

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

2021, №4, Том 6 / 2021, No 4, Vol 6 <https://kostumologiya.ru/issue-4-2021.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/10TLKL421.pdf>

Ссылка для цитирования этой статьи:

Котоменкова, О. Г. Тепловой расчет теплозащитных тканых пакетов военной одежды в различных условиях внешней среды и физической активности / О. Г. Котоменкова, А. В. Виноградова // Костюмология. — 2021. — Т. 6. — № 4. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/10TLKL421.pdf>

For citation:

Kotomenkova O.G., Vinogradova A.V. Thermal calculation of heat-protective woven bags of military clothing in various environmental conditions and physical activity. *Journal of Clothing Science*, 4(6): 10TLKL421. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/10TLKL421.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 620.22:677.017

ГРНТИ 64.29.81

Котоменкова Ольга Геннадьевна

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Высшая школа сервиса и торговли
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: kot-og@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0034-0315>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=620741
Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/AAF-5638-2019>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57205389274>
Google Академия: <https://scholar.google.com/citations?user=JrjiUnYAAAAJ>

Виноградова Анна Вячеславовна

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», Санкт-Петербург, Россия
Высшая школа сервиса и торговли
Доцент
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: ann-vin@yandex.ru
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6039-429X>
РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=288484
Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/H-8802-2018>
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57205391665>
Google Академия: https://scholar.google.com/citations?user=fBWt_7gAAAAJ

Тепловой расчет теплозащитных тканых пакетов военной одежды в различных условиях внешней среды и физической активности

Аннотация. В статье авторами определены физиологические пределы охлаждения и их границы с учетом степени дискомфорта на основе тепловых ощущений военнослужащих: для комфортного ощущения температура кожи не должна быть для тела ниже 34,5 °С, для стопы — ниже 31,0 °С. Также определен расход тепла на нагрев вдыхаемого воздуха военнослужащими в различных температурных условиях: в условиях полной экипировки при температуре от 0 °С до -30 °С расход тепла на нагрев вдыхаемого воздуха военнослужащими относительно пропорционально снижается при уменьшении температуры окружающей среды и увеличивается по мере повышения их физической активности от состояния покоя до выполнения работ средней тяжести. Кроме того, определено тепловое сопротивление

комплекта военной одежды после двухчасового пребывания военнослужащих в различных температурных условиях в состоянии покоя, умеренной ходьбы и выполнении работ средней тяжести: результаты позволяют получить закономерности эмпирического характера для проектирования и изготовления одежды военнослужащих с учетом климатических особенностей отдельных районов страны в соответствии заданными условиями эксплуатации. Также определены показатели работоспособности и функционального состояния организма при использовании военной одежды в зимних условиях: воздействие холода вызывало активные защитно-приспособительные реакции со стороны организма испытуемого, направленные на сохранение теплового баланса (дефицит тепла после двухчасового нахождения при температуре -10°C составил при выполнении работы средней тяжести — $0,83 \text{ ккал кг}^{-1}$, при умеренной ходьбе — $0,95 \text{ ккал кг}^{-1}$ и в состоянии покоя — $1,15 \text{ ккал кг}^{-1}$, причем скорость потери тепла в состоянии покоя почти в два раза превышала аналогичный показатель в других состояниях; состояние организма военнослужащих во всех состояниях оценено как ощущение холода II степени с дефицитом тепла до $1,25 \text{ ккал кг}^{-1}$).

Материалы настоящей статьи являются частью диссертационного исследования одного из авторов.

Ключевые слова: военная одежда; теплозащитные тканые пакеты; тепловой расчет; тепловое сопротивление; теплового баланса; дефицит тепла; площади частей тела

Введение

Осуществление любого вида деятельности в условиях пониженных температур связано с необходимостью решения проблемы общего переохлаждения организма и замерзания отдельных частей тела человека [1]. Значительная часть территории РФ расположена в северных широтах, и большая часть времени года приходится на зимний и весенне-осенние периоды, характеризующиеся низкими температурами окружающей среды [2].

Воздействие холода вызывает значительные изменения в деятельности целого ряда органов и систем человека [3]. Выраженность этих изменений зависит от конкретных значений климатических параметров, длительности пребывания в условиях пониженных температур и состава используемых средств защиты от холода [4; 5].

Применяемые в настоящее время экспериментальные методы оценки теплозащитных свойств одежды [6–9] весьма громоздки и трудоемки, требуют точной и сложной аппаратуры, многочисленных натурных исследований и часто не обеспечивают достаточной достоверности полученных результатов. Поэтому исследователи одежды создают аналитические (расчетные) методы теплового расчета одежды, в том числе методика расчета процессов комбинированного теплообмена с учетом пассивной и активной тепловой защиты, пола, возраста и состояния организма человека [10]; методика определения тепловой защиты на основе анализа параметров физиологического состояния человека [11]; методика расчета толщины теплоизоляционной подкладки с учетом величин размерных признаков типовых фигур человека [12]; метод расчета эффективного коэффициента теплопроводности теплоизоляционных материалов [13]; альтернативные методы измерения суммарного теплового сопротивления [14] и другие.

Анализ существующих методов [15–18] приближенного теплового расчета военной одежды показал, что все они проводятся на базе анализа теплового баланса организма военнослужащего, в конечном счете, устанавливают, каким суммарным тепловым сопротивлением должна обладать военная одежда для создания комфорта человеку в различных условиях внешней среды и физической активности. При этом, как правило, широко используются усредненные (средневзвешенные) значения физиологических параметров.

Однако с точки зрения проектирования и производства рациональной теплозащитной военной одежды эти данные могут иметь значения только как сугубо ориентировочные, а по существу являются явно недостаточными.

При этом зная показатель суммарного теплового сопротивления военной одежды, можно установить, каким тепловым сопротивлением должны обладать отдельные предметы (головной убор, перчатки, обувь, куртка и др.), из каких материалов и с какими теплофизическими свойствами они должны быть изготовлены, какова должна быть наиболее рациональная конструкция с точки зрения ощущения холода. Это обуславливает цель настоящей работы.

Объекты и методы исследования

В качестве объекта исследования рассматривался комплект зимнего полевого костюма. Оценка физиолого-гигиенического состояния военнослужащих проводилась в условиях термокамеры при температуре воздуха не ниже -30°C и скорости ветра до 1,5 м/с. В процессе исследований испытуемые выполняли работу средней тяжести, дозируемую ходьбой в заданном темпе, или находились в состоянии покоя. Продолжительность нахождения военнослужащих в экипировке в заявленных условиях составляла 120 минут.

Для определения дефицита (накапливания) тепла в организме при эксплуатации комплекта одежды суммарное тепловое сопротивление теплозащитной одежды R рассчитывалось в соответствии с законом Фурье по формуле (1):

$$R = \frac{t_m - t_c}{Q}, \quad (1)$$

где t_m — средневзвешенная температура тела, $^{\circ}\text{C}$;

t_c — температура внешней среды, $^{\circ}\text{C}$;

Q — тепловой поток с участков, закрытых одеждой, Вт.

Следует отметить, что расчет теплового сопротивления предметов одежды целесообразно проводить по участкам тела человека: голове, туловищу, руке (плечо и предплечье), кистям рук, бедру, голени, стопам ног [19].

Для тепловых расчетов предметов одежды и определения плотности теплового потока необходимо знать площадь поверхности тела S , теплоизолированную проектируемой одеждой, которую определяли по широко известной в гигиенической практике формуле Дюбуа (2):

$$S = \frac{P^{0,425} \cdot H^{0,725} \cdot 71,84}{10000}, \quad (2)$$

где P — вес человека, кг;

H — рост человека, см.

Анализируя отдачу тепла организмом в окружающую среду через одежду с 1 м^2 ее поверхности, тепловой поток Q определяли в соответствии с зависимостью (3):

$$Q = K \cdot (t_o - t_c) + B \cdot V \cdot (t_o - t_c) + W \cdot I, \quad (3)$$

где K — коэффициент теплопередачи одежды, $\text{Вт}/\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}$;

t_o — температура пододежного воздуха, $^{\circ}\text{C}$;

t_c — температура среды (температура наружная), °С;

V — коэффициент, учитывающий воздухопроницаемость одежды при обдувании ветром и теплоемкость воздуха;

V — скорость ветра, м/с;

W — количество испаряемой влаги, отнесенное к 1 м² поверхности одежды;

I — теплосодержание пара.

Для оценки теплоизоляционных свойств материалов и пакетов одежды использовали коэффициент теплового сопротивления λ , который при условии плотного прилегания не зависит от структуры и отделки материалов и составляет 0,049 Вт/(м²с) [19].

Результаты исследования и их анализ

Для определения значений показателей теплового сопротивления военной одежды рассчитали средневзвешенные показатели распределения температуры и площади поверхности закрытия одеждой участков тела военнослужащих (табл. 1).

Таблица 1

Распределение температуры и площади поверхности закрытия одеждой участков тела военнослужащего

Участки поверхности тела	Температура кожи, °С	Площадь участка к общей поверхности тела, %	Площадь участка к поверхности тела, закрытого одеждой, %
Голова и прилегающая половина шеи	32,0	7,36	4,50
Туловище и прилегающая половина шеи	32,3	35,50	36,70
Плечи и предплечье (рука)	30,9	13,40	13,70
Кисть	20,7	4,50	4,60
Бедро и ягодица	31,5	20,30	21,00
Голень	32,7	12,50	12,90
Стопа	25,0	6,44	6,60
Средневзвешенное значение	31,0	—	—

Составлено авторами

До настоящего исследования площади поверхности тела военнослужащих для отдельных участков тела определялись приблизительно по так называемому «правилу девяток» (поверхность головы и шеи 9 %, туловища 36 %, верхних конечностей 18 %, нижних конечностей 36 %) [20]. Проведенные исследования позволили более точно определить площади отдельных участков к общей поверхности тела, в том числе и с учетом поверхностей, закрытых одеждой. Исходя из этих данных и зная, какой конструкции будет обмундирование, можно легко определить величину поверхности тела, которую она покрывает. Например, зимний костюм, покрывая туловище (34 %), плечо и предплечье (13,4 %), бедро (20,3 %) и голень (12,5 %), защитит 81,2 % всей поверхности тела.

Анализируя данные таблицы 1 в отношении значений температуры тела на отдельных участках, следует отметить, что разница обусловлена, прежде всего, особенностями физиологического строения мышечной, костной, хрящевой тканей и содержанием жидкости в различных органах и системах организма военнослужащих.

Вместе с тем, существуют физиологические пределы охлаждения. Их границы гораздо уже. Воздействие холода в данном случае не оказывает на организм военнослужащего

выраженного негативного влияния. При умеренном охлаждении он испытывает различные степени дискомфорта, которые тесно связаны с тепловыми ощущениями.

На основе обобщений результатов исследований в таблице 2 приведены значения функциональных показателей в зависимости от выраженности гипотермии.

Таблица 2

Характеристика теплового состояния организма военнослужащего

Теплоощущения	Средневзвешенная температура кожи тела, °С	Средневзвешенная температура кожи стопы, °С
Ощущение «комфортно»	32,0–34,5	29,0–31,0
Ощущение «прохладно»	29,0–31,0	25,0–29,0
Ощущение «холодно»	28,0–29,0	22,0–25,0
Ощущение «очень холодно»	ниже 28,0	17,0–21,0

Составлено авторами

Анализ таблицы 2 показывает, что для комфортного ощущения температура кожи не должна быть для тела ниже 34,5 °С, для стопы — ниже 31,0 °С.

Также следует отметить, что одежда не может обеспечить тепловой комфорт во всех условиях жизнедеятельности военнослужащего. При длительном пребывании на холоде (особенно в условиях сурового климата) любая одежда становится недостаточной по своим теплозащитным свойствам [19]. В этом случае при проектировании теплозащитной военной одежды надо иметь ясное представление о пределах возможно допустимого дискомфорта одежды, так называемого ощущения холода.

Целесообразно для условий холода ввести понятие о трех степенях ощущения холода:

- ощущение холода I степени — состояние, при котором человеку прохладно, но не опасно для здоровья (дефицит тепла до 0,75 ккал·кг⁻¹);
- ощущение холода II степени — состояние организма, длительное пребывание в котором опасно для здоровья (дефицит тепла до 1,25 ккал·кг⁻¹);
- ощущение холода III степени — состояние, при котором человеку очень холодно, одежда и механизм терморегуляции организма не могут предохранить его от чрезмерного охлаждения (дефицит тепла более 1,25 ккал·кг⁻¹).

Однако, следует учитывать, что состояния ощущения холода будут различны для разных участков тела. Основным компонентом тепловых потерь в исследуемых условиях являются тепловые потоки, идущие в окружающую среду через органы дыхания и с поверхности тела. Интенсивность теплотерь, связанных с дыханием, находится в прямой зависимости от тяжести выполняемой физической нагрузки, вследствие увеличения легочной вентиляции при росте энерготрат.

Результаты определения расхода тепла на нагрев вдыхаемого воздуха военнослужащими в различных температурных условиях приведены в таблице 3.

Таблица 3

**Расход тепла на нагрев вдыхаемого воздуха
военнослужащими в различных температурных условиях**

Состояние в процессе эксперимента	Расход тепла, Вт, при температуре окружающей среды, °С						
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
Состояние покоя	6,12	7,02	8,13	9,1	10,2	11,2	12,2
Умеренная ходьба	12,2	14,3	16,3	18,4	20,4	22,5	24,4
Выполнение работы средней тяжести	17,1	19,9	22,8	25,6	28,5	31,4	34,2

Составлено авторами

Данные таблицы 3 показывают, что в условиях полной экипировки при температуре от 0 °С до -30 °С расход тепла на нагрев вдыхаемого воздуха военнослужащими относительно пропорционально снижается при уменьшении температуры окружающей среды и увеличивается по мере повышения их физической активности от состояния покоя до выполнения работ средней тяжести.

В таблице 4 представлены данные о тепловом сопротивлении комплекта военной одежды после двухчасового пребывания военнослужащих в различных температурных условиях.

Таблица 4

Тепловое сопротивление комплекта военной одежды после двухчасового пребывания военнослужащих в различных температурных условиях

Состояние в процессе эксперимента	Тепловое сопротивление одежды, м ² ·°С/Вт, при температуре окружающей среды, °С						
	0	-5	-10	-15	-20	-25	-30
Состояние покоя	0,56	0,63	0,72	0,82	0,92	1,02	1,11
Умеренная ходьба	0,20	0,24	0,28	0,33	0,37	0,41	0,46
Выполнение работы средней тяжести	0,14	0,16	0,20	0,22	0,23	0,28	0,32

Составлено авторами

Данные таблицы 4 позволяют получить закономерности эмпирического характера для проектирования и изготовления одежды военнослужащих с учетом климатических особенностей отдельных районов страны в соответствии заданными условиями эксплуатации.

Неравномерность распределения теплоизоляции в различных элементах зимнего обмундирования обусловлена рассеиванием тепла с поверхностей различной кривизны, что при этом функционально целесообразно, но дополнительно усугубляет развитие гипотермии. В связи с этим достаточно сложно решить проблему утепления конечностей, так как именно здесь толщина теплозащитного слоя меньше необходимой.

Показатели работоспособности и функционального состояния организма при использовании военной одежды в зимних условиях представлены в таблице 5.

Таблица 5

Показатели работоспособности и функционального состояния организма при использовании военной одежды в зимних условиях

Наименование показателя	Значения показателей при температуре при температуре окружающей среды -10 °С						
	выполнение работы средней тяжести		умеренная ходьба		состояние покоя		
	исходное	через 120 минут	исходное	через 120 минут	исходное	через 120 минут	
Частота сердечных сокращений, уд. мин ⁻¹	80±6	101±5	76±8	99±7	79±5	93±4	
Артериальное давление, мм рт. ст.	<u>122±2</u> 88±2	<u>138±5</u> 97±4	<u>125±6</u> 80±8	<u>130±7</u> 90±4	<u>120±5</u> 76±4	<u>128±3</u> 94±9	
Температура, °С	тела под языком	36,3±0,2	35,4±0,2	36,5±0,2	35,5±0,4	36,6±0,2	35,3±0,3
	тыла кисти	31,7±0,4	21,8±0,4	30,3±1,6	23,8±0,7	30,6±0,9	20,6±0,3
	пальцев рук	30,2±1,8	18,9±1,4	30,6±1,3	19,6±1,6	29,8±0,8	17,2±0,8
	тыла стопы	31,5±1,8	22,4±0,7	32,3±0,8	22,7±1,3	31,6±1,3	21,6±0,5
	пальцев ног	25,8±2,9	15,2±0,2	25,2±1,4	15,0±0,1	25,1±0,6	15,3±0,2
	щек	31,3±2,4	13,3±1,7	30,5±2,1	12,3±0,7	31,4±1,1	15,5±0,6
Средневзвешенная температура кожи, °С	32,8±0,4	31,2±0,5	32,8±0,3	30,9±0,4	32,4±0,5	29,9±0,4	
Дефицит тепла, ккал·кг ⁻¹	–	0,83±0,05	–	0,92±0,04	–	1,15±0,08	

Составлено авторами

В подтверждение сказанного следует отметить, что во всех рассматриваемых случаях причиной прекращения исследований являлось достижение критериальных значений температуры кожи дистальных фаланг пальцев. В интервале от 60 до 85 минут от начала эксперимента испытуемые начинали предъявлять жалобы на замерзание пальцев.

Охлаждение рук не выходило за границы предельных величин. Однако к моменту завершения исследований большинство их участников оценивали свои теплоощущения с поверхности кистей рук на уровне «холодно».

Снижение температуры конечностей играет важную роль в теплорегуляции организма. При охлаждении ведущее место в теплопередаче изнутри к наружи занимает конвективный перенос тепла циркулирующей кровью. С одной стороны, в силу своей конфигурации кисти рук и стопы являются своеобразными радиаторами, быстро теряющими тепло в окружающую среду. С другой стороны, снижение температуры конечностей является буфером для организма в целом, что до известных пределов обеспечивает постоянство температуры висцеральных органов и их нормальную работу.

В рассматриваемых случаях дефицит тепла составил при выполнении работы средней тяжести — $0,83 \text{ ккал кг}^{-1}$, при умеренной ходьбе — $0,95 \text{ ккал кг}^{-1}$ и в состоянии покоя — $1,15 \text{ ккал кг}^{-1}$. Причем скорость потери тепла в состоянии покоя почти в 2 раза превышала аналогичный показатель в первых двух состояниях. Это свидетельствует о важности хорошей теплоизоляции, так как наличие участков тела, быстро теряющих тепло в окружающую среду, неизбежно приводит к более выраженному общему охлаждению.

В целом, воздействие холода вызывало активные защитно-приспособительные реакции со стороны организма испытуемого, направленные на сохранение теплового баланса. Повышение тонуса сосудов «оболочки» тела приводило к снижению температуры поверхности кожи, что вызывало сокращение теплопотерь в окружающую среду.

Со стороны сердечно-сосудистой системы отмечалась тенденция к холодовой гипертермии. Средние значения частоты сердечных сокращений к концу эксперимента во всех трех случаях не превышали 100 уд. мин^{-1} . Это свидетельствует о значительных ресурсах сердечно-сосудистой системы и способности к дальнейшему выполнению физической работы.

В заключение следует отметить, что эксплуатация зимнего комплекта обмундирования предусмотрена в широком диапазоне температур (от низких положительных до минус $30 \text{ }^\circ\text{C}$), а возможности по варьированию его теплозащитными свойствами, соответствующими климатическим условиям и тяжести выполняемой нагрузки, весьма ограничены. В зимних условиях гипотермия, чаще всего, развивается вследствие низкой физической активности человека. С другой стороны, повышение температуры тела, вызванное интенсивной физической работой, может сменяться в момент снижения физической активности значительным его охлаждением. Это связано с процессом уменьшения теплоизолирующих свойств одежды за счет увлажнения ее потом. Чем более избыточна теплоизоляция, тем более выражено данное явление. Для удаления избытков метаболического тепла в конструкции одежды необходимо предусматривать специальные вентиляционные клапаны, съемные утеплители. Существенно расширить временные границы выполнения работы можно за счет использования индивидуальных источников обогрева.

Выводы

С целью рационального строения теплозащитных тканых пакетов военной одежды на основе результатов проведенных исследований сделаны следующие выводы:

1. Определены площади отдельных участков к общей поверхности тела, в том числе с учетом поверхностей, закрытых одеждой. Исходя из этих данных и зная, какой конструкции будет обмундирование, можно легко определить величину поверхности тела, которую она покрывает. Например, зимний костюм защитит 81,2 % всей поверхности тела.

2. Определены физиологические пределы охлаждения и их границы с учетом степени дискомфорта на основе тепловых ощущений военнослужащих. Для комфортного ощущения температура кожи не должна быть для тела ниже 34,5 °С, для стопы — ниже 31,0 °С.

3. Определен расход тепла на нагрев вдыхаемого воздуха военнослужащими в различных температурных условиях. В условиях полной экипировки при температуре от 0 °С до -30 °С расход тепла на нагрев вдыхаемого воздуха военнослужащими относительно пропорционально снижается при уменьшении температуры окружающей среды и увеличивается по мере повышения их физической активности от состояния покоя до выполнения работ средней тяжести.

4. Определено тепловое сопротивление комплекта военной одежды после двухчасового пребывания военнослужащих в различных температурных условиях в состоянии покоя, умеренной ходьбы и выполнении работ средней тяжести. Результаты позволяют получить закономерности эмпирического характера для проектирования и изготовления одежды военнослужащих с учетом климатических особенностей отдельных районов страны в соответствии заданными условиями эксплуатации.

5. Определены показатели работоспособности и функционального состояния организма при использовании военной одежды в зимних условиях. Отмечено, что воздействие холода вызывало активные защитно-приспособительные реакции со стороны организма испытуемого, направленные на сохранение теплового баланса. Дефицит тепла после двухчасового нахождения при температуре -10 °С составил при выполнении работы средней тяжести — 0,83 ккал кг⁻¹, при умеренной ходьбе — 0,95 ккал кг⁻¹ и в состоянии покоя — 1,15 ккал кг⁻¹, причем скорость потери тепла в состоянии покоя почти в 2 раза превышала аналогичный показатель в других состояниях. Состояние организма военнослужащих во всех состояниях оценено как ощущение холода II степени с дефицитом тепла до 1,25 ккал·кг⁻¹.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьева Р.Ф., Тихонова Н.В., Михайлов А.Б., Осина Т.М., Михайлова И.Д., Прохоров В.Т., Полухина С.Ю. Полимерные материалы в производстве костюма для военнослужащих Арктики // Вестник Технологического университета. — 2015. — Т. 18. № 15. — С. 167–171.
2. Дыбин А.С., Меньшикова Л.И., Мавренков Э.М., Флеров А.А. Качество жизни военнослужащих в арктической зоне Российской Федерации // Вестник Российской Военно-медицинской академии. — 2019. — № 3(67). — С. 137–140.
3. Михайлова В.Н. Разработка требований к спецодежде для защиты от холода // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2009. — № S12. — С. 194–199.
4. Григорьева Е.А. Оценка теплоизоляционных свойств одежды человека в климатических условиях дальнего востока России // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. — 2012. — Т. 14. № 5–2. — С. 534–537.
5. Бичкаева Ф.А., Кокоев Т.И., Джioева Ц.Г., Джабиева З.А., Волкова Н.И. Жировой обмен у жителей, проживающих на двух различных климатогеографических территориях // Авиакосмическая и экологическая медицина. — 2013. — Т. 47. № 4. — С. 19.
6. Разумеев К.Э., Разбродин А.В., Юдин Б.В. Единицы измерения и экспериментальная оценка теплозащитных свойств текстильных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология легкой промышленности. — 2009. — Т. 4. № 2. — С. 29–34.
7. Добровольская Т.А. Автоматизация расчета теплозащитной одежды при формировании структуры пакета материалов // Костюмология. — 2019. — Т. 4. № 2. — С. 7.
8. Бокарев М.А., Черепанов Н.Ю., Мусиков М.А., Киселев Н.А., Сильчук С.М. Использование термоманикенов при оценке термозащитных свойств одежды // Известия Российской Военно-медицинской академии. — 2019. — Т. 38. № S3. — С. 44–47.
9. Романенко В.И., Бринк И.Ю. Ограничения при расчете тепловой защиты спального мешка // Евразийское научное объединение. — 2018. — № 5–1(39). — С. 57–59.
10. Хромова И.В., Чичиндаев А.В., Дьяченко Ю.В. Влияние термического сопротивления защитной одежды на тепловой комфорт человека в условиях низких температур // Доклады Академии наук высшей школы Российской Федерации. — 2019. — № 4(45). — С. 74–84.
11. Богданов В.Ф., Ширшова Е.Е., Колесник С.А., Бринк И.Ю. Разработка методики расчета толщины пакета спального мешка при заданных условиях эксплуатации // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. — 2021. — № 3(393). — С. 51–56.
12. Окунев Р.В. Методика расчета толщины теплоизоляционной подкладки для комбинированного костюма индивидуальной защиты с элементами положительной плавучести // Вестник Витебского государственного технологического университета. — 2020. — № 1(38). — С. 71–78.

13. Мишаков В.Ю., Советников Д.А., Павлов М.А., Кирсанова Е.А. Разработка метода анализа и расчета эффективного коэффициента теплопроводности нетканого теплоизоляционного материала // Theoretical & Applied Science. — 2017. — № 7(51). — С. 21–27.
14. Петюль И.А., Сапёлко В.В. Исследование суммарного теплового сопротивления пакетов материалов альтернативными методами // Вестник Витебского государственного технологического университета. — 2019. — № 1(36). — С. 68–80.
15. Бокарев М.А., Черепанов Н.Ю., Мусиков М.А., Киселев Н.А. Анализ современных подходов к формированию пакетов материалов для теплозащитной одежды военнослужащих // Известия Российской Военно-медицинской академии. — 2019. — Т. 38. № S3. — С. 32–39.
16. Селина Н.Г., Михайлов А.Б., Тихонова Н.В., Осина Т.М., Прохоров В.Т. О поиске эффективных решений по защите коленных и локтевых суставов военнослужащих Арктики при воздействии на них низких температур // Вестник Технологического университета. — 2016. — Т. 19. № 22. — С. 93–96.
17. Селина Н.Г., Кораблина С.Ю., Осина Т.М., Афанасьева Р.Ф., Прохоров В.Т. Оценка обоснованности выбора пакетов материалов по формированию комфортных условий военнослужащим Арктики // Научный альманах. — 2015. — № 12–2(14). — С. 199–225.
18. Селина Н.Г., Михайлов К.А., Михайлов А.Б., Прохоров В.Т., Суровцева О.А., Тихонова Н.В. О новых возможностях программного продукта для подбора пакетов материалов к костюму военнослужащих по их защите от воздействия низких температур // Theoretical & Applied Science. — 2017. — № 10(54). — С. 114–125.
19. Зезин В.А., Котоменкова О.Г., Горина Е.В. Оптимизация строения тканых пакетов для бронезащитных материалов: Монография. — Саратов: Наука, 2008. — 80 с.
20. Котоменкова О.Г., Зезин В.А., Горина Е.В. Изменение свойств материалов для изготовления военной одежды в процессе эксплуатации: Монография. — Саратов: Наука, 2007 — 80 с.

Kotomenkova Olga Gennadievna

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

E-mail: kot-og@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0034-0315>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=620741

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/AAF-5638-2019>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57205389274>

Google Академия: <https://scholar.google.com/citations?user=JrjiUnYAAAAJ>

Vinogradova Anna Vyacheslavovna

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg, Russia

E-mail: ann-vin@yandex.ru

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6039-429X>

RSCI: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=288484

Researcher ID: <https://www.researcherid.com/rid/H-8802-2018>

SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57205391665>

Google Академия: https://scholar.google.com/citations?user=fBWt_7gAAAAJ

Thermal calculation of heat-protective woven bags of military clothing in various environmental conditions and physical activity

Abstract. In the article, the authors determined the physiological limits of cooling and their boundaries, taking into account the degree of discomfort based on the thermal sensations of military personnel: for a comfortable feeling, the skin temperature should not be lower than 34.5 °C for the body, lower than 31.0 °C for the foot. The heat consumption for heating the inhaled air by military personnel in various temperature conditions is also determined: in conditions of full equipment at a temperature from 0 °C to -30 °C, the heat consumption for heating the inhaled air by military personnel decreases relatively proportionally with a decrease in ambient temperature and increases as their physical activity increases from rest to moderate work. In addition, the thermal resistance of a set of military clothing was determined after a two-hour stay of military personnel in various temperature conditions at rest, moderate walking and performing moderate work: the results allow us to obtain empirical patterns for the design and manufacture of military clothing, taking into account the climatic characteristics of certain areas of the country in accordance with the specified operating conditions. The indicators of the working capacity and functional state of the body when using military clothing in winter conditions were also determined: exposure to cold caused active protective and adaptive reactions on the part of the subject's body aimed at maintaining thermal balance (heat deficiency after two hours at a temperature of -10 °C was 0.83 kcal*kg⁻¹ when performing moderate work, 0.95 kcal*kg⁻¹ and at rest — of 1.15 kcal*kg⁻¹, and the rate of heat loss at rest is almost two times higher than in other States; the condition of the body of soldiers in all States assessed as the feeling of cold II degree with a deficit of heat to 1.25 kcal*kg⁻¹).

The material in this article are part of a dissertation research one of the authors.

Keywords: military clothing; heat-protective woven bags; thermal calculation; thermal resistance; thermal balance; heat deficit; body parts area