 5-ти томах. Т.4. Молодежь. Наука. Творчество, Омск, 14–16 мая 2024 года. – Москва: Общество с ограниченной ответственностью «Издательско-книготорговый центр «Колос-с». – 2024. – С. 166–170.

6. **Бутенкова (Абдуллаева), А.С.** Анализ развития способов коррекции формы головы у детей с различными деформациями / **А.С. Бутенкова (Абдуллаева)**, Т.В. Жуковская, Н.В. Тихонова // Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности: материалы II Всероссийской конференции ученых, аспирантов и студентов с международным участием (Казань, 22–25 апреля 2024 г.); Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань : Изд-во КНИТУ. – 2024. – С. 129–133.

7. **Бутенкова (Абдуллаева), А.С.** Особенности разработки послеоперационных шлемов из текстильных материалов / **А.С. Бутенкова (Абдуллаева)**, Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская // Жить в XXI веке – 2024: Сборник конкурсных работ на лучшую научно–исследовательскую работу студентов и аспирантов КНИТУ. – Красноярск: Научно-инновационный центр. – 2024. – С. 540–544.

8. **Абдуллаева, А.С.** Развитие ассортимента материалов для ортопедических изделий / **А.С. Абдуллаева**, Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская // Жить в XXI веке – 2025: конкурсные работы на лучшую научно-исследовательскую работу студентов и аспирантов КНИТУ, Казань, 17 января 2025 года. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет. – 2025. – С. 478–481.

9. **Абдуллаева, А.С.** Анализ композиционных материалов корректирующего шлема для детей с деформациями черепа / **А.С. Абдуллаева**, Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская // Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий (Материаловедение – 2025): материалы III Всероссийской конференции с международным участием (Казань, 27–28 марта 2025 г.); Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ. – 2025. – С. 92–96.

10. **Абдуллаева, А.С.** Достоинства и недостатки образцов краниокорректора, представленных на российском рынке / **А.С. Абдуллаева**, Т.В. Жуковская, Н.В. Тихонова // ИТ. Наука. Креатив: Материалы II Международного форума. В 5-ти томах, Омск, 13–15 мая 2025 года. Том 4. Молодежь. Наука. Творчество. – Омск: Омский государственный технический университет. – 2025. – С. 198–203.

11. **Абдуллаева, А.С.** Методика разработки современных краниокорректоров из полимерных материалов / **А.С. Абдуллаева**, Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская // Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности : материалы III Всероссийской конференции ученых, аспирантов и студентов с международным участием (Казань, 22–25 апреля 2025 г.); Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ. – 2025. – С. 159–164.

12. **Абдуллаева, А.С.** Исследование трикотажных материалов для разработки краниокорректоров/ **А.С. Абдуллаева**, Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская // Новые технологии и

материалы легкой промышленности: материалы XXI Всероссийской научно-практической конференции для студентов и молодых ученых с международным участием (Казань, 15–16 мая 2025 г.); Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ. – 2025. – С. 159–162.

13. **Абдуллаева, А.С.** Анализ текстильных материалов различной эластичности: сравнительная характеристика спортивного «бифлекса» и компрессионного трикотажа / **А.С. Абдуллаева**, Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская // Жить в XXI веке – 2026: Сборник конкурсных работ на лучшую научно-исследовательскую работу студентов и аспирантов КНИТУ. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет. – 2026. – С. 433–437.

14. **Абдуллаева, А.С.** Трибологические аспекты контакта краниокорректора и кожи головы ребенка / **А.С. Абдуллаева**, Т.В. Жуковская, Н.В. Тихонова // Научные исследования и разработки в области дизайна и технологий: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Кострома, 25–27 марта 2026 года. – Кострома: Костромской государственный университет. – 2026. – С. 670–672.

15. **Абдуллаева, А.С.** Исследование показателя растяжимости трикотажных полотен, используемых в проектировании краниокорректора для детей с деформацией черепа / **А.С. Абдуллаева**, Т.В. Жуковская, Н.В. Тихонова // ИТ. Наука. Креатив: Материалы III Международного форума. В 5-ти томах, Омск, 12–14 мая 2026 года. Том 4. Молодежь. Наука. Творчество. – Омск: Омский государственный технический университет. – 2026. С. 183–187.

16. **Абдуллаева, А.С.** Оценка трибологических параметров взаимодействия текстильных материалов с кожей ребенка в конструкции краниокорректора **/ А.С. Абдуллаева**, Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская // Новации в процессах проектирования и производства изделий легкой промышленности: материалы IV Всероссийской конференции ученых, аспирантов и студентов с международным участием (Казань, 21–24 апреля 2026 г .); Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ. – 2026. – С. 278–284.

17. **Абдуллаева, А.С.** Исследование физико-механических характеристик текстильного материала для разработки гибридной конструкций краниокорректора / **А.С. Абдуллаева**, Н.В. Тихонова, Т.В. Жуковская // Новые технологии и материалы легкой промышленности: материалы XXII Всероссийской научно-практической конференции для студентов и молодых ученых с международным участием (Казань, 14–15 мая 2026 г.); Минобрнауки России; Казан. нац. исслед. технол. ун-т. – Казань: Изд-во КНИТУ. – 2026. – С. 123–127.

Патент:

18. Патент № 2835355, Российская Федерация, МПК A61F 5/01 Краниокорректор для детей грудного возраста: № 2024122325: заявл. 06.08.2024: опубл. 25.02.2025 / Тихонова Н.В., Жуковская Т.В., **Бутенкова (Абдуллаева) А.С.** – 9 с.

Заказ Тираж 100 экз.

Офсетная лаборатория КНИТУ 420015 г. Казань, ул. К. Маркса, 68