DOI: 10.17117/na.2015.07.581

Поступило в редакцию: 08.07.2015

<http://ucom.ru/doc/na.2015.07.581.pdf>

**Афанасьева Р.Ф., Михайлов А.Б., Осина Т.М.,
Михайлова И.Д., Прохоров В.Т., Селина Н.Г.
Возможность программного обеспечения по выбору
пакета материалов для костюма военнослужащего
Арктики**

**Afanasieva R.F., Mihailov A.B., Osina T.M., Mihailova I.D.,
Prohorov V.T., Selina N.G.**

**Software's ability to choose the package of materials
for the costume of a soldier Arctic**

В сообщении проведены исследования по созданию костюма и варежек для защиты от холода военнослужащего, находящегося в условиях Арктики. В основу создания теплозащитной одежды для эксплуатации в условиях Арктики должен быть положен научный принцип, учитывающий физиологию теплообмена человека с окружающей средой. При разработке теплозащитной одежды следует выполнять требования к теплоизоляции всех областей тела. Особое внимание необходимо уделить защите кистей рук и лица

Ключевые слова: теплозащитная одежда, варежки, рукавицы, охлаждение, пакет материалов, военнослужащий, условия Арктики

Афанасьева Ралема Федоровна
Доктор медицинских наук, профессор
Научно-исследовательский институт медицины
труда Российской академии медицинских наук
г. Москва, пр. Буденного, 31

Михайлов Андрей Борисович
Кандидат физико-математических наук, доцент
Донской государственной технической
университет
Ростовской обл., г. Шахты-500, ул. Шевченко, 147

In the message researches on creation of a suit and mittens for protection against cold of the serviceman who is in conditions of the Arctic are conducted. The scientific principle considering physiology of heat exchange of the person with environment has to be the basis for creation of heat-shielding clothes for operation in the conditions of the Arctic. When developing heat-shielding clothes it is necessary to fulfill requirements to thermal insulation of all areas of a body. The special attention needs to be paid to protection of hands and the person

Key words: heat-shielding clothes, mittens, mittens, cooling, package of materials, serviceman, conditions of the Arctic

Afanasieva Ralema Fedorovna
Doctor of Medical Sciences, Professor
Research Institute of Medicine of Work of the
Russian academy of medical sciences
Moskva, Budennogo ave., 31

Mihailov Andrey Borisovich
Candidate of Physico-mathematical Sciences,
Associate Professor
Don state technical university
Rostov region, Shakhty-500, Shevchenko st., 147

Осина Татьяна Матвеевна

Кандидат технических наук, доцент
Донской государственной технической
университет
Ростовской обл., г. Шахты-500, ул. Шевченко, 147

Михайлова Инна Дмитриевна

Кандидат технических наук, доцент
Донской государственной технической
университет
Ростовской обл., г. Шахты-500, ул. Шевченко, 147

Прохоров Владимир Тимофеевич

Доктор технических наук, профессор, заведующий
кафедрой
Донской государственной технической
университет
Ростовской обл., г. Шахты-500, ул. Шевченко, 147

Селина Надежда Геннадьевна

Аспирант
Донской государственной технической
университет
Ростовской обл., г. Шахты-500, ул. Шевченко, 147

Osina Tatiana Matveevna

Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor
Don state technical university
Rostov region, Shakhty-500, Shevchenko st., 147

Mihailova Inna Dmitreevna

Candidate of Engineering Sciences, Associate
Professor
Don state technical university
Rostov region, Shakhty-500, Shevchenko st., 147

Prohorov Vladimir Timofeevich

Doctor of Engineering Sciences, Professor, Head of
Department
Don state technical university
Rostov region, Shakhty-500, Shevchenko st., 147

Selina Nadejda Gennadievna

Graduate
Don state technical university
Rostov region, Shakhty-500, Shevchenko st., 147

В настоящее время одним из направлений разработки одежды для условий Арктики является область профессиональной одежды, в частности, одежды, в том числе рукавиц и перчаток для нужд федеральных органов власти. Выживание в полярных регионах, напрямую, зависит от температуры тела, точнее, её сохранения. А это возможно только с помощью одежды.

Актуальность проблемы создания костюма для защиты от холода подтверждают многочисленные исследования в этой области, проведенные отечественными и зарубежными учеными [1]. Первое требование к костюму в условиях Арктики – многослойность. Верхний слой должен быть влагостойким, средний слой содержать шерстяные волокна (желательно), либо синтетические, внутренний слой костюма с хорошими воздухопроницаемыми свойствами. Требование второе – костюм должен быть комфортным. Это обеспечивается достаточной циркуляцией воздуха и не провоцирует перегревание тела военнослужащего.

Ассортимент материалов, используемых для производства теплозащитной одежды, весьма разнообразен по сырьевому происхождению, способам производства, назначению и может быть объединен в следующие группы:

- основные – ткани различного волокнистого состава для верха и подкладки, дублированные ткани, пленки, ткани с пленочными, ветрозащитными и резиновыми покрытиями и др.;

- утепляющие материалы – ватины, вата, поролон, искусственные и натуральные меха, нетканые утеплители и др.

- материалы для соединения деталей – швейные нитки, клеевые и термопластичные материалы, сварные швы и др.;

– фурнитура – пуговицы, крючки, петли, пряжки, кнопки, застежки «молния», «липучки» и др.

Было разработано программное обеспечение, позволяющее выбрать пакет материалов для ассортимента одежды. В качестве примера исследования была выбрана куртка теплозащитная и варежки для рядового военнослужащего находящегося в экстремальных условиях Арктики. Конструкция и технология изготовления изделий соответствует требованиям ГОСТ 12.4.236-236-2011 ССБТ. Одежда специальная для защиты от пониженных температур. И изготавливается в соответствии с основами поузловой обработкой форменной одежды.

При выборе пакетов материалов для исследования учитывались физико-механические, теплофизические характеристики материалов, сведения о специфике эксплуатации данной одежды, которые были получены из открытых литературных источников.

С увеличением толщины пакета материалов утепляющей одежды повышается практически только температура кожи тех областей тела, которые защищены (туловище, плечо, бедро) [2]. Отмечается лишь некоторое повышение температуры кожи в области кистей. Изменение же температуры в зависимости от степени утепления поверхности туловища практически не наблюдается.

Существует определенная взаимосвязь между общим тепловым состоянием организма и степенью охлаждения той или иной области тела, в частности, стоп и кистей. В то же время теплоизоляция последних оказывает существенное влияние на общий теплообмен человека.

Для оценки теплового состояния человека в целях разработки мероприятий по предупреждению перегревания и переохлаждения могут быть использованы показатели и критерии, приведенные в МУК 4.3.1895-04 «Оценка теплового состояния человека с целью обоснования гигиенических требований к микроклимату рабочих мест и мерам профилактики охлаждения и перегревания» утв. 03.03.04 г. МЗ России., при условии, что средневзвешенные величины показателей не выйдут за верхнюю или нижнюю границы.

Тепловое состояние человека подразделяется на: оптимальное, допустимое, предельно допустимое и недопустимое. Оптимальное тепловое состояние характеризуется отсутствием общих или локальных дискомфортных теплоощущений. Допустимое тепловое состояние человека характеризуется незначительными общими или локальными дискомфортным состоянием. Предельно допустимое тепловое состояние человека характеризуется выраженным общим или локальным дискомфортом, что ограничивает его активность. Недопустимым является тепловое состояние, характеризующееся чрезмерным охлаждением приводящим к нарушению состояния здоровья.

Основная роль в защите человека от холода принадлежит поведенческой терморегуляции, которая заключается в активном, целенаправленном регулировании термической нагрузки на организм [3]. В связи с необходимостью нахождения на открытой территории в холодный период года или в не отапливаемом помещении, большое значение приобретают средства индивидуальной защиты, а именно, комплект предметов, обеспечивающих должную защиту

от охлаждения всех участков поверхности тела человека в соответствии с конкретными условиями его деятельности. Комплект защиты от холода включает теплозащитную одежду (например, куртка и полукомбинезон, куртка и брюки, комбинезон), головной убор, рукавицы и обувь.

Создание теплозащитных рукавиц и перчаток является сложной научной и практической задачей, так как рукавицы и перчатки должны удовлетворять комплексу требований, часто не совместимых друг с другом. Так, например, в одежде должны сочетаться малая масса и высокие теплозащитные свойства; малая воздухопроницаемость и достаточная влагопроницаемость, необходимая для обеспечения влагообмена человека с окружающей средой. Одежда должна защищать человека от охлаждения в состоянии покоя и не вызывать перегрева при выполнении интенсивной физической нагрузки.

Причины, которые могут затруднить проектирование теплозащитных рукавиц и перчаток в соответствии с требуемой теплоизоляцией:

- увеличение теплоизоляции комплекта сопровождается увеличением его массы, что обуславливает дополнительную нагрузку на организм и приводит к увеличению энерготрат, снижению активности и риску роста травматизма;

- особенности теплообмена различных участков тела человека, ограничивающие возможность должной защиты некоторых из них (кисть, стопа) из-за необходимости соблюдения эргономических требований;

- традиционный способ повышения теплоизоляции за счёт увеличения толщины пакета материалов, в т. ч. утеплителя, является эффективным лишь в определенных пределах;

- на теплообмен человека влияет комплекс метеорологических факторов: температура воздуха, скорость его движения, влажность, инсоляция, защита от которых требует различного подхода к выбору технических показателей материалов и разработке конструкции одежды.

Энерготраты человека увеличиваются на 2,8-3,0% на каждый 1 кг увеличения массы одежды [4].

Использование в качестве внешнего слоя материалов в одежде с ограниченной воздухопроницаемостью и использование конструкции, ограничивающей воздухообмен в пододёжном пространстве нарушает тепломассообмен, особенно при физической нагрузке, что приводит к накоплению влаги в одежде и последующему снижению её теплоизоляции.

Требования к теплоизоляции комплекта одежды для защиты от холода должны быть представлены не только с позиций обеспечения необходимого уровня теплопотерь, но и практической их реализации с точки зрения создания условий для осуществления тепломассо- и газообмена.

При скорости ветра, равной 2 м/с, увеличение воздухопроницаемости пакета материалов на каждые 10 дм³/м²·с приводит к уменьшению теплоизоляции комплекта на 1,25 %, а при скоростях ветра 4; 6; 8 и 10 м/с – соответственно на 3,25; 4,5; 5,5 и 5,7 %. Причиной этого может быть увеличение конвекции внутри пакета материалов, снижение термического сопротивления воздуха, находящегося между слоями материалов и внутри них. Это означает, что за-

данная величина воздухопроницаемости пакета материалов изделия, несущая главную роль в теплоизоляции человека, должна быть обеспечена за счёт его наружного слоя [5].

Создание теплозащитной одежды включает следующие этапы:

- определение и выбор критериев теплового состояния человека;
- исследование зависимости теплозащитных свойств одежды от её конструкции, вида, теплофизических параметров её материалов (толщины, воздухопроницаемости, скорости движения воздуха);
- физиолого-гигиеническая оценка теплозащитных свойств одежды в лабораторных условиях (микроклиматическая камера), имитирующих условия использования одежды;
- физиолого-гигиеническая оценка одежды в реальных условиях эксплуатации.

Осуществление первого этапа необходимо в целях получения данных для расчёта теплоизоляции одежды, ее оценки, контроля за соответствием теплозащитных свойств, предъявляемым требованиям, разработки требований к утеплению различных частей тела человека. Выполнение других этапов направлено на практическое изготовление одежды, связанное с прогнозированием ее теплоизоляции и оценкой в реальных условиях использования.

Исследования топографии тепловыделений и температурных реакций человека указывают на необходимость рассмотрения комплекта одежды для защиты от холода как единого целого, поскольку охлаждение любой области тела (или его участка) может быть причиной холодового дискомфорта или поражения при достаточном и даже избыточном утеплении остальной поверхности [3].

Основной принцип создания одежды для защиты от холода заключается в увеличении толщины инертного слоя воздуха (0,7 см – предельная величина).

Исходя из этого, требования к одежде, направленные на повышение её теплозащитных свойств, следующие:

- недоступность проникания наружного воздуха внутрь одежды, что достигается её конструкцией и использованием ветрозащитных покрытий;
- низкая плотность применяемых материалов, позволяющих уменьшить теплоотдачу за счёт теплопроводности самого волокна;
- поддержание максимальной толщины воздушных прослоек, заключённых в одежде;
- дифференцированный подход к степени утепления разных частей тела.

В основу создания теплозащитных рукавиц и перчаток для эксплуатации в условиях Арктики должен быть положен научный принцип, учитывающий физиологию теплообмена человека с окружающей средой.

Требования к материалам и конструкции теплозащитной одежды в условиях Арктики:

- теплозащитная способность одежды для защиты от охлаждения определяется теплофизическими показателями пакета материалов, из которых она изготовлена, конструкцией, видом (куртка, куртка и брюки, комбинезон, и др.);

– пакет материалов теплозащитной одежды формируется из основного материала, утепляющей прокладки и подкладки. При необходимости, для снижения воздухопроницаемости пакета материалов рукавиц и перчаток, может быть использована ветрозащитная прокладка, которую следует располагать между основным материалом и утепляющей прокладкой;

– основной материал (покровный, внешний слой) обуславливает внешний вид одежды и выполняет защитные функции. Он должен обладать защитными свойствами, соответствующими условиям деятельности, быть стойким к механическим воздействиям, атмосферным осадкам, воздействию света, различного вида загрязнителям.

Таблица 1. Скорость ветра и воздухопроницаемость основного материала

Скорость ветра, м/с	Воздухопроницаемость основного материала, дм ³ /м ² с, при перепаде давления 49 Па
> 4	7-10
4-2	7-20
<2	7-40

Рассматривается решение задачи создания одежды для защиты от холода на открытой территории применительно к климатическим регионам IА и IБ. Климатический регион IА («особый») включает арктические острова, побережье Северного Ледовитого океана, восточную часть тундры.. В климатический регион I Б (IV климатический пояс) входят внутриконтинентальные районы Восточной Сибири. Камчатка, Северный Сахалин и побережье Охотского моря. Вся эта территория отмечается суровостью погодных условий. Первый из них характеризуется сильными ветрами, второй – особо низкими температурами в сочетании с меньшими скоростями ветра.

Создание одежды для защиты от холода в климатическом регионе IА является весьма трудной задачей, поскольку теплоизоляционная способность одежды во многом определяется толщиной пакета материалов, увеличение которой может быть одной из причин снижения работоспособности человека. Представляет большую сложность обеспечение необходимой защиты от охлаждения поверхности головы (в том числе лица), кистей, стоп, ввиду малой эффективности их утепления. Применение материалов с низкой воздухопроницаемостью и замкнутой конструкцией в целях защиты от ветрового воздействия может приводить к накоплению влаги в одежде и снижению её теплоизоляции, особенно при выполнении интенсивной физической работы [3].

При создании одежды следует исходить из конкретных условий её эксплуатации и реальности достижения необходимой защиты от охлаждения, регламентируя в целях предупреждения охлаждения длительность непрерывного пребывания на холоде.

Ниже освещаются вопросы, касающиеся только части проблемы создания рациональной одежды для защиты от холода. При этом проблемы, связанные с обеспечением её должной теплоизоляции, уменьшения массы, улучшения теплообмена с окружающей средой, решаются путем ограничения времени

непрерывного пребывания на открытой территории, допущения некоторого охлаждения организма в соответствии с физиологическими критериями, подбора соответствующих материалов и разработки рациональной конструкции и др.

Учитывая суровость климатических условий (охлаждение лица, органов дыхания) и реальную возможность создания одежды для осуществления деятельности, продолжительность непрерывного пребывания на холоде принималась равной не более 2 ч для климатического региона I A и 1 ч для региона IБ. Дефицит тепла в организме в этом случае принимался равным 52 Вт · ч/м², что соответствует нижней границе допустимого теплового состояния [4].

Принимая во внимание среднюю из наиболее вероятных значений скорости ветра в климатическом регионе IА (6,8 м/с), следует для изготовления утепленного костюма выбирать материал верха, имеющий небольшую воздухопроницаемость ($\approx 7 \text{ дм}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$), но достаточную влагопроницаемость ($\geq 40 \text{ г} \cdot \text{м}^2/\text{ч}$). Для региона IБ целесообразно использовать материалы такой же воздухопроницаемости из-за большого перепада температур наружного воздуха и под одеждой.

Исходя из этого, теплозащитная одежда должна иметь теплоизоляцию 0,709 °С·м²/Вт (4,6 кло) и 0,728 °С · м²/Вт (4,7 кло) (1 кло=0,155 °С·м²/Вт) [5].

В таблице 2 представлена толщина пакета материалов различных участков комплектов одежды, предназначенных для защиты от холода в климатических регионах IА и IБ.

Таблица 2. Толщина пакета материалов различных участков комплектов одежды, предназначенном для защиты от холода в климатических регионах IА и IБ

Область тела человека	Отношение локальной толщины пакета материалов к средневзвешенной	Климатический регион		
		Расчетная величина, мм		Фактическая для IА IБ
		IА	IБ	
1	2	3	4	5
Голова	0,49	9,1	9,6	10,0
Туловище	1,31	24,2	25,5	25,4
Плечо	1,24	22,9	24,2	23,9
Кисть	0,66	12,2	12,9	8,0
Бедро	1,08	20,1	21,0	20,9
Голень	0,81	15,0	15,8	17,9
Стопа	0,77	14,2	15,0	7,5
Средневзвешенные	-	18,5	19,5	19,0

Таким образом, было рассмотрено влияние холода на работоспособность человека, критерии оптимального теплового состояния человека в условиях Арктики, общие требования к материалам и конструкции теплозащитной одежды, особенности её проектирования. Проанализировав литературные источники и доступную информацию в открытой печати, пришли к выводу, что для создания комфортных условий человеку на Арктике, находящимся на открытом воздухе необходима не только соответствующая одежда (куртка, по-

лукомбинезон) но и теплозащитная обувь, рукавицы, головной убор, защитная маска на лицо. При проектировании теплозащитных рукавиц и перчаток необходимо учитывать все факторы в комплекте, влияющие на состояние человека в условиях Арктики.

За счёт правильного выбора пакета материалов можно существенно улучшить условия труда и снизить профессиональные риски при низких температурах. Для этого рекомендации должны быть убедительно обоснованы результатами расчёта теплообмена организма с определённой средой. А это для длительные трудоёмкие расчёты. Нами предложен более простой и доступный способ выбора материалов в пакет теплозащитной одежды. Для этого необходимо из всего многообразия материалов предложенного современным рынком для изготовления теплозащитной одежды выбрать наиболее подходящие, исходя из конкретных условий эксплуатации. Ввести необходимые параметры для расчёта в программу и получить необходимый результат в виде оптимального пакета материалов [6].

В таблице 3. приведены пакеты материалов для теплозащитной куртки, изготовленной из наноматериалов и нанотехнологий.

Пакеты материалов были выбраны в соответствии с требованиями к теплозащитной одежде и применяемых материалов для её изготовления. При составлении пакетов учитывалось назначение каждого слоя и теплофизических характеристик материалов.

Таблица 3. Пакеты материалов для теплозащитной куртки

Модель	Материалы пакета	Толщина, мм	Суммарное тепловое сопротивление $R_{\text{сум}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$	Коэффициент теплопроводности λ , $\text{Вт}/\text{м} \cdot ^\circ\text{C}$	Коэффициент температуропроводности a ($\text{м}^2/\text{ч}$)
1	2	3	4	5	6
Модель 1	Ткань синтетическая (100% ПЭ)	1,6	0,038	0,42	0,00044
	Утеплитель Promaloft	12,0	0,353	0,034	0,00036
	Ткань подкладочная	0,76	0,0195	0,039	0,00050
Модель 2	Ткань синтетическая (100% ПЭ)	1,6	0,038	0,42	0,00044
	Утеплитель «Холлофан» 2 слоя	12,0	0,33	0,036	0,00034
	Ткань подкладочная	0,76	0,0195	0,039	0,00050
Модель 3	Ткань синтетическая (100% ПЭ)	1,6	0,038	0,42	0,00044
	Утеплитель «Комбишерсть» «250+150»	12,0	0,364	0,33	0,00033
	Ткань подкладочная	0,76	0,0195	0,039	0,00050

В таблице 4 приведены пакеты материалов для теплозащитной куртки, изготовленной из наноматериалов и нанотехнологий.

Таблица 4. Пакеты материалов для теплозащитной куртки

Модель	Материалы пакета	Толщина, мм	Суммарное тепловое сопротивление $R_{\text{сум}}$, м ² ·°С/Вт	Коэффициент теплопроводности λ , Вт/м·°С	Коэффициент температуропроводности a (м ² /ч)
1	2	3	4	5	6
Модель 1	Мембранная ткань	3,5	0,570	0,006	0,00030
	Синтепон (100% ПЭ)	15	0,0430	0,035	0,00039
	Флис	1,2	0,031	0,039	0,00034
Модель 2	Ткань ПЭ (арт. 06617-кв)	2,1	0,057	0,040	0,00044
	Утеплитель Termofinn Micro	15	0,701	0,036	0,00032
	Ткань подкладочная вискозо-комплексная	0,6	0,014	0,044	0,00052
Модель 3	Ткань смесовая (67% ПЭ + 33% ХЛ)	1,8	0,044	0,041	0,00044
	Полотно прошивное «шерстон» 2 слоя (80% ПЭ + 20% шерсти)	20	0,704	0,038	0,00030
	Ткань подкладочная арт. 32013	0,69	0,014	0,049	0,00051

Каждый материал из составленных пакетов соответствует требованиям предъявляемых к изготовлению теплозащитной одежды [7].

Рассмотрим задачу о распределении температуры T_i i -го слоя в деталях одежды, представляющих собой цилиндрическую многослойную поверхность. Температура окружающей среды поддерживается постоянной, равной T_0 . От тела на внутреннюю поверхность одежды поступает тепловой поток плотности q . На внешней поверхности одежды происходит теплообмен с окружающей средой по закону Ньютона с коэффициентом теплообмена α .

Введем следующие обозначения:

t – время; $T_i(r, t)$ – температура i -го слоя; λ_i – коэффициент теплопроводности i -го слоя; α_i – коэффициент температуропроводности i -го слоя; R_{i-1}, R_i – внутренний и внешний радиусы i -го слоя; $i = 1, 2, \dots, n$.

Теперь рассмотрим n – слойный полый цилиндр и краевую задачу

$$\frac{\partial T_i}{\partial t} = a_i \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \frac{\partial T_i}{\partial r} \right), \quad R_{i-1} < r < R_i \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (1)$$

С краевыми условиями:

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r}(R_0, t) + q = 0; \quad \lambda_n \frac{\partial T_n}{\partial r}(R_n, t) + \alpha(T_n(R_n, t) - T_0) = 0 \quad (2)$$

Между слоями предполагается идеальный контакт:

$$T_{i-1}(R_{i-1}, t) = T_i(R_{i-1}, t),$$

$$\lambda_{i-1} \frac{\partial T_{i-1}}{\partial r}(R_{i-1}, t) = \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial r}(R_{i-1}, t), \quad i = 2, \dots, n. \quad (3)$$

Начальные условия

$$T_i(r, 0) = \varphi_i(r), \quad i = 1, \dots, n. \quad (4)$$

Решая поставленную задачу можно найти распределение температуры в слоях одежды и в частности изменение температуры пододежного пространства в зависимости от времени.

Прохождение тепла через многослойную шаровую стенку описывается системой уравнений теплопроводности:

$$\frac{\partial T_i(r_i, t)}{\partial t} = a_i \frac{1}{r_i} \frac{\partial^2 (r_i T_i(r_i, t))}{\partial r_i^2}, \quad (5)$$

$R_{i-1} \leq r_i \leq R_i$, где R_{i-1}, R_i – внутренний и внешний радиусы i – го слоя,

t – время, a_i – коэффициент температуропроводности i – го слоя, ($i = 1, \dots, n$).

На внутреннюю поверхность шарового сегмента от стопы поступает тепловой поток плотности q :

$$\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r_1}(R_0, t) + q = 0. \quad (6)$$

На внешней поверхности тела теплообмен с окружающей средой происходит по закону Ньютона с коэффициентом теплоотдачи α :

$$\lambda_n \frac{\partial T_n}{\partial r_n}(R_n, t) + \alpha(T_n(R_n, t) - T_c) = 0. \quad (7)$$

Будем предполагать, что между слоями существует идеальный контакт, который выражается следующими соотношениями:

$$T_{i-1}(R_{i-1}, t) = T_i(R_{i-1}, t),$$

$$\lambda_{i-1} \frac{\partial T_{i-1}}{\partial r_{i-1}}(R_{i-1}, t) = \lambda_i \frac{\partial T_i}{\partial r_i}(R_{i-1}, t), \quad (8)$$

$i = 2, \dots, n$. В начальный момент времени задается температура тел

$$T_i(r_i, 0) = \varphi_i(r_i), \quad (9)$$

$$i = 1, \dots, n.$$

Таким образом, процесс прохождения тепла через шаровой сегмент от тела к внешней поверхности описывается краевой задачей с начальными условиями, которые приведены выше.

Для примера рассмотрим пакеты материалов для комплекта теплозащитной одежды, представленные в таблице 3 и 4.

При расчёте учитывались следующие факторы:

- толщина слоёв материалов в пакете;
- коэффициент теплопроводности и температуропроводности материалов пакета;
- плотность теплового потока, поступающего от тела;
- температура окружающей среды;
- начальная температура пакета материалов;
- коэффициент теплоотдачи с внешней поверхности пакета в окружающую среду;

– наличие дополнительной прослойки в виде теплозащитного белья и шерстяного свитера [8].

При расчёте учитывалось так же то, что человек имеет соответствующую теплозащиту ног, рук и головы. То есть, одет в соответствии с климатическими условиями [2]. Результаты расчётов представлены на рисунках 1 – 3 а) – для материалов импортного производства и рисунок б) – для материалов отечественного производства. На данных рисунках приведена зависимость средневзвешенной температуры кожи тела человека от времени нахождения его при низких температурах (-20°C ; -30°C ; -40°C). Из приведённых рисунков видно, что при начальной средневзвешенной температуры кожи $+36^{\circ}\text{C}$ для всех пакетов материалов наблюдается резкое падение температуры тела при температуре воздуха -20°C , -30°C , -40°C . Однако, для пакетов материалов № 3 и 3* и при температуре воздуха -20°C , -30°C тенденция к снижению средневзвешенной температуры кожи уменьшается, то есть человек одетый в теплозащитную одежду составленную из материалов пакета № 3 и 3* не будет ощущать дискомфорт в течение двух часов. А при -40°C пакет № 3 показывает удовлетворительные результаты в течении одного часа, а пакет № 3* в течении двух часов [9].

а) для пакетов № 1 составленного из материалов импортного производства

б) для пакетов № 1* составленного из материалов отечественного производства

Рис. 1. Результат расчёта зависимость средневзвешенной температуры кожи тела человека от времени нахождения его при низких температурах (-20°C ; -30°C ; -40°C)

а) для пакетов № 2 составленного из материалов импортного производства

б) для пакетов № 2* составленного из материалов отечественного производства

Рис. 2. Результат расчёта зависимость средневзвешенной температуры кожи тела человека от времени нахождения его при низких температурах (-20°; -30°С; -40°С)

а) для пакетов № 3 составленного из материалов импортного производства

б) для пакетов № 3* составленного из материалов отечественного производства

Рис. 1. Результат расчёта зависимость средневзвешенной температуры кожи тела человека от времени нахождения его при низких температурах (-20°; -30°С; -40°С)

Важную роль при создании одежды для военнослужащих, находящихся в условиях Арктики, является защита кистей и стоп. В связи с этим, были произведены расчёты теплозащиты рук [10].

В таблице 5 представлен комплект пакета материалов для рукавиц и перчаток.

Материалы пакета	Толщина, мм	Суммарное тепловое сопротивление $R_{\text{сум}}$, $\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C} / \text{Вт}$
воздух	1	0,026
мех	5	0,04
прокладка	0,4	0,04
кожа	2	0,06

Результаты расчётов представлены на рисунках 4.

Для расчётов распределения температуры использовали математические пакеты Maple. Входные данные программы

- толщина слоев пакета материалов;
- коэффициенты теплопроводности и температуропроводности этих материалов;
- плотность теплового потока, поступающего от тела к внутренней поверхности пакета;
- температура окружающей среды;
- начальная температура пакета материалов, формирующего костюм;
- коэффициент теплоотдачи с внешней поверхности пакета в окружающую среду [9].

Решение задачи сводится к нахождению такого сочетания толщины пакета на отдельных участках модели, которая реализует минимум потока тепла с её поверхности при ограничении на объём массы пакета. В классическом подходе такое уравнение нормировки по массе утеплителя учитывает толщину утеплителя для всего геометрического образа пакета [11].

**а) для пакетов материалов
большого пальца кисти**

б) для пакетов материалов ладони

Рис. 4. Результат расчёта зависимость средневзвешенной температуры кожи кисти человека от времени нахождения его при низких температурах (-10°; -20°С; -30°С)

Таким образом, можно сделать вывод, что с помощью предложенной математической модели можно оптимизировать выбор материалов для изготовления теплозащитной одежды.

Разработанная программа позволяет в процессе вычислений изменять параметры модели: вводить новые слои материалов в пакет соответствующих участков, менять внешние условия.

Данный метод может быть использован на этапе проектирования теплозащитной одежды, рукавиц и перчаток и требует для своего применения экспериментальные данные лишь о теплофизических свойствах материалов пакета одежды, имеющих в справочной литературе или получены экспериментально [12].

Сочетание метода математического прогнозирования с экспериментальными исследованиями теплофизических свойств пакетов материалов в воздушно-сухом состоянии и в динамике влагопоглощения позволит получить более обоснованные и качественные решения поставленной задачи по выбору

оптимального пакета материалов для теплозащитное изделие является универсальной. При необходимости она может быть уточнена и перестроена [13].

Проведённый расчёт показал, что можно использовать программный продукт для выбора оптимального пакета материалов для утеплённых рукавиц и перчаток для мужчин. Зная теплофизические характеристики материалов, можно рационально, с учётом специфики использования изделия подбирать материалы в пакет. Внедрение программного продукта позволит проектировать пакет одежды с учётом климатических зон регионов и конкретных требований потребителей, в том числе для условий Арктики [14].

Список литературы:

1. Кокеткин П.П. Одежда: технология – техника, процессы – качество. М.: МГУДТ, 2001. 560 с.
2. Афанасьева Р.Ф., Тихонова Н.В., Михайлов А.Б., Осина Т.М., Михайлова И.Д., Прохоров В.Т. Наноматериалы и технологии в производстве костюма для военнослужащих Арктики // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.19. № 9. С. 115-120.
3. Афанасьева Р.Ф., Тихонова Н.В., Михайлов А.Б., Осина Т.М., Михайлова И.Д., Прохоров В.Т., Полухина С.Ю. Наноматериалы и технологии в производстве костюма для военнослужащих Арктики // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.19. № 9. С. 129-134.
4. Делль Р.А., Афанасьева Р.Ф., Чубарова З.С. Гигиена одежды. М.: Легпромбытиздат, 1991. 160 с.
5. Афанасьева Р.Ф., Бурмистрова О.В., Прокопенко Л.В. Холодовой стресс: медико-биологические аспекты профилактики. Монография. М: Реуфор, 2012. 214 с.
6. Афанасьева Р.Ф., Тихонова Н.В., Михайлов А.Б., Осина Т.М., Михайлова И.Д., Прохоров В.Т. Наноматериалы и технологии в производстве костюма для военнослужащих Арктики // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.19. № 9. С. 150-155.
7. Прохоров В.Т., Тихонова Н.В., Осина Т.М., Рева Д.В., Тартанов А.А., Козаченко П.Н. О влиянии наноматериалов и технологий на литые свойства полимерных композиций на основе этилена с винилацетатом // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 19. С. 130-135.
8. Бузов Б.А., Алыменкова Н.Д. Материаловедение в производстве изделий легкой промышленности (швейное производство). Москва: Академия. 2004. 448 с.
9. Афанасьева Р.Ф., Тихонова Н.В., Михайлов А.Б., Осина Т.М., Михайлова И.Д., Прохоров В.Т., Рева Д.В. Наноматериалы и технологии в производстве костюма для военнослужащих Арктики // Вестник Казанского технологического университета. 2015. Т.19. № 9. С. 161-166.
10. Классификация мембранных тканей.
URL: http://izzabugra.com.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=105:2011-06-03-16-29-47&catid=1:latest-news&Itemid=89
11. Современные утеплители.
URL: <http://seazon-dress.ru/review/synthetic.html>
12. Бондарева И // Рабочая одежда. Лекпромбизнес, 2014. № 3 (63) С. 4-6.
13. Осина Т.М и др. Свидетельство об официальной регистрации программ для ЭВМ № 2014617468 Программа оценки распределения температур и влаги в системе «стопа-обувь окружающая среда». Выдано Российским агентством по патентам и товарным знакам (РОСПАТЕНТ 23.07.2014 г.).
14. Прохоров В.Т., Осина Т.М., Компаненко Е.В., Волкова Г.Ю., Мишин Ю.Д.. О поиске эффективного импульса для развития легкой промышленности в регионах ЮФО и СКФО монография. Институт сферы обслуживания и предпринимательства. Шахты: ИСОиП (филиал) ДГТУ, 2015. 319 с.