

Научный журнал «Костюмология» / Journal of Clothing Science <https://kostumologiya.ru>

2024, Том 9, № 2 / 2024, Vol. 9, Iss. 2 <https://kostumologiya.ru/issue-2-2024.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/16TLKL224.pdf>

2.6.16. Технология производства изделий текстильной и легкой промышленности (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Ковалева, А. А. Разработка структуры и тестирование динамического эффекта формы пакетов материалов для теплозащитной одежды / А. А. Ковалева, И. В. Черунова, Ф. Д. Тагиев // Костюмология. — 2024. — Т. 9. — № 2. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/16TLKL224.pdf>

For citation:

Kovaleva A.A., Cherunova I.V., Tagiev F.D. Development of the structure and testing of the dynamic effect of the shape of packages of materials for thermal protective clothing. *Journal of Clothing Science*. 2024;9(2): 16TLKL224. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/16TLKL224.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.)

УДК 687.174; 687.076

Ковалева Алена Александровна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Шахты, Россия
Аспирант

E-mail: andra_p@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=832036

Черунова Ирина Викторовна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Шахты, Россия
ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», Ростов-на-Дону, Россия
Профессор

Доктор технических наук, профессор

E-mail: i_sch@mail.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=473558

Тагиев Фарид Джейхун оглы

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», Шахты, Россия
Аспирант

E-mail: el_s@list.ru

Разработка структуры и тестирование динамического эффекта формы пакетов материалов для теплозащитной одежды

Аннотация. В статье представлена разработанная новая структура пакета материалов теплозащитной одежды, с применением деталей из материалов с памятью формы. Систематизированы особенности конструкций пакетов материалов для одежды специального, бытового, спортивного назначения и разработана матрица типизации материалов для каждого компонента теплоизоляционного пакета с функцией динамической формы, на основе которой определён состав необходимого пакета материалов. Он включает утеплитель только несвязной структуры, замкнутый в секционную конструкцию двуслойной оболочки из подкладочной ткани с включением ограничительных деталей из текстильных лент. Данная конструкция пакета проработана в двух вариантах в зависимости от области применения и соответствующих тканей верха. Исходя из разработанных структурных вариантов пакетов материалов были изготовлены соответствующие тестовые образцы с применением двух тканей верха. Интегрированные в образцы детали из материалов с памятью формы, изготовлены из функционального сплава NiTi и подвергнуты процессу термомеханической тренировки с

приданием заданной формы деталям, активизируемой как отклик на заданную температуру внешнего воздействия. Разработанная структура пакета материалов была экспериментально протестирована в условиях целевого теплового режима. Установлены искомые эффекты динамики формы как для функциональных деталей пакета из материалов с памятью формы, так и эффекты влияния таких деталей на объёмные характеристики пакетов материалов теплозащитной одежды. Полученные эффекты подтвердили достижение активного угла изгиба функциональных деталей из материалов с памятью формы, которые управляют формой пакетов материалов, а также подтверждён эффект общего увеличения толщины пакета теплоизоляционной оболочки, что позволило доказать эффективность предложенного способа в развитии технологий повышения термического комфорта человека в условиях переменных тепловых воздействий средствами высокотехнологичной теплозащитной одежды.

Ключевые слова: теплозащитная одежда; пакет материалов; материалы с памятью формы; динамическая форма; толщина одежды; теплоизоляция; свойства одежды; свойства материалов

Введение

Современные тренды в развитии социально-экономических систем во многих странах мира ориентированы на активизацию освоения территорий и их ресурсов в регионах с суровым природным климатом. Ведущая роль в этом направлении принадлежит России, что отражено в соответствующих положениях Государственной программы «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации».¹ Программы освоения таких территорий неотрывно связаны с формированием специфических биотехнических систем, в которых человек должен жить и работать. Суровые условия холода на Севере нашей страны характерны не только в пределах официальной локации Арктической зоны, но и во многих других значительных по площади холодных регионах Сибири, Дальнего Востока и др. Одним из критически важных и опасных для человека факторов такой системы является низкая температура окружающей среды, зачастую существенно выходящая за пределы биологически комфортных норм.

Основную защиту человека от холода обеспечивает теплозащитная одежда, которая основана, в первую очередь, на базовой функции теплоизоляции человека от охлаждающего теплового потока [1].

Такая теплоизоляция проектируется в одежде в зависимости от ожидаемой усреднённой температуры воздуха с учётом усреднённого ожидаемого потока ветра. Основной принцип расчёта теплоизоляции одежды определяется именно «усреднённостью» ожидаемых климатических параметров среды, в которой одежда будет применяться. Однако фактические обстоятельства и реальные климатические условия жизнедеятельности человека в холодный период часто отличаются от теоретически прогнозируемых. Это связано, с одной стороны, особенностями трендов изменения климата, который вносит определённые поправки в погоду и её параметры на разных территориях. Если в январе средняя температура воздуха в Арктическом регионе за последние годы установилась порядка -22°C^2 , то холодный сезон

¹ Государственная программа Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Арктической зоны Российской Федерации» [Электронный ресурс] // Информационный портал. — Режим доступа. URL: <http://static.government.ru/media/acts/files/1202104020037.pdf> (дата обращения: 10.05.2024).

² Какой климат и погода в Арктике по месяцам [Электронный ресурс] // Информационный портал. — Режим доступа. URL: <https://polartravelclub.ru/info-for-travelers/articles/klimat-arktiki/> (дата обращения: 10.05.2024).

2023–2024 года показал определённые аномалии как в отрицательную сторону (до 3°C), так и в положительную (более 4°C).³

Такой режим для соответствующих регионов уже не является средней прогнозируемой температурой. Это значит, что в проектировании теплоизоляции одежды не учитывается фактическая тепловая ситуация окружающей среды.

Объясняется данная ситуация тем, что опорой для установления проектируемых параметров одежды служат соответствующие ранее утверждённые средние нормы и стандарты, устанавливаемые в зависимости от ранее установленных средних климатических условий эксплуатации.⁴

Кроме того, следует отметить ещё один важный тренд климата, который приводит к изменению не только средних значений температуры окружающей среды, но и к существенным её перепадам в течение короткого промежутка времени. Это явление ещё более остро формирует риски несоответствия фактической теплоизоляции одежды тем условиям охлаждения, которые сопровождают человека в период применения одной и той же одежды. Такие условия характерны не только для исключительно зимних месяцев года, но и для других сезонов и регионов, когда температура окружающей среды остаётся близкой к зимнему периоду. К примеру, в Ямало-Ненецком округе весной (12 апреля 2024 года) перепад температуры воздуха в течение 1 суток составил порядка 18°C.⁵ Такой большой температурный градиент приводит к тому, что реальная температура воздуха при эксплуатации одежды значительно выходит за пределы той, которая положена в основу её проектирования.

Таким образом, формируются условия, которые требуют в течение суток обеспечить человека теплозащитной одеждой с возможностью менять её теплоизоляционный эффект. Это необходимо для формирования возможности перемены теплоизоляционных свойств одежды в течение непрерывного времени суток для адаптации человека к фактическим тепловым условиям климата. Фактически таких результатов, как правило, можно достичь, с одной стороны, за счёт применения в теплозащитной одежде встроенных компонент с нагревательными функциями. Это могут быть варианты швейных изделий с нагревательным текстилем или другими источниками искусственного обогрева в пакетах материалов [2; 3]. При таком варианте решения проблемы для достаточной теплоизоляции одежды требуется доступный источник энергии, что в условиях мобильности человека вносит определённые ограничения в систему эксплуатации швейных изделий и надёжность их теплозащиты в любой момент времени и обстоятельств.

С другой стороны, способом достижения обозначенного теплоизоляционного эффекта может быть применение комплекта одежды, состоящего из нескольких слоёв (изделий) с различным уровнем теплоизоляции [4; 5]. Путём комбинации входящих в комплект изделий с помощью их перекombинации в фактическом комплекте можно менять общую теплоизоляцию одежды в случае снижения или повышения температуры окружающей среды на величину, превышающую интервал расчётного безразличия.⁴ Однако такое решение требует значительной материалоёмкости в реализации комплекта теплозащитной одежды, а также специальных организационных действий для своевременной рекомбинации изделий в

³ Северо-Евразийский Климатический Центр. Холодный сезон 2023–2024 гг. (ноябрь 2023 — март 2024) РФ [Электронный ресурс] // Информационный портал. — Режим доступа. URL: https://seakc.meteoinfo.ru/images/media/images-seakc/seakc/monitoring/rf_c_2023-2024.pdf. (дата обращения: 10.05.2024).

⁴ ГОСТ 12.4.303-2016 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от пониженных температур. Технические требования. — введ. 01.07.2019 — М.: Стандартинформ, 2019. — 39 с.

⁵ Погода в Муравленко [Электронный ресурс] // Информационный портал. — Режим доступа. URL: <https://ru-meteo.ru/muravlenko/hour> (дата обращения: 12.04.2024).

комплекте. Подобные решения требуют увеличенного по составу ассортимента одежды для одного и того же сезонного периода, что увеличивает стоимость проектных решений и общую стоимость необходимой и эффективной для жизнедеятельности теплозащитной одежды.

Важно и то, что принудительная смена комплектации одежды в момент переходной фазы тепловых условий климата в течение суток приводит к необходимости остановки действующего технологического процесса и процесса других действий и их корректировки с дополнительными паузами и релокацией к месту хранения изделий комплекта одежды.

Для преодоления представленных ограничений существующих функций теплозащитной одежды и создания дополнительных возможностей одежды в формировании тепловой безопасности и комфорта человека на основе представленных аргументов и описанных условий разработана функционально-логическая схема, которая позволила сформулировать актуальную функциональность теплозащитной одежды с учётом фактического перепада температур окружающей охлаждающей среды (рис. 1).



Рисунок 1. Логическая схема формирования функциональности пакетов материалов теплозащитной одежды с учётом градиента температур окружающей охлаждающей среды (рисунок авторов)

Разработанная логическая схема формирования функциональности пакетов материалов теплозащитной одежды с учётом градиента температур окружающей охлаждающей среды позволила предложить актуальный способ за счёт формирования эффективной толщины теплозащитной одежды с динамическими свойствами формы пакетов материалов. Такие динамические свойства формы пакетов многослойной оболочки одежды могут быть получены за счёт свойств специальных материалов с памятью формы [6].

Таким образом, целью работы является создание способа формирования структуры и тестирование динамического эффекта формы пакета материалов оболочки одежды для защиты от холода, достигаемого за счёт термомеханических свойств деталей из материалов с памятью формы.

Методы и материалы

Для разработки пакетов материалов теплозащитной одежды, обладающих динамически меняющейся формой и, соответственно, толщиной, предложен способ интегрирования деталей из *материалов с памятью формы (МПФ)* в конструкцию многослойного пакета. Такое решение позволит обеспечивать фактически требуемую теплоизоляцию одежды за счёт изменения толщины утепляющего слоя в ответ на быстрое изменение температуры охлаждения окружающей среды.

В современных технологиях функциональной одежды материалы с памятью формы имеют применение для создания различных формообразующих эффектов.

В дизайне одежды материалы с подобным эффектом позволяют создавать различные рельефные поверхности за счёт направленной подачи тепла (порядка $+50^{\circ}\text{C}$) к участку встроенных нитей из материалов с памятью формы через устройства электрического энергоснабжения и текстильных теплопроводных нитей в структуре полотна. В этом случае рельеф поверхности одежды принудительно деформируется за счёт свойств МПФ, обеспечивая уникальные визуальные эффекты в общей дизайнерской концепции одежды [7]. Однако формирование рельефных поверхностей текстиля, имеющих в значительной части непараметризованные характеристики изгибов отдельных фрагментов материала, несёт в себе полезные эффекты именно в общем дизайне одежды, но не обеспечивает тем самым управляемый эффект обеспечения эффективной толщины теплозащитной одежды.

Для поставленной задачи настоящей работы влияние свойств материалов с памятью формы актуально в части воздействия не на общий визуально воспринимаемый рельеф, а на теплофизические свойства оболочки одежды. С этой точки зрения существуют полезные исследования и решения, связанные с применением в оболочке одежды свойств материалов с памяти формы. К примеру, в работе [8] предложено использовать МПФ для сокращения объёма пододёжного пространства при повышении температуры под одеждой. Такой приём позволяет формировать функции саморегуляции температуры в этой зоне для ассортимента изделий преимущественно спортивного назначения.

Однако для формирования необходимой теплоизоляции одежды в условиях холода требуется альтернативный эффект управления не объёмом пододёжного пространства, а внутренним объёмом теплоизоляционных пакетов материалов путём увеличения их толщины в ответ на термическое охлаждение.

Этот эффект предлагается достичь за счёт фазового изменения формы интегрированных в пакет материалов оболочки одежды деталей из МПФ, температура активации которых формируется за счёт непосредственного внешнего воздействия температуры климата (рис. 2).

Деталь из МПФ, встроенная в конструкцию пакета материалов теплозащитной одежды, представляет собой мягкий стержень ограниченной длины установленного диаметра. Свойства такой детали определяются типом химического состава функционального материала и термомеханическими условиями процесса формирования непосредственного эффекта памяти формы для требуемой температуры активации

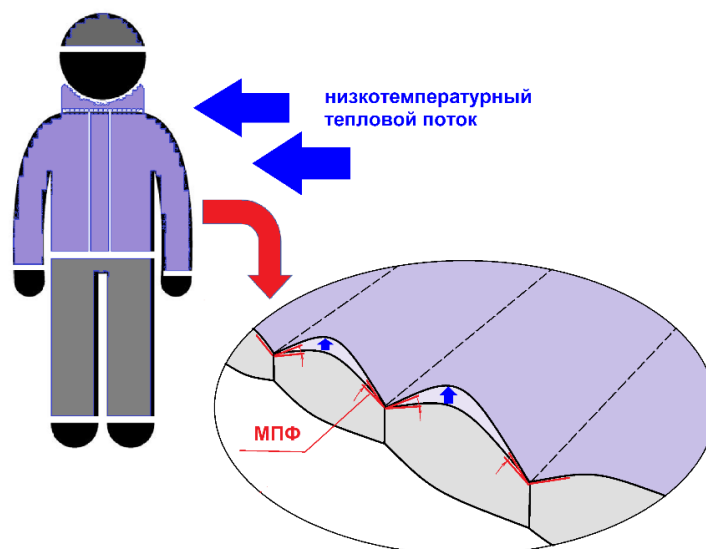


Рисунок 2. Принцип формирования динамической толщины теплоизоляционного пакета материалов защитной одежды от холода с деталями из материалов с памятью формы (рисунок авторов)

Выделяются несколько типов сплавов с эффектом памяти формы (ЭПФ): Cu-Zn-Al-Ni, Cu-Al-Ni, NiTi, Ni-Mn-Ga, Ni-Ti-Hf/Zr и другие, соотношение и получение компонент которых приводят к проявлению различных фазовых состояний [9]. С учетом многофакторных особенностей различных сплавов с памятью формы, процессов их технологической обработки и термической тренировки, а также с учетом чувствительности к важному для одежды уровню термических воздействий климата для дальнейших исследований был выбран и использован функциональный материал на основе бинарного сплава NiTi [10; 11]. Для применения в пакете теплозащитной одежды такой материал имеет преимущества, так как обладает термопластичностью, способностью сохранять форму, установленную в «памяти структуры материала» с последующим возвращением к исходному геометрическому состоянию при возврате в исходные тепловые условия. Такое «поведение» материала на основе сплава NiTi основано на мартенситном превращении структуры при наличии внешнего напряжения, когда происходит специфический сдвиговой механизм деформации за счёт движения межфазных границ. В этом случае перепад температуры с сохранением постоянной нагрузки становится условием, при котором происходит сдвиг уже на макроскопическом уровне, что и приводит к изменению формы образца материала [12].

В соответствии с предложенной концепцией деталь из МПФ интегрирована в пакет текстильных материалов теплозащитной одежды, который представляет собой многослойную структуру (систему материалов), определяемую двумя основными переменными признаками:

1. А — способ формирования общей оболочки:
 - А.1 — послойное (плоскопараллельное) формирование толщины оболочки;
 - А.2 — комбинированное формирование толщины оболочки, которая в общем объёме изделия представляет собой условно плоский слой с неоднородными (секционными) компонентами внутреннего объёма.

2. В — ограничительные компоненты конструкции пакетов материалов оболочки одежды:
- В.1 — сквозные ниточные швы;
 - В.2 — текстильные перегородки (секционные ограничители пакетов материалов).

Каждый из представленных признаков структуры пакета материалов теплозащитной одежды в различных комбинациях имеет потенциальное соответствие или несоответствие для реализации предложенного способа получения оболочки одежды с динамическими свойствами формы.

Основным критерием для выявления такого соответствия является «способность» или «неспособность» материала к релокации собственных структурных компонент с заполнением дополнительного внутреннего объёма пакета при сохранении исходной массы материалов. В соответствии с данным критерием были изучены и систематизированы типы материалов, применяемых в производстве теплозащитной одежды.

В таблице 1 представлен анализ соответствия вариантов материалов теплозащитной одежды требуемым условиям формирования динамической формы пакетов из них.

Таблица 1

Матрица формирования структуры (системы) теплоизоляционного пакета материалов с функцией динамической формы

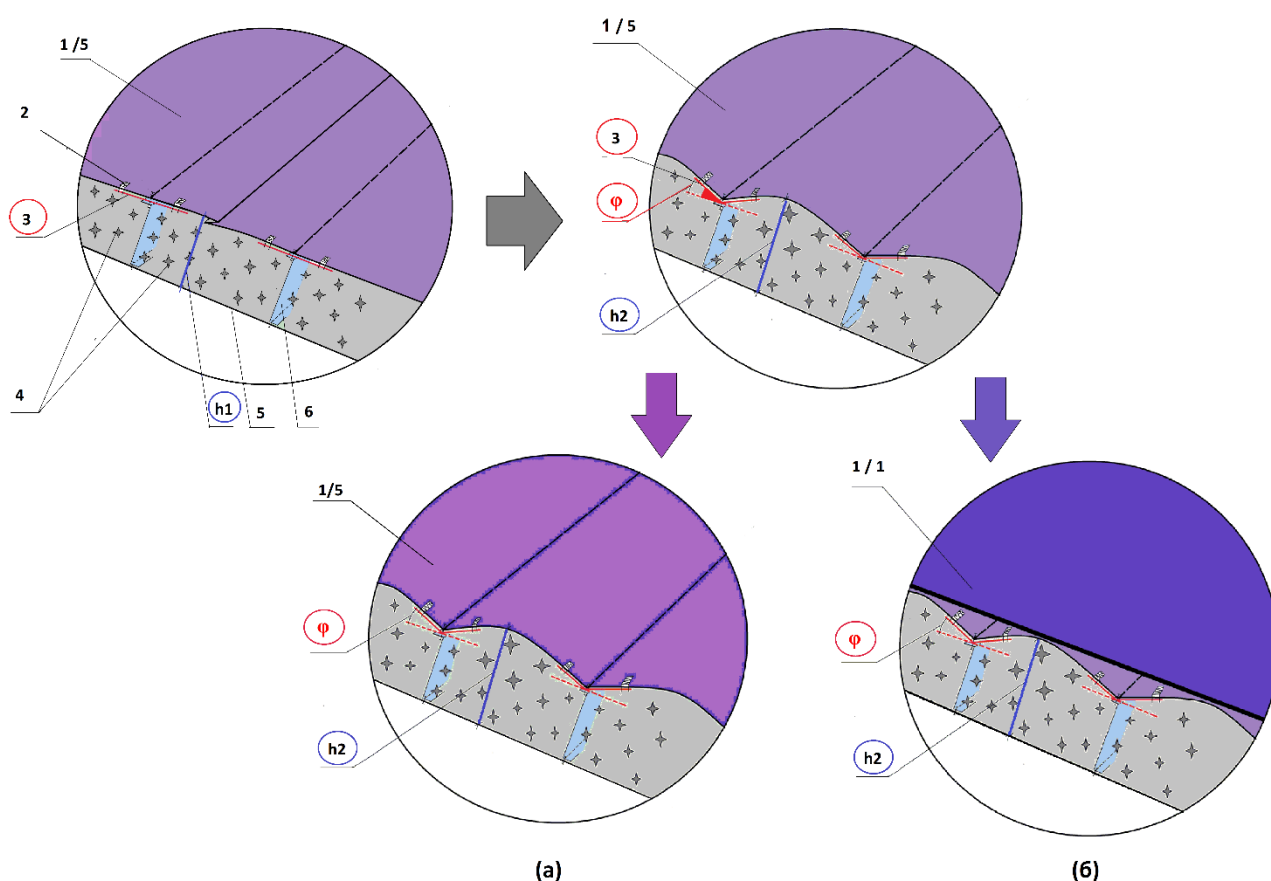
№ пп	Вид материалов для одежды	Функция (назначение) в одежде	Ассортимент одежды	Тип структуры	Признаки многослойной структуры (системы материалов) пакета				Способность (+) / Неспособность (-) материала к динамическому изменению структурных компонент и общего объёма заполнения (при сохранении исходной массы)
					А		В		
					A.1	A.2	B.1	B.2	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Ткань верха курточная (в т. ч. аналоги)	Внешний покровный слой	Теплозащитная одежда (бытовая, спортивная)	Тканая	+	+	+	+	-
2	Ткань верха с защитными свойствами	Внешний покровный слой	Теплозащитная спецодежда	Тканая	+	+	-	-	-
3	Утеплитель (волокнистое полотно)	Внутренний теплоизоляционный слой	Теплозащитная одежда (бытовая, спортивная)	Нетканая / связная	+	-	+	-	-
			Теплозащитная спецодежда		+	-	-	-	-
4	Утеплитель (волокнистый наполнитель)	Внутренний покровный слой одежды	Теплозащитная одежда (бытовая, спортивная, спецодежда)	Нетканая / несвязная	-	+	-	+	+
5	Подкладочная ткань (эксплуатационная)			Тканая	+	+	+	-	-
6	Подкладочная ткань (эксплуатационно-технологическая)			Формообразование замкнутых пакетов	Тканая	+	+	+	+
7	Текстильная лента (секционные ограничители)	утепляющей подкладки	Теплозащитная одежда (бытовая, спортивная, спецодежда)	Тканая / Нетканая	-	+	-	+	-

Разработано авторами

Анализ систематизированных данных об особенностях и возможностях применения различных видов текстильных материалов одежды показал, что материалом, который способен к динамическому изменению компонент собственной структуры и, соответственно, к

изменению общего объёма заполнения (при сохранении исходной массы материала), является только нетканый утеплитель несвязной структуры (табл. 1, столбец 10). Согласно представленной в таблице 1 матрице, такой вид утеплителя характеризуется признаками структуры пакета материалов теплозащитной одежды: по способу формирования общей оболочки такой утеплитель позволяет обеспечить комбинированное формирование её толщины с неоднородными (секционными) компонентами внутреннего объёма (табл. 1, столбец 7). В этом случае ограничительные компоненты конструкции пакетов материалов оболочки одежды обеспечиваются текстильными перегородками (табл. 1, столбец 9).

Исходя из обозначенных признаков, выбранный вариант утеплителя не имеет изначально фиксированного объёма при ограниченной массе и требует его фиксации с помощью покровных слоёв материалов. Для одежды бытового и спортивного назначения допускаются ткани верха курточные или аналоги (табл. 1, столбец 7 в строке 1), которые могут быть применены напрямую в создании секционных ограничителей объёма утепляющей подкладки.



1 — ткань верха (внешняя покровная), в том числе: 1/1 — ткань верха с защитными свойствами, 1/5 — ткань верха курточная / подкладочная / пуходержащая (многофункциональная); 2 — закрепка ниточная (машинная); 3 — деталь из МПФ (NiTi); 4 — утеплитель нетканый несвязной структуры; 5 — ткань подкладочная (внутренняя покровная), в том числе: 1/5 — ткань верха курточная / подкладочная-технологическая / пуходержащая (многофункциональная); 6 — секционные ограничители из текстильной ленты; h1 и h2 — толщина теплоизоляционного пакета (соответственно) «до» и «после» фазового изменения формы детали из МПФ при целевом уровне охлаждения; φ — угол фактического сгиба детали с МПФ внутри теплоизоляционного пакета при фазовом изменении формы

Рисунок 3. Структура теплоизоляционных пакетов материалов с динамическими свойствами формы для теплозащитной одежды бытового, спортивного и специального назначения (рисунок авторов)

Таблица 2

**Характеристики тестовых образцов пакетов материалов
теплозащитной спецодежды и условий их экспериментального тестирования**

Характеристики тестовых образцов				
Структурный компонент пакета материалов (нумерация в соответствии с рис. 3)	Характеристика/параметр	Ед. изм.	Образец 1	Образец 2
1	2	3	4	5
1/1	Наименование ткани верха	—	Премьер Комфорт 250а ⁶	Грета М ⁷
1/1	Волокнистый состав	%	ХЛ-80, ПЭ-20	ХЛ-51, ПЭ-49
1/1	Поверхностная плотность	г/м кв.	255,0	212,0
4	Наименование утеплителя	—	Синтепух ⁸	
4	Волокнистый состав	%	100 ПЭ	
5	Наименование подкладочного материала	—	Ткань подкладочная БАРЬЕР 290 ⁹	
5	Волокнистый состав	%	100 ПЭ	
5	Поверхностная плотность	г/м кв.	60,0	
6	Наименование материала секционного ограничителя	—	Текстильная лента	
6	Волокнистый состав	%	100 ПЭ	
6	Поверхностная плотность	г/м кв.	115,0	
6	Ширина в конструкции пакета материалов	мм	20,0	
2	Нитки швейные (артикул)	—	40 лх	
2	Длина ниточной закрепки	мм	5,0	
2	Ширина ниточной закрепки	мм	3,0	
3	Функциональный сплав детали из МПФ	—	Ni (50,5 %), Ni (49,5 %)	
3	Объемная плотность сплава	г/см куб.	6,45	
3	Относительное удлинение	%	11,2	
3	Температурные параметры мартенситного перехода	°С	M _s = -20°С, M _f = -5°С	
3	Диаметр	мм	0,5	
3	Длина	мм	20,0	
3	Угол исходный (заданная форма при начальной температуре воздуха)	град.	180,0	
3	Угол заданного изгиба (полученная при тренировке форма для целевой температуры охлаждения)	град.	20,0; 30,0 ; 60,0; 70,0	
Готовый образец	Длина (исходная)	м	0,2	
	Ширина (исходная)	м	0,16	
Характеристики процесса охлаждения				
Готовый образец	Начальная температура воздуха	°С	+20,0	
	Целевая температура охлаждения	°С	-12,0	
	Время охлаждения	сек.	60	
Характеристики тестового контроля				
3 (деталь из МПФ)	Угол фактического изгиба (полученная форма при целевой температуре охлаждения)	град.	φ1	φ2
Готовый образец	Толщина	м	h1	h2

Разработано авторами

⁶ Премьер-комфорт 250А [Электронный ресурс] // Информационный портал. — Режим доступа. URL: <https://textile.ru/products/speccloth/tec/250ak> (дата обращения: 10.05.2024).

⁷ Ткань антистатическая ГРЕТА-М [Электронный ресурс] // Информационный портал. — Режим доступа. URL: <https://www.beltextil.ru/catalog/8s60-kvkglnmvo-usn-230601> (дата обращения: 10.05.2024).

⁸ Наполнитель «Синтепух» [Электронный ресурс] // Информационный портал. — Режим доступа. URL: <https://www.roshimvolokno.ru/sintepux.php> (дата обращения: 10.05.2024).

⁹ Подкладочная / ткань ветрозащитная, пуходержащая Барьер [Электронный ресурс] // Информационный портал. — Режим доступа. URL: https://balttex.ru/catalog/tkan_vetrozashchitnaya_pukhoderzhashchaya_barer_tsv_belyy/?oid=7513 (дата обращения: 10.05.2024).

В отличие от такой структуры для одежды специального назначения при применении в качестве тканей верха специальных защитных тканей секционная структура пакетов материалов напрямую с подобными тканями верха не может быть использована.

В этом случае для покрытия секций утепляющей подкладки с обеих сторон требуются специальные покровные подкладочно-технологические ткани (то есть, выполняющими функцию общей подкладки изделия и функцию защиты от миграции несвязных элементарных волокон утеплителя одновременно), что отражено в представленной матрице (табл. 1, столбцы 7 и 9 в строке 6). Секционную структуру утепляющей подкладки изделия обеспечивают специальные секционные ограничители из текстильной ленты (табл. 1, столбцы 7 и 9 в строке 7).

Таким образом, интегрирование формообразующих деталей из материалов с памятью формы (сплав NiTi) предусмотрено в структуру теплоизоляционных пакетов двух вариантов (по назначению) в соответствии с рисунком 3, где (3-а) — пакет материалов с динамическими свойствами формы для одежды спортивного и бытового назначения, (3-б) — аналогичный по функциям пакет материалов для одежды специального назначения (спецодежды).

Разработанные варианты структуры теплоизоляционных пакетов с материалами с памятью формы для теплозащитной одежды представлены на рисунке 3.

Наиболее сложную структуру имеет пакет материалов для теплозащитной спецодежды, в котором ткань верха — это самостоятельный верхний покровный слой из ткани с защитными свойствами. Под ним располагаются слои верхнего и нижнего покровного слоя из ткани подкладочной-технологической, определяемой по свойствам в зависимости от выбранного несвязного утеплителя.

На примере такого наиболее сложного многокомпонентного пакета материалов с целью тестирования разработанного способа и достигаемого динамического эффекта формы на основе разработанных вариантов структуры изготовлены образцы пакетов, изготовленных из современных текстильных материалов для одежды специального назначения.

Характеристики тестовых образцов пакетов материалов теплозащитной спецодежды и условия экспериментальных исследований представлены в таблице 2.

Угол заданного изгиба детали из МПФ (желанная форма детали при целевой температуре охлаждения) сформирована в соответствии с методикой термического обжига с многоцикловой термомеханической тренировкой [13] для обозначенных в таблице 2 рабочих температур.

Результаты

Результаты экспериментального тестирования динамического эффекта деталей из МПФ под естественным воздействием массы покровных слоёв тканей в соответствии с особенностями структуры пакетов оболочки представлены на рисунке 4.

Анализ полученных данных показал, что корректировка исходного целевого угла изгиба функциональной детали из МПФ, которую изначально сформирована путём термической тренировки, происходит в едином тренде сокращения под механическим давлением материалов верхних слоёв пакета оболочки одежды (ткань верха + ткань подкладки).

Представленные зависимости отражают закономерности, установленные при температуре -12°C , которая установлена для локальных экспериментальных условий тренировки и тестирования как температура фазового перехода формы деталей их МПФ.

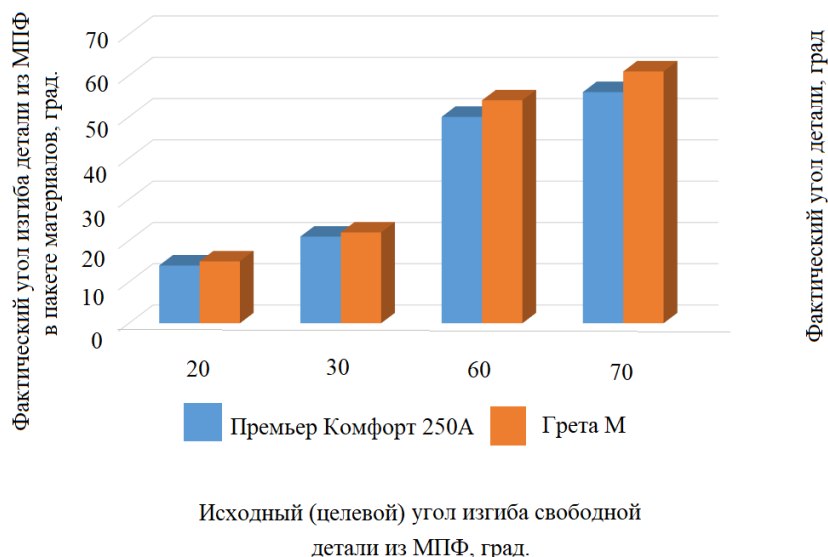


Рисунок 4. Влияние внешнего слоя материалов (ткань верх ткань подкладки) на фактический угол изгиба детали из МПФ в пакете оболочки теплозащитной одежды при -12°C , град. (рисунок авторов)

Наблюдается прямое влияние плотности материалов на динамику сокращения угла изгиба функциональной детали из сплава NiTi. Формализация выявленных трендов является основой для введения коэффициентов корреляции между желаемыми углами проектируемых деталей из МПФ в ожидаемых тепловых условиях применения одежды и углов соответствующих деталей при их термо-технологической подготовке.

Экспериментальное тестирование динамического эффекта формы пакетов материалов с точки зрения динамики его толщины в условиях переменного охлаждения (при тестовой температуре -12°C) позволило выявить влияние на изучаемый параметр состава материалов оболочки и заданных геометрических характеристиках детали из МПФ.

На рисунке 5 представлен график, отражающий влияние детали из МПФ на общую толщину разработанного пакета материалов теплозащитной спецодежды в условиях охлаждения, что позволяет продемонстрировать его динамический эффект формы.

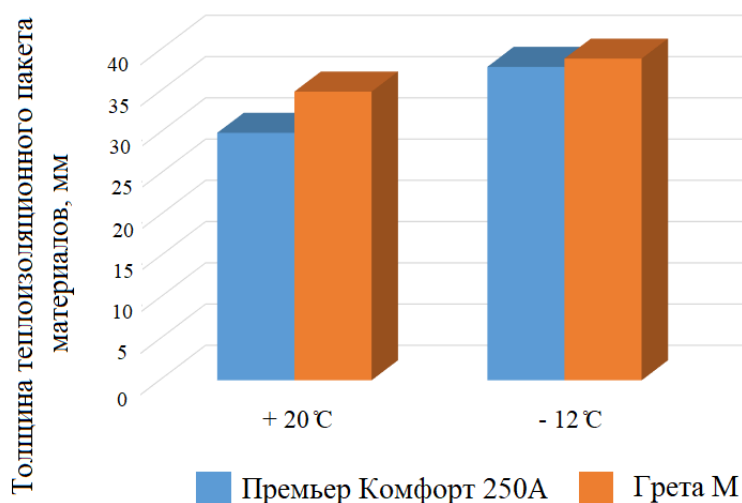


Рисунок 5. Динамический эффект формы пакетов материалов для теплозащитной одежды с деталями из МПФ при заданном угле изгиба 30 град. в условиях охлаждения (при -12°C) (рисунок авторов)

Обсуждение

Представленные результаты проведённых исследований позволили установить влияние внешнего слоя материалов на фактический угол изгиба детали из МПФ в пакете оболочки теплозащитной одежды. В качестве тканей верха изучены варианты материалов с различной поверхностной плотностью (212,0 и 255,0 гр/кв.м.) в сочетании с тканью подкладки, обеспечивающей двустороннее покрытие внутреннего слоя несвязного синтетического утеплителя, рассмотренного в виде волокнистого синтепуха, заключённого в изолированные секции с помощью текстильных лент, использованных в качестве разделительных элементов структуры.

Анализ полученных данных показал, что при охлаждении до -12°C фактический угол изгиба детали из МПФ в пакете оболочки отличается от установленного целевого угла изгиба, достигнутого путём специальных термомеханических тренировок деталей из NiTi.

При этом установлены искомые эффекты динамики формы как для функциональных деталей пакета из МПФ, так и эффекты влияния таких деталей на объёмные характеристики пакетов материалов теплозащитной одежды. Полученные эффекты подтвердили достижение активного угла изгиба функциональных деталей из МПФ (до 90 % от исходного целевого угла изгиба), которые управляют формой пакетов материалов, а также подтверждён динамический эффект увеличения толщины пакета теплоизоляционной оболочки (до 26 % относительно исходной толщины при нормальной температуре).

Заключение

Предложенный способ применения специальных материалов из сплавов NiTi в теплозащитной одежде исследован и реализован в разработанной структуре пакета материалов. Свойства таких МПФ основаны на способности собственной структуры изменяться под воздействием термических и механических воздействий, которые характерны для эксплуатации одежды в часто меняющихся тепловых условиях климата и производства. Для определения рациональных составляющих структуры такого пакета материалов разработана матрица типизации материалов для каждого компонента теплоизоляционного пакета с функцией динамической формы. Установлено, что обеспечить искомый динамический эффект формы позволяет только утеплитель несвязной структуры, замкнутый в секционную конструкцию двуслойной оболочки из подкладочной ткани с включением ограничительных деталей из текстильных лент. Такая конструкция пакета, исследованная в 2-х вариантах в зависимости от тканей верха для теплозащитной одежды профессионального применения, позволили установить искомые эффекты динамики формы как для функциональных деталей пакета из МПФ, так и эффекты влияния таких деталей на объёмные характеристики пакетов материалов теплозащитной одежды в условиях воздействия отрицательных температур. Полученные эффекты подтвердили достижение эффекта общего увеличения толщины пакета теплоизоляционной оболочки (до 26 % относительно его исходной толщины при нормальной температуре) при попадании одежды в условия охлаждения, определяемые как переходно-нестабильные для теплового комфорта человека.

Таким образом, созданный способ формирования структуры и результаты тестирования динамического эффекта формы пакета материалов оболочки одежды для защиты от холода, достигаемого за счёт термомеханических свойств деталей из материалов с памятью формы, позволил доказать его эффективность и значительные перспективы в развитии технологий повышения термического комфорта человека. Это особенно значимо в условиях переменных тепловых воздействий средствами высокотехнологичной теплозащитной одежды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Черунова, И.В. Оптимизация параметров защитной одежды от холода // Дизайн и технологии. — 2009. № 11(53). — С. 62–67. — URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23486412> (дата обращения 11.05.2024).
2. Ma L. A review on active heating for high performance cold-proof clothing. International Journal of Clothing. Science and Technology. — 2023. — № 35(6). — Pp. 952–970. — DOI 10.1108/IJCST-03-2021-0036.
3. Бесшапошникова В.И., Климова Н.А. Разработка структуры и исследование свойств пакетов материалов терморегулируемой утепленной одежды для людей с ограниченными возможностями движения // Материалы и технологии. — 2021. — № 1(7). — С. 15–22. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47153219> (дата обращения 11.05.2024).
4. Стефанова Е.Б., Черунова И.В., Колесник С.А., Савин В.С. Исследование теплозащитных свойств многослойных пакетов одежды, адаптированной к суровым климатическим условиям // Международный журнал экспериментального образования. — 2014. — № 8(1) — С. 80–83. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21719861> (дата обращения: 11.05.2024).
5. Мокеева Н.С., Заев В.А., Жилисбаева Р.О. Прогнозирование теплозащитных свойств многослойной одежды в условиях воздействия низких температур // Технология текстильной промышленности — 2016. — № 5(365) С. 65–68. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27689882> (дата обращения: 11.05.2024).
6. Yüce İ. Shape memory polymers and shape memory alloys: use in smart textiles // International Journal of Development Research. — 2017. — Vol. 07(11). — Pp. 16730–16736, — URL: <https://www.journalijdr.com/sites/default/files/issue-pdf/10761.pdf>.
7. Göka M.O., Bilira M.Z., Gürcümb B.H. Shape-Memory Applications in Textile Design // Procedia — Social and Behavioral Sciences. — 2015. — № 195. — Pp. 2160–2169. — <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2015.06.283>.
8. Белгородский В.С., Андреева Е.Г., Гетманцева В.В., Тюрин И.Н. Возможности использования материалов с памятью формы в процессе проектирования одежды с терморегулирующими свойствами // Научный журнал «Костюмология». — 2019. — № 4. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/08TLKL419.pdf> (дата обращения 11.05.2024).
9. Pushin V., Kuranova N., Marchenkova E., Pushin A. Design and Development of Ti-Ni, Ni-Mn-Ga and Cu-Al-Ni-based Alloys with High and Low Temperature Shape Memory Effects // Materials. — 2019. — № 12(16): 2616. — URL: <https://doi.org/10.3390/ma12162616> (дата обращения 10.05.2024).
10. Мощенко И.Н., Снежков В.И., Брагинский А.Я., Ольшанская Е.В. Неоднородные состояния и фазовые переходы в никелиде титана // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. — 2003. — № 1(121). — С. 43–45. — URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9444985> (дата обращения 12.05.2024).
11. Sgambitterraa E., Magarò P., Niccolib F., Renzoa D., Maletta C. Low-to-high cycle fatigue properties of a NiTi shape memory alloy // Procedia Structural Integrity. — 2019. — № 18. — Pp. 908–913. — URL: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2019.08.242> (дата обращения 08.05.2024).

12. Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н., Чекалкин Т.Л. Гистерезисное формоизменение в никелиде титана в условиях мартенситной деформации и демпфирования / В книге «Материалы с памятью формы и новые медицинские технологии // Под ред. В.Э. Гюнтера. — Томск: НИИ Медицинских материалов и имплантатов с памятью формы Сиб. ФТИ при ТГУ, 2010. — С. 328–332. — URL: <https://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Repository/vtls:000488717> (дата обращения 12.05.2024).
13. Kovaleva A., Cherunova I. Technological method of using functional materials in a heat-protective clothing package // Materials Science Forum (Trans Tech Publications Ltd, Switzerland). — 2023. — Vol. 1085. — Pp. 107–112. — doi: 10.4028/p-8sn849.

Kovaleva Alena Aleksandrovna

Don State Technical University, Shakhty, Russia

E-mail: andra_p@mail.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=832036

Cherunova Irina Viktorovna

Don State Technical University, Shakhty, Russia

Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

E-mail: i_sch@mail.ru

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=473558

Tagiev Farid Dzhejhun ogly

Don State Technical University, Shakhty, Russia

E-mail: el_s@list.ru

Development of the structure and testing of the dynamic effect of the shape of packages of materials for thermal protective clothing

Abstract. The article presents a developed new structure of a package of materials for heat-protective clothing, with the use of parts from materials with shape memory. The design features of packages of materials for special, household, sports clothes are systematized and a matrix for typing materials for each component of the heat insulation package with a dynamic shape function is developed, based on which the composition of the required package of materials is determined. It includes insulation of only non-cohesive structure, closed into sectional structure of double-layer shell from lining fabric with inclusion of limiting parts from textile tapes. This design of the bag is worked out in two versions, depending on the application and the corresponding top fabrics. Based on the developed structural versions of the material packages, appropriate test samples were made using two top fabrics. Parts integrated into samples from materials with shape memory are made from a functional NiTi alloy and subjected to a process of thermomechanical training with imparting a given shape to the parts, which is activated as a response to a given temperature of external action. The developed structure of the package of materials was experimentally tested under the conditions of the target thermal regime. The desired effects of shape dynamics have been established both for functional parts of a package made of materials with shape memory, and the effects of the influence of such parts on the volumetric characteristics of packages of materials for heat-protective clothing. The obtained effects confirmed the achievement of an active bending angle of functional parts made of materials with shape memory, which control the shape of material packages, and also confirmed the effect of a general increase in the thickness of the thermal insulation shell package, which made it possible to prove the effectiveness of the proposed method in developing technologies for increasing human thermal comfort in conditions of variable thermal effects by means of high-tech thermal protective clothing.

Keywords: heat-protective clothing; package of materials; materials with shape memory; dynamic shape; thickness of clothing; thermal insulation; properties of clothing; properties of materials