



ТЕХНИЧЕСКИ УНИВЕРСИТЕТ - СОФИЯ
ЕНЕРГОМАШИНОСТРОИТЕЛЕН ФАКУЛТЕТ

Катедра „Текстилна техника“

маг. инж. Елена Чавдарова Георгиева

Изследване на термофизиологичните свойства на
текстилни изделия,
предназначени за върхно облекло
за защита от ниски температури

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация
за присъждане на образователна и научна степен „доктор“

Научна специалност: „Технология на текстилните материали“

Научен ръководител
доц. д-р инж. Радостина А. Ангелова

СОФИЯ
2017

Дисертационния труд е обсъден, одобрен и насочен за защита от Разширен катедрен съвет на катедра „Текстилна техника“ при Технически университет – София, състоял се на 03.11.2016г.

Номерата на формулите, фигурите, таблиците и цитираната литература в автореферата съответстват на тези в дисертацията.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 28.02.2017г. от 13.00ч. в Конферентната зала на БИЦ на Технически университет – София.

Материалите по защитата са на разположение на интересуващите се в канцеларията на Енергомашиностроителен факултет при Технически университет – София, бул. „Св. Климент Охридски“ № 8, бл. 2, ет. 3, стая 2346.

Научно жури в състав:

Проф. д-р инж. Христо Михайлов Петров – Председател

Доц. д-р инж. Радостина Ангелова Ангелова – Секретар

Проф. д-р инж. Иван Борисов Георгиев

Доц. д-р Богдана Иванова Митова

Доц. д-р Сашо Петров Александров

Рецензенти:

Проф. д-р инж. Христо Михайлов Петров, ТУ-София

Доц. д-р Богдана Иванова Митова, външен за ТУ-София

Автор: маг. инж. Елена Чавдарова Георгиева

Заглавие: Изследване на термофизиологичните свойства на текстилни изделия, предназначени за върхно облекло за защита от ниски температури

Тираж: 30 броя

Печатна база: Издателство на Технически университет –София, 2017

ОБЩА ХАРАКТЕРИСТИКА НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

Актуалност на проблема

Ниските температури са често срещано явление в много страни от европейския регион. Студът, ледът и снегът могат да окажат сериозно влияние върху здравето. Освен това общата смъртност при населението е много по-висока през зимата, отколкото през лятото.

Човешкото тяло притежава изключително фина система за терморегулация, която реагира на температурата на околната среда така, че да запази температурата на вътрешните органи около 37 °С. Без защитата на облеклото и завивките обаче, терморегулационната система не би могла да се справи със защита на тялото при температури под 18 °С, без да се получат по-леки или по-тежки увреждания от студената среда. Ето защо облеклото е изключително важен фактор за всички дейности на човека, свързани с експозиция в среда с ниски температури. То е защитна бариера между тялото и околната среда и активен участник в процесите на топло- и масообмен между тях.

Адекватно избраното облекло за защита от ниски температури осигурява необходимия термофизиологичен комфорт на човека в студената среда най-често само за определен период от време. Този адекватен подбор е свързан с притежавани от облеклото и площните текстилни изделия, от които е изградено, свойства, свързани с процесите на пренос на топлина, въздух и влага. Тъй като тези преносни процеси предопределят термофизиологичния комфорт на индивида в каквато и да е среда (вкл. такава с ниски температури), свойствата на площните текстилни изделия, свързани с термофизиологичния комфорт, се дефинират като термофизиологични свойства: топлинно съпротивление (или топлинна изолация), въздухопропускливост, паропропускливост, пренос на течности и др.

Ето защо проблемът за оценка на защитните способности на облеклата в среда с ниски температури е сложен и актуален въпрос, както в научен, така и в приложен аспект. Всяко изследване върху термофизиологичните свойства на текстилните изделия допринася за натрупване на информация за все по-адекватен подбор на текстилни изделия при проектирането на облекла за защита от ниски температури. От особено значение са връхните облекла, които имат пряк контакт с вътрешните слоеве облекло (горно облекло), с кожата (около шията, лицето и китките на ръцете) и с околната среда.

Цел и задачи на дисертационния труд

Целта на дисертационния труд е да се извърши комплексно изследване на свойствата на площни текстилни изделия, предназначение за изработване на връхни облекла за защита от ниски температури и ефекта им върху термофизиологичния комфорт на човека.

Въз основа на поставената цел се формулират и следните задачи:

1. Да се направи проучване и анализ на материалите и структурите площни текстилни изделия, използвани за изработване на връхни облекла за защита от ниски температури.

2. Да се направи проучване и анализ на изискванията и оценката на връхните облекла за защита от ниски температури по отношение на термофизиологичния комфорт.

3. Да се проведат експериментални изследвания на свойствата на площни текстилни изделия, използвани за връхни облекла, свързани с термофизиологичния комфорт: пренос на въздух, влага, топлина и водни пари през единични слоеве и през системата слоеве, изграждащи облеклото.

4. Да се извърши анализ и оценка на въздействието на структурни, геометрични и масови характеристики на единичните площни изделия и на системите слоеве върху преносните процеси, свързани с термофизиологичния комфорт.

5. Да се извърши анализ и оценка на ефекта на преносните процеси през единичните слоеве върху преносните процеси през системите слоеве за връхни облекла, свързани с термофизиологичния комфорт

6. Да се извърши оценка на изследваните облекла за защита от ниски температури по отношение на стандартизирани индекси за определяне на топлинния баланс при дейности в студена среда

7. Да се изследва експериментално ефектът на студена среда върху термофизиологични реакции (температурата на открити части на тялото и мозъчна активност) и топлоизолационна способност на връхното облекло при използване на реални субекти в контролирана среда.

Научна новост и приложимост на резултатите

Въпреки значението на студената среда за здравето, производителността и комфорта на съществена част от населението на земята, не съществуват стандартизирани стойности на термофизиологичните свойства на облеклата за защита от ниски температури по отношение на преноса на топлина, въздух и влага. Съществена причина за това е взаимната свързаност на тези свойства, както и зависимостта им от конкретни структурни, геометрични и масови характеристики на площните текстилни изделия и комбинациите от тях, използвани в облеклата.

Апробация на дисертацията

Дисертационният труд е докладван и обсъден на етапи и в завършен вид на три разширени катедрени съвети на катедра „Текстилна техника“ при Технически университет – София, в периода 2014 – 2016г.

Теоретичните експерименталните резултати от него са представени в научен отчет по договор № 142 ПД 0045 – 02 към НИС при ТУ – София

Публикации по дисертацията

Резултатите от дисертационният труд са публикувани в 8 научни статии.

Обем на дисертацията

Дисертационният труд е с обем 184 страници и съдържа 151 фигури, 67 таблици и 235 литературни източника, от които 14 на кирилица и 221 на латиница.

Глава 1. Въведение в проблема – актуалност на темата в научен и приложен аспект

Направено е въведение в темата и е доказана актуалността ѝ.

Глава 2. Проучване и анализ на състоянието на проблема

2.1. Човешкото тяло и околната среда

В тази част от дисертационният труд е разгледано взаимодействието между човешкото тяло и околната среда, механизмите за регулиране на температурата на човешкото тяло и нараняванията, които може да причинят ниските температури.

2.3. Използвани материали за защитни облекла от ниски температури

Анализирани са материалите използвани за производството на облекла за защита от ниски температури

2.4. Комфорт на облеклото

Комфортът на облеклото представлява сложна смесица от различни, преобладаващо субективни усещания, като физиологична, психологична и физическа хармония между човешкото тяло и околната среда (Slater, 1985). По-просто казано, комфортът може да се дефинира като липса на дискомфорт (Milenković et al., 1999) или липса на болка, притеснение или неприятно усещане при допир до човешкото тяло (Hatch, 1993).

В литературата терминът комфорт на облеклото се класифицира в три категории (Yoon, 1984):

- ✓ *Естетически (психологичен) комфорт*: основава се на субективни усещания и модни тенденции, които се влияят от предпочитанията на потребителя.
- ✓ *Термофизиологичен комфорт*: способността на облеклото да поддържа топлинно равновесие между човешкото тяло и околната среда. Преносът на топлина, течности и газове през материала са свойствата, които допринасят за термофизиологичния комфорт.
- ✓ *Тактилният комфорт* е свързан с механичното взаимодействие между материала, от който е произведен облеклото, и човешкото тяло.

Термофизиологичният и тактилният комфорт се отнасят до структурата и свойствата на тъканта, докато естетическият комфорт се отнася в голяма степен и до дизайна на облеклото. Термофизиологичният и тактилният комфорт зависят също от физическата активност на обекта и условията на околната среда. При облеклата за защита от ниски температури двата вида комфорт имат еднаква важност.

2.5. Преносни процеси, определящи термофизиологичния комфорт при облекла за защита от ниски температури

Преносът на топлина през текстилен слой, независимо от вида на площното текстилно изделие, се различава от преноса на топлина през твърдо тяло (Fricke & Caps, 1988; Haghi, 2002). Това се дължи на присъствие на въздух както между влакната в преждата така и между нишките в готовото изделие.

Преносът на топлина през текстилните слоеве, съставлящи облеклото, е сложен процес. Ефектът от движението на тялото и дизайна на облеклото, както и наличието на вятър би могъл да допринесе за топлобмена, тъй като прониква въздух в и между слоевете облекла. Един ансамбъл от облекла с изолация 0,9-1,8 clo, например, би могъл да намали изолацията си с около 30-

35% по време на ходене. Освен това вятър би могъл да проникне в отделните слоеве и да намали допълнително изолацията (Holmer, 1988).

Преносът на топлина и флуиди в и през системи от облекла е сложен процес и е силно зависи от параметрите на околната среда (температура на въздуха, средна радиационна температура, влажност на въздуха и скорост на вятъра), като и от физичните свойства на плата и дебелината на въздушните слоеве (Havenith, 1999). През тези системи облекла се извършва постоянен топлообмен между човешкото тяло и околната среда. Топлообменът се осъществява:

- *двупосочно*: чрез явен топлообмен (чрез конвекция, топлопроводност и радиация) и чрез скрит топлообмен (чрез дифузия на водни пари и пот);
- *еднопосочно*: чрез метаболитната топлина, изпарение и съхранената топлина.

2.6. Термофизиологични свойства на площните текстилни изделия

Свойствата на площните текстилни изделия, респ. на облеклата, които въздействат върху термофизиологичните процеси в човешкото тяло, се определят като „термофизиологични свойства” (Geraldес et al., 2011). Термофизиологичните свойства са свързани със способността на текстилните изделия да провеждат топлина, въздух и влага.

Облеклата за защита от ниски температури трябва да осигуряват добра топлоизолация, да могат да балансират загубата на топлина към околната среда и да осигурят преноса на топлина от тялото при повишена активност. Освен това облеклата трябва да имат добра паропропускливост, за да може потта, отделена при висока физическа активност на човека, да се адсорбира или абсорбира лесно в текстилните слоеве на облеклото (Suprun, 2003).

Тъй като пазарът на функционални облекла, като облекла за спорт, облекла за дейности на открито и защитни облекла, непрекъснато се разширява, комфортните свойства на тези облекла са обект на специално внимание. Потребителите са готови да плащат по-висока цена за спортни облекла, на чиито етикети е отразена информация за комфортните свойства на облеклото, в частност способността на облеклото да ги защитава от ниски температури. Това обаче е трудно реализируемо за момента поради цената на изследванията и многообразието на методи за оценка, които не са оценени еднозначно (Kim et al., 2006).

Термофизиологичните свойства на облеклата за защита от ниски температури могат да бъдат оценени чрез използване на различни методи, приложени в работите на Farnworth, 1986; Goldman, 1978; Gretton, 1998; Oszeski, 1996; Volkmar, 2002. Единствения начин да се осигури цялостна оценка е чрез потребителски тестове и изпитвания. Въпреки това тези тестове са нереалистични за системи облекла, тъй като са скъпи, трудно се контролират променливите, а субективното усещане доминира. Освен това използването на хора в студена среда може да е опасно за здравето им (Kim et al., 2006).

Много по-широко използвани от експериментите с хора са оценките с топлинни манекени и устройства, които симулират пренос на топлина и/или влага. Въпреки това облекла за защита от ниски температури не са достатъчно изследвани, с изключение на топлоизолационните им свойства (Umbach, 1993; Farnworth et al., 1990; Fohr et al., 2002; Li et al., 2002; Kim et al., 2003; Kim et al., 2006).

Всеки един слой от облеклото влияе върху термофизиологичния комфорт. Предвиждането на поведението на облеклото в конкретна среда е

етап от проектирането, което е сложна задача, тъй като изисква наличие на база данни за свойствата на отделните слоеве в единичното изделие, както и взаимодействието на облеклата от ансамбъла. Върхните облекла за защита от ниски температури трябва да предпазват човешкият организъм от неблагоприятното въздействие на околната среда и в същото време да участват в терморегулацията на тялото, процесите на топло- и масообмен от повърхността на кожата към околната среда (Morrissey & Rossi, 2013).

Изследването на Barker (2005) показва, че площните текстилни изделия влияят силно върху термофизиологичния комфорт. От особено значение са масата, дебелината и площното запълване (площната пористост). Тези изводи се допълват и от Wang et al. (2007), който заключава, че доброто познаване на свойствата на материалите и свойствата на платовете при подбора им за изработване на облекла може да осигури по-ефективен пренос на влага, минимални загуби на топлина и добра изолация от околната среда.

В дисертационният труд е направено проучване на термофизиологичните свойства: въздухопропускливост, пренос на влага и водни пари, пренос на топлина

2.7. Изолация на облеклото

Разгледани са видовете изолация.

2.8. Изводи от литературното проучване

Извършеният преглед на изследванията в областта на проектирането изследването, приложението и експлоатацията на облекла за защита от ниски температури позволяват да се идентифицират, анализират и съпоставят факти и резултати, свързани с тази област. В Глава 3 на дисертационния труд са разгледани теоретичните предпоставки и изследванията относно:

- Комфорта на облечено тяло, термофизиологичен комфорт, реакции на терморегулационната система в среда на ниски температури, увреждания на човешкото тяло при ниски температури;
- Комфорта на облекла за защита от ниски температури, материали и структура на върхните облекла, термофизиологични свойства на площни текстилни изделия, специфика на преносните процеси през облекла за защита от ниски температури;
- Изолация на облеклото; стандартизирани индекси за необходима изолация на облеклото (IREQ) и продължителност за излагане на ниски температури (DLE).

От направения анализ на литературните източници е установено, че:

- Недостатъчно е изследван въпросът за върхните облекла за защита от ниски температури, въпреки констатирания факт, че топлинната изолация на ансамблите за защита се дължи преди всичко на върхното облекло. Изследванията са съсредоточени върху цели ансамбли, предимно с използване на топлинни манекени или симулатори „човек-облекло-околна среда“. Изследванията извършвани със симулатора на човешка кожа Permatest са предимно за един слой текстилни изделия или системи слоеве, които не са предназначени за защита от ниски температури..
- Не е разгледан достатъчно въпросът за влиянието на структурните и масовите характеристики на единичните слоеве и на системи слоеве, предназначени за върхни облекла за защита от студ, върху преносните процеси през единичния слой и през системата слоеве.
- Не е разгледан въпросът за ефекта на преносните процеси през

единичните слоеве, изграждащи върхното облекло за защита от студ, върху преносните процеси през системата слоеве (самото облекло).

- Не са установени цялостни изследвания върху термофизиологичните свойства на върхни облекла за защита от студ: публикации, които да разглеждат преноса на въздух, топлина, водни пари и течности през облекла или системи слоеве за облекла за защита от студ; подобни процеси са само частично разглеждани.
- Установени са грешки и несъответствия между стандарт ISO 11079:2007 и предходни версии на стандарта, както и с други стандарти. Установени са несъответствия между интернет програмата за прогнозиране на индекса за необходима изолация на облеклото (IREQ) и стандарта, което я прави недостоверна за практическо използване.
- Не са установени изследвания върху топлинната изолация на облекла за защита от ниски температури с използване на реални субекти в студена среда, които да обсъждат изменението на температурата на върхното облекло като част от системата „човешко тяло – облекло – околна среда”,

Глава 3. Избор на образци. Анализ на площни текстилни изделия

Целта на Глава 3 е да се определят експериментално геометричните, масовите и структурните характеристики на площните текстилни изделия, предназначени за изработване на облекла за защита от студ. По този начин може да се търси връзка между характеристиките и термофизиологичните свойства на единичните слоеве и системите слоеве от тях, което е обект на разглеждане в следващите глави.

3.1. Избор на образци за провеждане на експеримента

Изборът на образци се основава на предназначението на облеклата и тяхната структура. Избрани са облекла за защита от ниски температури в условията както на градска среда, така и за планински условия и са от типа „върхно облекло” – мъжко, дамско и детско.

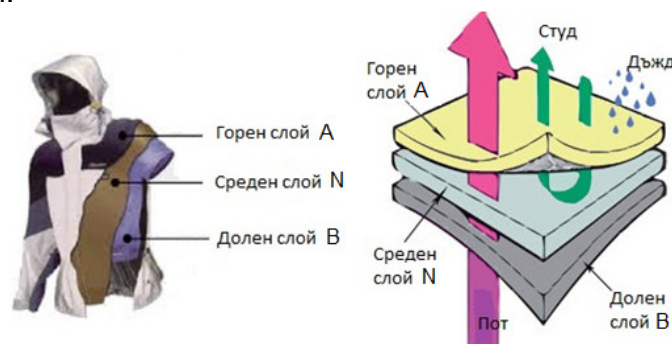
Моделите са подбрани така, че всичките да бъдат с дължина до линия на ханша (якета) и да изискват използването на три слоя площни текстилни изделия. По тази причина, например, са изключени вълнени палта, тъй като те по правило са с по-голяма дължина и не включват допълнителен топлоизолационен слой между лицевия плат и подплатата. Избрани са и модели, които изискват използването на нетъкан текстил като топлоизолационен слой (а не гъши пух / перушина, например). Пет от моделите са произвеждани от фирма за изработване на върхно облекло и са сред най-продаваните (търсени) на пазара. Два от моделите се изработват от фирма, специализирана в производството на зимни спортни облекла.

Облеклата за защита от ниски температури се изработват по правило от три слоя площни текстилни изделия – Фиг. 3.2:

- ✓ Горен слой: лицев плат, който е в контакт с околната среда. В дисертационния труд тези образци са кодирани с „А”.
- ✓ Среден слой: скрит слой, който осигурява топлинната изолация на тялото. В дисертационния труд това са образците, кодирани с „N”.
- ✓ Долен слой: подплата, която е в контакт главно с горното облекло. В дисертационния труд тези образци са кодирани с „В”.

Седем вида тъкани площни изделия са използвани в системите слоеве като горен слой А, и седем – като долен слой В. Два вида нетъкани площни текстилни изделия са използвани като среден слой N. На базата на замяна на

средния слой N и запазване на слоевете A и B са съставени комбинации от общо 14 системи.



Фиг. 3.2. Слоевете на облекла за защита от ниски температури

Анализът на единичните слоеве от тъкани и нетъкани плоски текстилни изделия с цел установяване на техните структурни, геометрични и масови характеристики се налага заради непредставени или липсващи данни от страна на производителите на облекла от една страна и поради необходимостта от сигурност в достоверността на характеристиките. Единствено съставът на образците е получен от производителите на облеклата, а всички останали характеристики, обект на анализ, са експериментално определени в лабораторни условия.

3.4. Описание на плоските изделия. Обобщени резултати от анализа

В Таблица 3.27 са представени обобщени резултати от анализа на образците А, В и N: дебелина, площна и обемна маса, линейни плътности на съставните нишки и гъстини по основа и вътък на тъканите образци. В Таблица 3.28 са систематизирани резултатите от определяне на вработването, запълването и пористостта на тъканите структури, както и сплитката и състава на образците

Таблица 3.27. Геометрични, масови и структурни характеристики – Част 1

Образец	δ , mm	m_{so} , g/m ²	m , g/m ³	Tt_o , tex	Tt_B , tex	P_o , бр.н./dm	P_B , бр.н./dm
A1	0,56	170,8	302836,9	10,15	N/A	360	390
A2	0,18	85,52	480449,4	8,52	8,52	380	570
A3	0,95	289,44	304994,7	46,15	35,01	230	440
A4	0,16	76,24	482531,6	8,47	8,67	400	380
A5	0,23	128,56	554137,8	24,48	8,33	300	340
A6	0,25	180,73	737670,1	N/A	N/A	400	400
A7	0,23	148,65	660648,1	N/A	N/A	300	400
B1	0,10	63,2	625742,6	8,01	8,32	390	300
B2	0,13	64,08	481804,5	8,63	7,55	330	450
B3	0,65	118,4	118317,0	17,54	19,28	330	280
B4	0,09	58,56	622978,7	7,96	7,96	300	240
B5	0,16	68,32	427000,0	5,45	5,67	360	400
B6	0,12	62,13	517708,4	8,63	7,55	500	200
B7	0,09	58,56	622978,7	7,96	7,96	300	240
N1	12,81	200,83	15682,8	N/A	N/A	N/A	N/A
N2	9,56	105,40	11020,5	N/A	N/A	N/A	N/A

Таблица 3.28. Геометрични, масови и структурни характеристики – Част 2

Образец	ао, %	ав, %	Ео, %	Ев, %	Es, %	Vs, %	Сплитка	Състав
A1	3,11	N/A	45,36	N/A	N/A	N/A	K3/1Z	ПЕ 100%
A2	2,05	2,05	43,88	65,82	80,82	19,18	лито	ПА/ПУ 90/10
A3	4,43	10,1	58,84	98,04	99,10	0,90	K1/3Z	П 100%
A4	1,55	1,44	46,04	44,27	69,93	30,07	лито	ПА 100%
A5	1,14	2,77	58,71	38,83	74,45	25,55	K1/2Z	ПА 100%
A6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	K1/2Z	ПЕ 100%
A7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	K1/3Z	ПЕ 100%
B1	1,06	0,93	43,67	34,23	62,96	37,04	лито	ПЕ 100%
B2	1,40	0,87	38,34	48,92	68,51	31,49	лито	ПЕ 100%
B3	4,14	13,1	54,67	48,64	76,72	23,28	лито	П 100%
B4	0,44	1,03	33,49	26,23	50,94	49,06	лито	ПЕ 100%
B5	1,28	0,77	33,25	37,68	58,40	41,60	лито	ПЕ 100%
B6	1,40	0,87	38,34	48,92	68,51	31,49	лито	ПЕ 100%
B7	0,44	1,03	33,49	26,23	50,94	49,06	лито	ПЕ 100%

3.5. Обобщени резултати за системите слоеве за изработка на връхни облекла за защита от студ

В Таблица 3.29 е представено кодирането на изследваните 14 системи слоеве за защита от студ, заедно с основните им характеристики, използвани при изследването на преносните процеси през тях: дебелина и площна маса.

Таблица 3.29. Характеристики на системите слоеве за изработка на облекла за защита от ниски температури

Система слоеве	Комбинация от единични слоеве	Дебелина, mm	Площна маса, g/m ²
A1N1B1	A1-N1-B1	13,47	434,8
A2N1B2	A2-N1-B2	13,12	350,4
A3N1B3	A3-N1-B3	14,41	608,6
A4N1B4	A4-N1-B4	13,06	335,6
A5N1B5	A5-N1-B5	13,20	397,7
A6N1B6	A6-N1-B6	13,17	443,6
A7N1B7	A7-N1-B7	13,13	408,0
A1N2B1	A1-N2-B1	10,23	339,4
A2N2B2	A2-N2-B2	9,88	255,0
A3N2B3	A3-N2-B3	11,17	513,2
A4N2B4	A4-N2-B4	9,82	240,2
A5N2B5	A5-N2-B5	9,96	302,3
A6N2B6	A6-N2-B6	9,93	348,2
A7N2B7	A7-N2-B7	9,88	312,6

3.6. Изводи от Глава 3

Въз основа на извършеното в Глава 3 могат да се направят следните изводи и обобщения:

- Избрани са 14 системи слоеве, използвани за изработването на връхни облекла за защита от ниски температури. Всяка система е съставена от 3 слоя – външен (тъкана макроструктура), топлоизолационен (нетъкана макроструктура) и вътрешен (тъкана макроструктура).
- Представени са методите за анализ и експериментално определяне на структурните, геометрични и масови характеристики на единичните слоеве.
- Извършен е анализ на единичните слоеве, включващи 7 тъкани площни изделия, използвани като лицев плат (образци А), 2 нетъкани площни текстилни изделия, използвани като термоизолационен слой (образци N) и 7 тъкани площни изделия, използвани като подплата (образци В), като експериментално са определени основни структурни, геометрични и масови характеристики. Извършена е статистическа обработка на единичните резултати от измерванията.
- Определени са структурни, геометрични и масови характеристики на системите площни текстилни изделия, обект на изследване в следващите глави на дисертационния труд.

Глава 4. Изследване на топлинното съпротивление на площни текстилни изделия – единични слоеве и системи слоеве

Основната задача в тази и следващите глави на дисертационния труд (Глави 4 – 8) е да се определят експериментално термофизиологичните характеристики на единичните слоеве и на системите слоеве и да се установи:

- влиянието на структурни, масови и геометрични характеристики на единичните слоеве тъкани площни изделия върху термофизиологичните характеристики;
- ефекта на структурни, масови и геометрични характеристики на системите от 3 слоя върху термофизиологичните им характеристики;
- влиянието на термофизиологичните характеристики на отделните слоеве върху термофизиологичните характеристики на системата, използвана за изработка на връхни облекла.

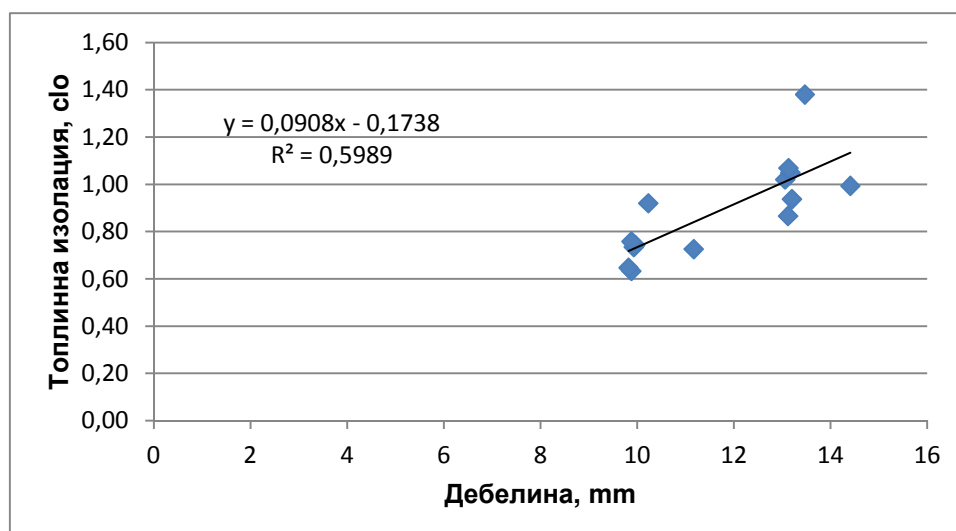
4.2. Топлинно съпротивление на единични слоеве

В дисертационният труд е определено топлинното съпротивление на единичните слоеве и представено изменението на топлинното съпротивление, като функция от дебелина, площна маса и площна пористост. Изведените регресионни уравнения са с много нисък корелационен коефициент. Логично е да се очаква обаче, че топлинното съпротивление се увеличава с нарастване на дебелина и площната маса и намаляване на площната пористост на тъканите образци.

4.3. Топлинно съпротивление на системите слоеве

Аналогично на т.4.2. в т.4.3. е определено топлинното съпротивление на системи слоеве и е представено изменението на топлината изолация, като функция от дебелина, площна маса и обемна маса.

Статистическата връзка между топлинната изолация на системата и дебелината ѝ (Фиг. 4.7.) е с линеен корелационен коефициент $r = 0.77$, което е белег за силна връзка между двете величини ($r > 0.7$, Rumsey 2011). Полученият резултат потвърждава и данните от Celcar et al. (2010). Корелационният коефициент R^2 показва, че топлинната изолация I_{cl} на системите слоеве може да се предскаже в 60% от случаите, ако е известна тяхната дебелина.



Фиг. 4.7. Изменение на топлинната изолация, като функция от дебелината на системите слоеве

4.4. Топлинно съпротивление на системите слоеве като функция от топлинното съпротивление на единичните слоеве

Използва се регресионен анализ с цел прогнозиране на преносните процеси през системата при познаване на преносните процеси през единичния слой. В този случай топлинното съпротивление на системите слоеве се представя като сума от топлинното съпротивление на единичните слоеве:

$$(4.7) \quad Rct_{sys} = f(Rct_A + Rct_N + Rct_B)$$

където Rct_{sys} е топлинното съпротивление на система от слоеве, Rct_A е топлинното съпротивление на образец А, Rct_N е топлинното съпротивление на образец N, Rct_B е топлинното съпротивление на образец В.

Фигура 4.10. показва изменението на топлинното съпротивление на системата като функция от сумата на експериментално определеното топлинно съпротивление на единичните слоеве. Изведено е регресионно уравнение и е изчислен линейният корелационен коефициент $r = 0.77$. Уравнението за изчисляване на теоретичното топлинно съпротивление има вида:

$$(4.8) \quad Rct_{sys} = 0,58(Rct_A + Rct_N + Rct_B) + 27,91.$$

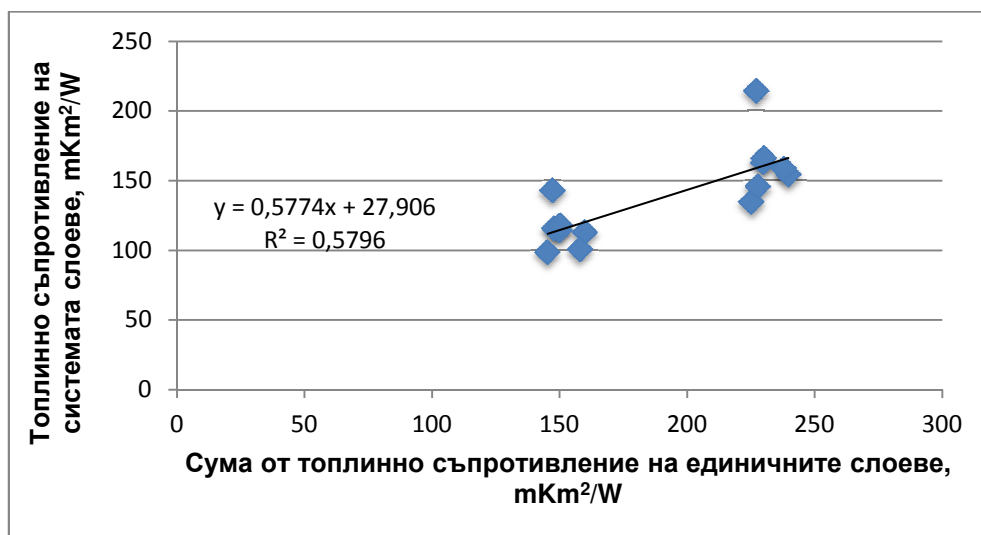
Очевидно топлинното съпротивление на системата силно зависи от изолационния слой (т.е. образец N1 или N2). Индивидуалните резултати за системите са се групирани в два „облака“: единият е съставен от системите с образец N1 като среден слой, а другият – от системите с образец N2, което не позволява да се докаже изведената линейна зависимост. Освен това се установява, че измереното топлинно съпротивление на системите слоеве е с по-ниска стойност от сумата на топлинното съпротивление на отделните слоеве, установени при същите условия на измерване.

4.5. Изводи от Глава 4

Въз основа на проведенният експеримент и направените анализи могат да се обобщят следните изводи:

- Установено е, че памучните тъкани образци имат най-високо топлинно съпротивление спрямо тъканите от други материали (ПЕ, ПА).
- Установено е, че топлинната изолация на системите слоеве нараства с увеличаване на дебелината и площната маса на системата.

- Установена е силна връзка между топлинната изолация на системата слоеве и дебелината ѝ ($r = 0.77$) и е изведено регресионно уравнение за връзката между двете величини.
- Установено е, че топлинното съпротивление на системата слоеве е по-малко от сумата от топлинното съпротивление на съставните слоеве с 60-97%.
- Установена е зависимост и е изведено регресионно уравнение за връзката между топлинното съпротивление на системата и сумата от топлинното съпротивление на отделните слоеве от системата.



Фиг. 4.10. Изменение на топлинното съпротивление на системата като функция от сумата на топлинното съпротивление на единичните слоеве

Глава 5. Изследване на въздухопропускливостта на площни текстилни изделия – единични слоеве и системи слоеве

5.2. Въздухопропускливост на единичните слоеве

В дисертационният труд са представени резултати от определянето на коефициента на въздухопропускливост на единични слоеве и е представено изменението на коефициента на въздухопропускливост, като функция от дебелината, площната маса и площната пористост. Изведени са регресионни уравнения и е посочен корелационният коефициент R^2 за всяка зависимост. Коефициентът на линейна корелация е много нисък, т.е. не се доказва наличието на статистически подсигурана връзка между двете групи величини.

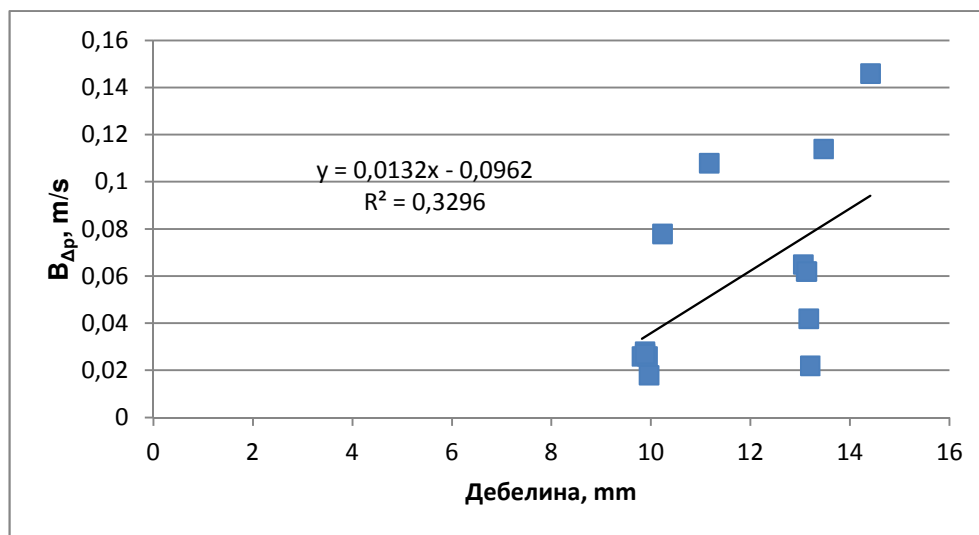
5.3. Въздухопропускливост на системите слоеве

Аналогично на единичните слоеве, изменението на коефициента на въздухопропускливост на системите слоеве е представено графично като функция от дебелината (Фиг.5.8.), площната маса и обемната маса на системите.

Преносът на въздух през системите слоеве се предопределя от най-малката въздухопропускливост (тази на външния слой, образци А). Ето защо стойностите на коефициента на въздухопропускливост на системите слоеве са доста по-ниски от тези на единичните слоеве.

Корелационният анализ на Фиг. 5.8 показва положителния ефект от увеличаване на дебелината на системата слоеве върху коефициента на въздухопропускливост, като коефициентът на линейна корелация е $r = 0.57$.

Този ефект е различен от очакваното и докладваното в литературата за единичен слой: например, отрицателен коефициент на линейна корелация ($r = -0.74$) за връзката между дебелината и въздухопропускливостта на памучни платове (Ангелова, 2015).



Фиг. 5.8. Изменение на коефициента на въздухопропускливост като функция от дебелината на системи слоеве

Обяснението на този резултат е, че дебелината на системата слоеве, използвана специално за производство на върхни облекла за защита от студ, е силно повлияна от дебелината на средния слой (образци N), който е с нетъкана макроструктура. Средният слой е с висока обемна порьозност, с коефициент на въздухопропускливост 3 m/s за образец N1 и 3.6 m/s за образец N2. Както може да се очаква, по-дебелият слой нетъкан текстил материал (образец N1) има по-висока въздухопропускливост, което е установено и в литературата (Mohammadi et al. 2002).

Същият е ефектът на площната маса на системата върху преноса на въздух през нея: с увеличаване на площната маса коефициентът на въздухопропускливост расте. Зависимостта между двете величини е с линейен корелационен коефициент $r = 0.8$, което показва силна линейна връзка (Rumsey, 2011).

5.4. Въздухопропускливост на системите слоеве като функция от въздухопропускливостта на единичните слоеве

Аналогично на т.4.4. изменението на коефициента на въздухопропускливост на системата слоеве е представен като функция от произведението на коефициентите на въздухопропускливост на единичните слоеве. Изведено е регресионно уравнение от втора степен с висок корелационен коефициент ($R^2 = 0.8$).

5.5. Изводи от Глава 5

Въз основа на проведеният експеримент и анализа на резултатите могат да се направят следните изводи:

- Установено е, че коефициентът на въздухопропускливост на системата слоеве е по-нисък от коефициента на въздухопропускливост на единичните слоеве.
- Установена е умерена линейна корелационна зависимост между изменението на коефициента на въздухопропускливост на системите от 3 слоя като функция от дебелината им ($r = 0.57$), и силна линейна корелационна зависимост между изменението на коефициента на въздухопропускливост на системите от 3 слоя като функция от площната маса ($r = 0.80$) и обемната им маса ($r = 0.64$).
- Установена е зависимост и е изведено регресионно уравнение с висок корелационен коефициент за връзката между коефициента на въздухопропускливост на системата и произведението от коефициентите на въздухопропускливост на отделните слоеве от системата.

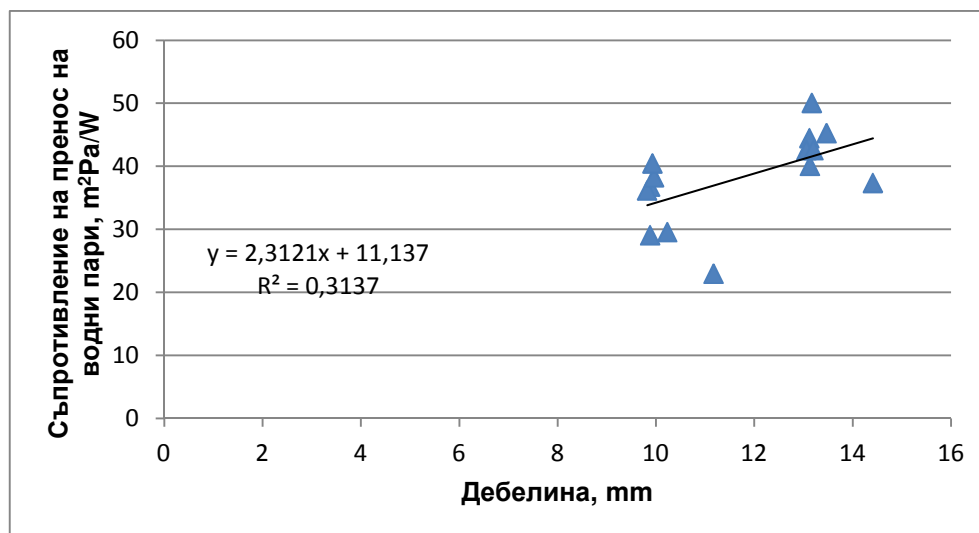
Глава 6. Изследване на съпротивлението на пренос на водни пари през площни текстилни изделия – единични слоеве и системи слоеве

6.2. Съпротивление на пренос на водни пари на единичните слоеве

В тази част от дисертационният труд са представени резултати от определянето на съпротивлението на преноса на водни пари на единични слоеве и също така е представено изменението на съпротивлението на преноса на водни пари, като функция от дебелината, площната маса и площната пористост. Изведени са регресионни уравнения и е посочен корелационният коефициент R^2 за всяка зависимост. Нарастването на площната маса води до увеличаване на съпротивлението на преноса на водни пари в единичната макроструктура, докато с увеличаване на площната пористост се наблюдава обратната тенденция: намаляване на съпротивлението на водни пари.

6.3. Съпротивление на пренос на водни пари на системите слоеве

Аналогично на единичните слоеве, съпротивлението на преноса на водни пари е представена като функция от дебелината (Фиг.6.6), площната маса и обемната маса на системата.



Фиг. 6.6. Изменение на съпротивлението на преноса на водни пари, като функция от дебелината на системи слоеве

Корелационният анализ показва, че зависимост при системите слоеве е аналогична на установените при единичните слоеве: с увеличаване на дебелината и площната маса, както и с намаляването на обемната маса на системата преносът на водни пари през нея е затруднен.

Подобно на резултатите в Глава 4 за топлинното съпротивление на Фиг. 6.6 се наблюдава зависимост от вида на топлоизолационния слой (т.е. образец N1 или N2): индивидуалните резултати за системите са групирани в зависимост от вида му. Изведената линейна зависимост е с линеен корелационен коефициент $r = 0.56$, но въпреки оценката като умерена положителна линейна връзка (Rumsey, 2011) тя изисква повече проверки именно заради очевидната зависимост от дебелината на слоевете N.

6.4. Съпротивление на пренос на водни пари на системите слоеве като функция от съпротивлението на преноса на водни пари на единичните слоеве

Както вече бе коментирано в Глава 4, търси се адекватна математическа зависимост между съпротивлението на преноса на водни пари през всеки един от единичните слоеве така, че да отразява физическата същност на преносния процес през системата.

В този случай съпротивлението на пренос на водни пари на системата слоеве е представено, като функция от сумите на тази характеристика на единичните слоеве. Изведеното регресионно уравнение и високият корелационен коефициент ($R^2=0.76$) показва възможността за прогнозиране на поведението на системата при известни данни за съпротивлението на преноса на водни пари на съставните ѝ слоеве.

6.5. Изводи от Глава 6

От направените анализи върху проведения експеримент могат да се обобщят следните изводи:

- Установен е висок линеен корелационен коефициент между площната пористост и съпротивлението на преноса на водни пари на единичните тъкани макроструктури.
- Установено е, че при изследваните системи слоеве съпротивлението на преноса на водни пари от тялото към околната среда е по-високо от това от околната среда към тялото.
- Увеличаването на дебелината на топлоизолационния слой предизвиква нарастване на съпротивлението на пренос на водни пари на системата слоеве.
- Най-ниско съпротивление на водни пари е измерено при системите, при които и външният, и вътрешният слой са от П100%, независимо от дебелината на топлоизолационния слой.
- Установена е зависимост и е изведено регресионно уравнение с висок корелационен коефициент за връзката между изменението на съпротивлението на преноса на водни пари на системата слоеве и сумата от тази характеристика на единичните слоеве.

Глава 7. Изследване на пропускливостта на водни пари на площни текстилни изделия – единични слоеве и системи слоеве

7.2. Пропускливост на водни пари на единични слоеве

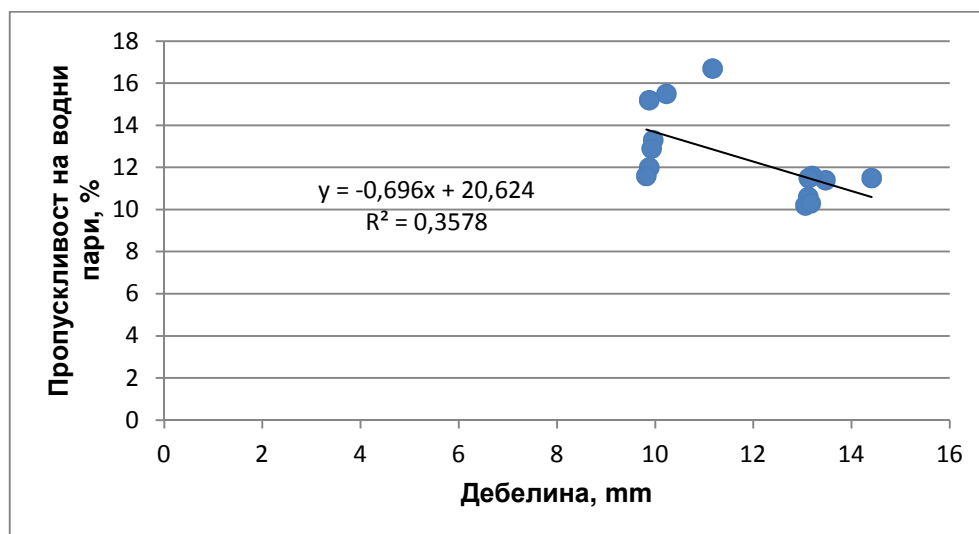
В дисертационният труд са представени резултати от определянето на пропускливостта на водни пари на единични слоеве и също така изменението на пропускливостта на водни пари, като функция от дебелината, площната маса и площната пористост. Изведени са регресионни уравнения и е посочен корелационният коефициент R^2 за всяка зависимост. Получените резултати от изменението на пропускливостта на водни пари, като функция от дебелината на тъканите площни текстилни изделия са хаотично разположени, а линейният корелационен коефициент е със стойност близка до нула. Аналогичен е резултатът за връзката между пропускливостта на водни пари и площната маса. Обаче с увеличаване на площната пористост се увеличава пропускливостта на водни пари. Стойността на $r=0.53$ също е белег за умерена положителна връзка (Rumsey, 2011) между двете характеристики. Причина за този резултат е, че по-големите въздушни пространства между влакната в мезоструктурата и нишките в макроструктурата водят до намаляване на съпротивлението при преминаването на водните пари през образците

7.3. Пропускливост на водни пари на системите слоеве

Аналогично на останалите характеристики, свързани с термофизиологичния комфорт на облеклата за защита от ниски температури, изменението на пропускливостта на водни пари е представена като функция от дебелината (Фиг. 7.6.), площната маса и обемната маса на системите слоеве.

На Фиг. 7.6 има групиране на резултатите за системите слоеве в зависимост от дебелината на топлоизолационния слой. Изведеното линейно регресионно уравнение е с нисък корелационен коефициент, за да се използва за практически пресмятания. Корелационен коефициент ($r = -0.6$) показва, че с увеличаване на дебелината на изследваните системи слоеве пропускливостта им на водни пари намалява.

Установено е отсъствие на линейна зависимост между площната маса на системата слоеве и пропускливостта ѝ на водни пари в рамките на проведения експеримент, тъй като резултатите са хаотично разположени.



Фиг. 7.6. Изменение на пропускливост на водни пари, като функция от дебелината на система слоеве

7.4. Пропускливост на водни пари на системи слоеве, като функция от пропускливостта на водни пари на единичните слоеве

Аналогично на предходните глави изменението на пропускливостта на водни пари на системата слоеве е представено, като функция от сбора от пропускливостта на водни пари на единични слоеве. От изведеният линейен корелационен коефициент ($r = 0.62$) е установена умерена линейна връзка между изследваните параметри. Освен това се установява, че сборът от пропускливостта на водни пари на единичните слоеве е 9.16 пъти по голяма от измерената пропускливост на водни пари на системата слоеве.

7.5. Изводи от Глава 7

От проведеният експеримент и извършения анализ на резултатите са направени следните изводи:

- Установено е, че с увеличаване на площната пористост пропускливостта на водни пари расте. С увеличаване на обемната маса на системата слоеве се увеличава и пропускливостта ѝ на водни пари.
- Пропускливостта на водни пари на изследваните системи от 3 слоя е от 2 до 4 пъти по ниска от пропускливостта на отделните слоеве, които ги образуват.
- Установено е, че пропускливостта на водни пари на системата от околната среда към тялото е по-голяма с 5,1-7,5% в сравнение с пропускливостта в обратна посока (отвътре навън), т.е. изследваните системи слоеве ще осигуряват по-добър термофизиологичен комфорт в среда на сух студ, отколкото в среда на повишена влажност и ниски температури на въздуха.
- Пропускливостта на водни пари е по-висока при системи слоеве с потънък топлоизолационен слой, като най-висока стойност е измерена при системите, съставени от памучни тъкани площни изделия.
- Установена е връзка и е изведено регресионно уравнение за изменението на пропускливостта на водни пари на система слоеве, като функция от произведението на пропускливостта на водни пари на отделните слоеве, образуващи системата.

Глава 8. Изследване на преноса на влага през площни текстилни изделия – единични слоеве и системи слоеве

8.3. Влияние на характеристиките на единичните слоеве върху преноса на влага

Сумарният индекс на едноразовен транспорт (R_{index}) и общият капацитет на пренос на влага (ОММС) са двете характеристики, които са обобщаващи за преноса на течност през изследваните единични слоеве. Те показват риска от овлажняване на вътрешните слоеве облекло в случай на дъжд и снеговалеж и са от особено важно значение при връхните облекла за защита от ниски температури, тъй като рискът от овлажняване е свързан с увеличаване на топлинните загуби и бързо спадане на телесната температура.

Аналогично на предходните глави, изменението на сумарния индекс на едноразовен транспорт на тъканите площни текстилни изделия (Образци А и В) е представено графично като функция от дебелината, площната маса и площната пористост на образците. По подобен начин са представени резултатите за изменение на общия капацитет на влаготранспорт като функция от дебелината, площната маса и площната пористост.

Анализът на резултатите показва, че резултатите са разполагат хаотично. Изведените линейни регресионни уравнения са с близки до нула корелационни коефициенти и не може да се докаже наличието връзка между изследваните величини.

8.5. Влияние на характеристиките на системите слоеве върху преноса на влага

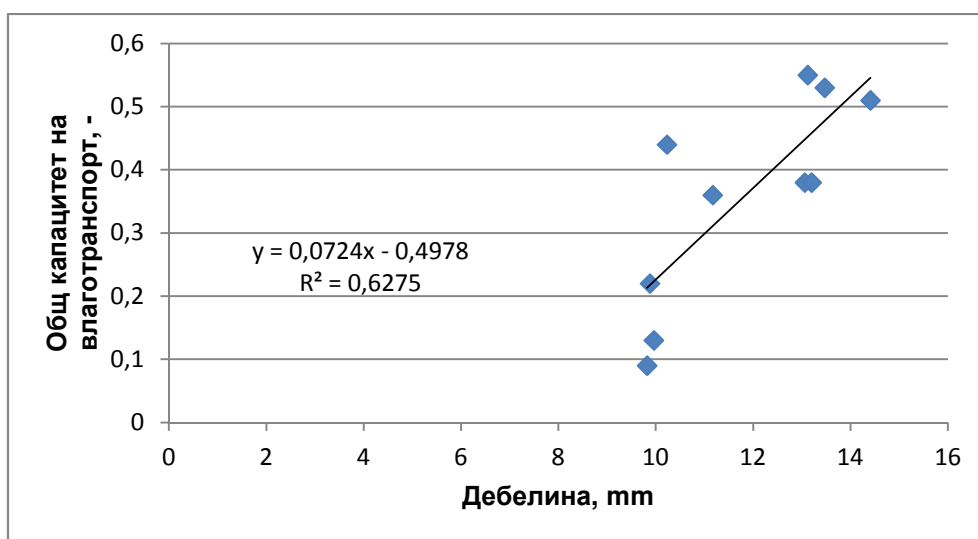
Аналогично на единичните слоеве изменението на сумарния индекс на едноразовен транспорт на системи слоеве е представено, като функция от дебелината, площната маса и обемна маса. По подобен начин са представени резултатите за изменение на общия капацитет на влаготранспорт като функция от дебелината, площната маса и обемна маса.

Анализът на резултатите и знакът на линейния корелационен коефициент показват, че с увеличаване и на трите характеристики на системите сумарният индекс на едноразовен транспорт расте. Линейният корелационен коефициент за зависимостта между Изменение на сумарният индекс на едноразовен транспорт, като функция от дебелината и площната маса на системи слоеве е $r = 0.65$, което показва умерена връзка (Rumsey 2011). Изведени са линейни регресионни зависимости, но корелационният коефициент $R^2 < 0.5$.

Аналогично на сумарния индекс на едноразовен транспорт е представено и изменението на общия капацитет на влаготранспорт на системите слоеве, като функция от дебелината (Фиг. 8.35), площната маса и обемната маса.

Отново увеличаването и на трите характеристики на системите слоеве води до повишаване на стойността на ОММС. Линейният корелационен коефициент за зависимостта между величините на Фиг. 8.35 е $r = 0.79$, което показва силна връзка (Rumsey 2011) между дебелината на системата и общия капацитет на влаготранспорт.

Линейният корелационен коефициент за зависимостта между изменението на общия капацитет на влаготранспорт на системите слоеве, като функция от обемната маса. величините е $r = 0.63$, което показва наличието на умерена връзка между площната маса на системата и ОММС.



Фиг. 8.35. Изменение на общ капацитет на влаготранспорт, като функция от дебелината на системи слоеве

8.6. Пренос на влага през система слоеве, като функция от преноса на влага през единичните слоеве

Сумарният индекс на еднопосочен транспорт показва опасността от проникване на влага през външният слой към вътрешният слой на системите от които са произведени връхни облекла за защита от студ и би могло да намали произведената топлина от тялото.

Сумарният индекс на еднопосочен транспорт на системите слоеве $R_{index,system}$ би могъл да се представи, като функция от сбора на единичните слоеве образуващи системата:

$$(8.2) \quad R_{index,system} = f(R_{index,A} + R_{index,N} + R_{index,B})$$

където: $R_{index,A}, R_{index,N}, R_{index,B}$ са сумарните индекси на еднопосочен транспорт на единичните слоеве А, N и В, mm^2/s .

Аналогично за общия капацитет на влаготранспорт на система слоеве е потърсена връзката:

$$(8.4) \quad OMMC_{system} = f(OMMC_A + OMMC_N + OMMC_B)$$

Линейните корелационни коефициенти на изведените регресионни уравнения са много ниски и не се удостоверява наличието на достоверна зависимост между изследваните величини.

8.7. Изводи от Глава 8

Въз основа на проведения експеримент и направените анализи могат да се обобщят следните изводи:

- Сумарният индекс на еднопосочен транспорт при единичните слоеве е отличен при всички образци освен при образец А1 - добър. Общият капацитет на влаготранспорт при единични слоеве при всички образци е добър освен при образец А1 - слаб.
- Сумарният индекс на еднопосочен транспорт на системи слоеве с топлоизолационен слой N1 и N2 показват, че системите с по-тънък топлоизолационен слой поемат по-малко влага.
- Установено е, че с увеличаване на дебелината, площната и обемната маси на системите слоеве сумарният индекс на еднопосочен транспорт и общият капацитет на влаготранспорт растат.
- Установен е силна връзка между дебелината на системата и общия капацитет на влаготранспорт.

Глава 9. Прогнозиране на защитната способност на връхното облекло в среда на ниски температури

Необходимата изолация на облеклото (Required Clothing Insulation - IREQ) и продължителността на излагане на ниски температури (Duration of Limited Exposure - DLE) са стандартизирани индекси за ниски температури според ISO 11079:2007. Те са част от математически модел за определяне на комфорта, предложен от Holmer (1984). Последната актуализация на стандарта е от 2007г., в която е предложена и програма за изчисляване на IREQ. Програмата (версия 4.2) е разработена от Nilson и Holmer (2008) с помощта на езика за програмиране Java-Script, която е с отворен код и е достъпна за всеки компютър. Опитите за използването на програмата за прогнозиране на студовите индекси показаха, че резултатите не са еднозначни: получават се различни стойности на изхода при едни и същи входящи данни; променя се само един от резултатите и др. Освен това програмата има въведени ограничения за параметри на околната среда, които не позволяват универсалното ѝ приложение. В резултат на това в Глава 9 са поставени следните задачи:

- Да се провери съответствието между ISO 11079:2007 и интернет програмата от 2008г. за изчисляване на необходимата изолация на облеклото и продължителността за излагане на ниски температури.
- Да се създаде коректна програма за изчисляване на необходимата изолация на облеклото и продължителността на излагане на ниски температури съгласно ISO 11079:2007
- Да се прогнозира термфизиологичният комфорт на човека в среда с ниски температури съгласно ISO 11079:2007 при параметри на експозицията, които съответстват на експерименталното изследване в контролирана студена среда, представено в Глава 10.

В дисертационният труд е описан математическият модел за изчисляване на необходимата изолация на облеклото и продължителността за излагане на ниски температури, несъответствията между стандарта ISO 11079 и е предложената програма за изчисляване на двете характеристики.

9.3. Необходима изолация на системи слоеве

Разработената програма за пресмятане на IREQ и DLE индекси е приложена за прогнозиране на поведението на изследваните в Глави 3 - 8 четиринадесет системи текстилни слоеве, от които се изработват връхни облекла за защита от ниски температури. Всяка система се състои от външен слой A, топлоизолационен слой N и вътрешен слой B. Данните за състава, площната маса и дебелината на системите са представени в Глава 3. Топлинната изолацията на системите е представена в Глава 4.

За пресмятане на необходимата изолация на облеклото и продължителността на излагане на ниски температури за реални експлоатационни условия, към изследваните връхни облекла е добавен и ансамбъл от облекла с обща изолация 0.9 clo. Ансамбълът от облекла включва бельо (бикини и сутиен) 0.04 clo, чорапи 0.05 clo, обувки до глезена 0.02 clo, панталон от плат деним 0.15 clo, памучна блуза с дълъг ръкав 0.25 clo, суитчър 0.39 clo. Топлинната изолация на ансамбъла от облекла е определена съгласно ISO 9920:2006 (Annex B), а на връхните облекла е измерена и подробно анализирана в Глава 4. В Таблица 9.2 в дисертационният труд са представени резултати от сумарната изолационна способност на получените ансамбли облекла.

Определянето на необходимата изолация на облеклото в конкретния случай е извършено при задаване на следните начални и гранични условия:

- ✓ Метаболитната активност е определена при две нива: 80 W/m^2 , което съответства на седящо положение или изправено стационарно и 134 W/m^2 , което съответства на бавно ходене по равна повърхност.
- ✓ Температура на околната среда от 15°C до -30°C през интервал от 5°C .
- ✓ Относителна влажност на въздуха 61%.
- ✓ Скорост на въздуха 0.14 m/s , която съответства на изкуствена (вътрешна) среда или на спокойно време на открито и 3 m/s , която съответства на лек бриз (вятърът се усеща от откритите части на тялото).

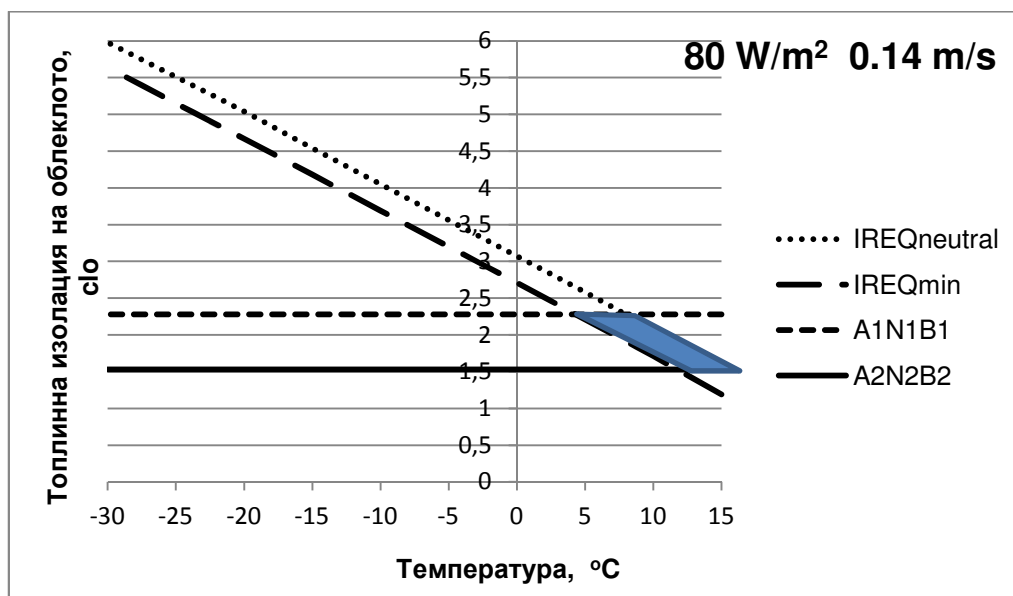
Прогнозирането на IREQ индекса за набор от начални и гранични условия позволява изграждането на графики, които позволяват по-бърз анализ на приложимостта на ансамблите от облекла – и в частност на връхното облекло за среда с ниски температури

На Фигури от 9.2. и 9.4 са илюстрирани резултатите за $IREQ_{neutral}$ и $IREQ_{min}$ за случаите от 1 до 3. Като гранични стойности са представени топлинната изолация на ансамблите с най-голяма и най-малка топлинна изолация. Това са

ансамблите с върхно облекло, изградено от система слоеве A1N1B1 (2.28 clo) и системата слоеве A1N1B1 (1.53 clo).

Анализът на Фиг. 9.2 показва, че под линията на $IREQ_{neutral}$ тялото остава в състояние на термофизиологичен комфорт. Между линията на $IREQ_{neutral}$ и $IREQ_{min}$ тялото започва да се охлажда постепенно, но излагането на ниски температури все още се компенсира от терморегулационната система на тялото. Под линията на $IREQ_{min}$ тялото е в опасност от студови наранявания.

В същото време линиите A1N1B1 (ансамбъла от облекла с най-висока топлинна изолация) и A2N2B2 (ансамбъла с най-ниска изолация) показват границите на термофизиологичен комфорт за изследваните 14 ансамбъла облекла за защита от ниски температури. Полученият щрихован четириъгълник показва температурния интервал, при който с наличната изолация на ансамблите от облекла тялото ще бъде в състояние на термофизиологичен комфорт или в състояние, при което терморегулационната система може да се справи с охлаждането на тялото без да се стигне до студови наранявания. Основният извод обаче е, че *ниито един от изследваните ансамбли облекла не би могъл да осигури термофизиологичния комфорт на индивида при отрицателни температури, ако метаболитната активност е до 80 W/m^2 .*



Фиг. 9.2. Термофизиологични граници осигурени от изследваните ансамбли, когато индивида е седнал и без наличие на вятър

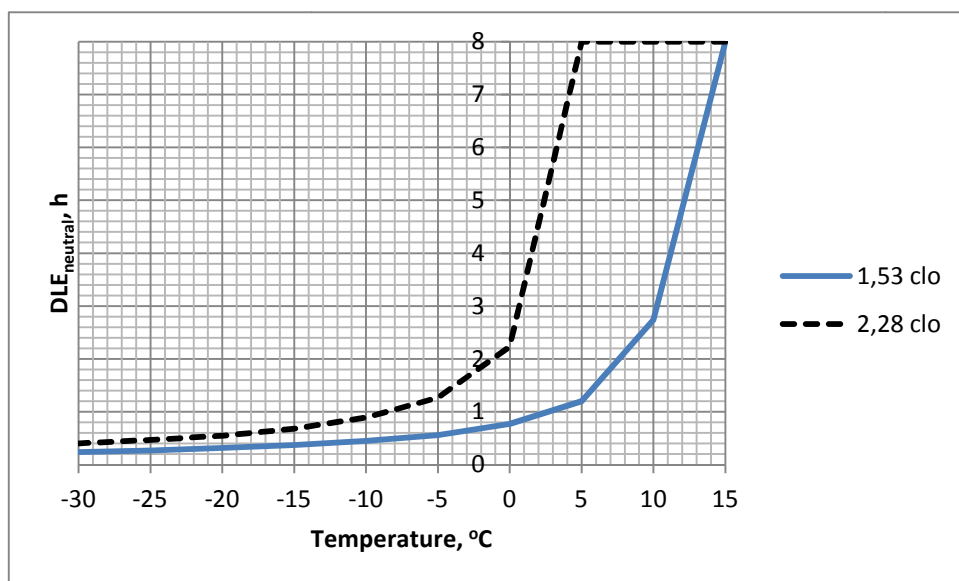
Определена е и продължителността за излагане на ниски температури (DLE) за случай 1, който е най-лошият вариант за постигане на термофизиологичен комфорт в среда с ниски температури. Избран е случай 1, тъй като в Глава 10 е направено изследване в климатична камера с реални субекти при тези условия. Изчислени са две нива на индекса DLE:

- DLE_{min} , което съответства на $IREQ_{min}$ и показва, че излагането човешкото тяло в студена среда трябва да спре след като се достигне DLE_{min}
- $DLE_{neutral}$, съответстващо на $IREQ_{neutral}$: тази стойност е по-ниска от DLE_{min} и показва кога ще започне охлаждането на тялото.

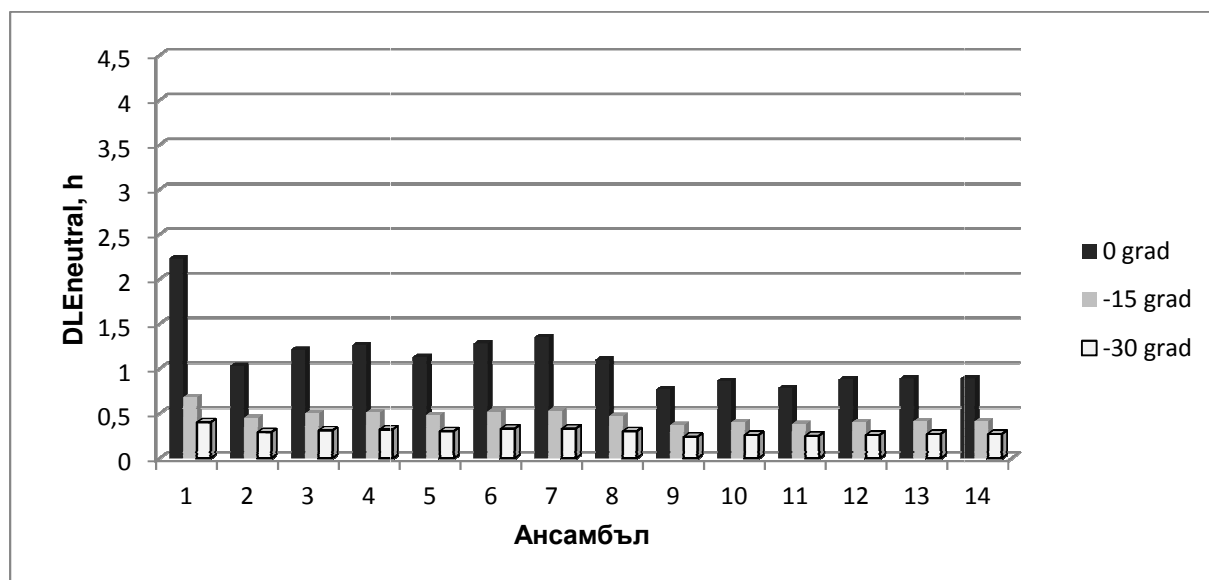
Фигура 9.5 представя резултатите за $DLE_{neutral}$ за ансамбъла с най-висока топлинна изолация (2.28 clo, т.е ансамбъл с върхно облекло от система слоеве A1N1B1) и ансамбъл с най-ниска топлинна изолация (1.53 clo т.е. ансамбъл с върхно облекло от система слоеве A2N2B2). Графиката показва

продължителността за излагане на ниски температури, при която тялото ще бъде в състояние на термофизиологичен комфорт. Границата от 8 h или повече (една работна смяна) се достига при ансамбъл A1N1B1 в среда с температура 5 °C или повече, а при ансамбъл A2N2B2 – при температура от над 15 °C. Двете криви, описващи $DLE_{neutral}$ за двата ансамбъла от облекла, са идентични, но стойността на $DLE_{neutral}$ за ансамбъла с A1N1B1 е почти два пъти по-висока от стойността на $DLE_{neutral}$ за ансамбъла с A2N2B2.

Фигури 9.7. показват сравнение между $DLE_{neutral}$ за всички изследвани ансамбли при три температури на въздуха 0 °C, -15 °C и -30 °C.



Фиг. 9.5. Продължителността на излагане на човек в условия на термофизиологичен комфорт при Ансамбли 1 и 9



Фиг. 9.7. Продължителност на излагане на ниски температури в условие на термофизиологичен комфорт на 14те ансамбъла

Тъй като в 14-те ансамбъла се променя само върхното облекло, само то оказва влияние върху изменението на топлинната изолация върху $DLE_{neutral}$. Ансамбли от 1 до 8 могат да гарантират термофизиологичния комфорт на тялото при 0 °C от 1 до 1.5 h, като Ансамбъл 1 може да го направи за малко

повече от 2 h. Останалата част от Ансамблите са в състояние на поддържат тялото в термофизиологичен комфорт при 0 °C в продължение на по-малко от 60 min. При -15 °C разликите в изолационната способност на ансамблите е много по-малка. Само Ансамбъл 1 може да запази термофизиологичният комфорт за повече от 40 мин, а всички останали го правят от 32 min (Ансамбъл 7) до 22 min (Ансамбъл 9). В среда с температура от -30 °C $DLE_{neutral}$ за всички ансамбли е под 20 min с изключение на Ансамбъл 1.

9.4. Изводи от Глава 9

Въз основа на извършеното в Глава 9 могат да се направят следните изводи:

- Създадена е програма за симулиране на необходимата изолация на облеклото IREQ според математическия модел в стандарта ISO 11079:2007 при използване на езика за програмиране PASCAL.
- Установени са и посочени несъответствия между стандарта ISO 11079:2007 и онлайн програмата (посочена в стандарта) за симулиране на необходимата изолация на облеклото. Тези несъответствия са премахнати в разработената в настоящия дисертационен труд програма.
- Въз основа на извършената симулация на индекса IREQ са установени атмосферните условия, за които връхните облекла, произведени от изследваните в Глава 3 – Глава 8 системи слоеве, биха осигурили цялостен термофизиологичен комфорт или частичен комфорт, при който човешкото тяло е обект на постепенно охлаждане.
- Установено е, че нито едно от изследваните връхни облекла не може да осигури термофизиологичният комфорт на индивида в среда с отрицателни температури при статично положение.
- Най-добра защита на тялото може да осигури връхното облекло от системата слоеве A1N1B1: термофизиологичен комфорт при температура до -10 °C и движение (ходене по равна повърхност).
- Връхните облекла с топлоизолационен слой N1 могат да се използват в температурния диапазон от -5 до -15 °C за определен период от време.
- Връхните облекла с топлоизолационен слой N2 могат да осигурят термофизиологичния комфорт на човека при температури над 0 °C. Използването им при отрицателни температури трябва да е ограничено (съгласно DLE индекса).

Глава 10. Изследване на термофизиологичните реакции на човека в среда с ниски температури

10.1. Цел и задачи на изследването

Изследването в тази част на дисертационния труд има за цел да провери експериментално способността на изследваните връхни облекла да защитават човешкото тяло в студена среда. То се провежда в климатична камера, в която съществуват условия за поддържане на ниски температури.

За да се оцени експериментално ефекта на използваното връхно облекло за защита на тялото от студена среда се измерва безконтактно температурата на откритите части на тялото, на повърхността на връхното облекло и на повърхността на облечени, но незащитени от връхното облекло части от тялото. Направен е и опит за оценка чрез използване на уред за измерване на мозъчните вълни с хипотезата, че след като мозъкът е част от ядрото на тялото, изменението на мозъчните вълни може да бъде индикация за топлинен дискомфорт в студената среда.

10.4. Резултати от измерване на климатичните условия

Климатичните условия във вътрешността на камерата са изследвани с уред за измерване на температурата и влажността на въздуха, съгласно изискванията на стандартите ISO 7730:2006 и ISO 7726:1998.

Данните от измерванията показват следните средни стойности:

- Първи етап: температура -11.64 °C, влажност 61.32%.
- Втори етап: температура -1.15 °C, влажност 57.28%

10.5. Резултати от измерването с ИТК: температура на повърхността на облеклото

Измервана е температурата на следните части на тялото:

- Гръб (на ниво на лопатките) – измерва се температурата на повърхността на върхното облекло.
- Гърди (между линията на гърдите и шията – измерва се температурата на повърхността на върхното облекло
- Ръце между лакета и рамото (лява и дясна) - измерва се температурата на повърхността на върхното облекло
- Бедра в седящо положение (ляво и дясно) - измерва се температурата на повърхността на горното облекло (панталон)

Степента на излъчване за отделните повърхности е определена съгласно таблични данни (<http://www.optotherm.com/emiss-table.htm>).

10.5.1. Температура на повърхността на облеклото в областта на гърдите

На Фигури 10.10 и 10.11 са показани измененията в температурата на повърхността на върхното облекло в областта на гърдите при -11 °C и две различни топлинни изолации на върхното облекло.

В случая на по-голямата изолация на върхното облекло температурата се понижава с течение на времето, докато при върхното облекло с по-малка топлинна изолация температурата расте. Обяснение може да се търси в механизма на топлообмен между тялото и околната среда: на Фиг. 10.10 температурата на повърхността на якето расте поради загряването му от страна на тялото, т.е. с времето тече процес на охлаждане на тялото. На Фиг. 10.11 охлаждането на якето се дължи на изстудяването от околната среда. Може да се предполага, че температурата на тялото се е понижила в по-малка степен, отколкото при Фиг. 10.10.

Аналогични резултати могат да бъдат визуализирани за изменението на температурата на повърхността на върхното облекло при втория етап на изследването (температура на въздуха -1 °C:

Аналогично на т. 10.5.1. са представени и получените резултати в т. 10.5.2. Температура на повърхността на облеклото в областта на гръба, 10.5.3. Температура на повърхността на облеклото в областта на ръкавите и 10.5.4. Температура на повърхността на облеклото в областта на бедрата.

От проведените измервания с ИТК върху покритите части на тялото могат да се обобщят следните изводи:

- Температурата на покритите части на тялото (гърди, гръб, ръце) се повлиява от топлинната изолация на върхното облекло: колкото по-висока е тя, толкова по-ниска е температурата на повърхността на облеклото, което е белег за по-слабото охлаждане на тялото (затруднен пренос на топлина от тялото към околната среда).
- Когато се използва върхно облекло с по-малка топлинна изолация повърхността му се затопля по-бързо в сравнение с повърхността на облекло с по-висока топлинна изолация, като затоплянето е за сметка на охлаждане на тялото.

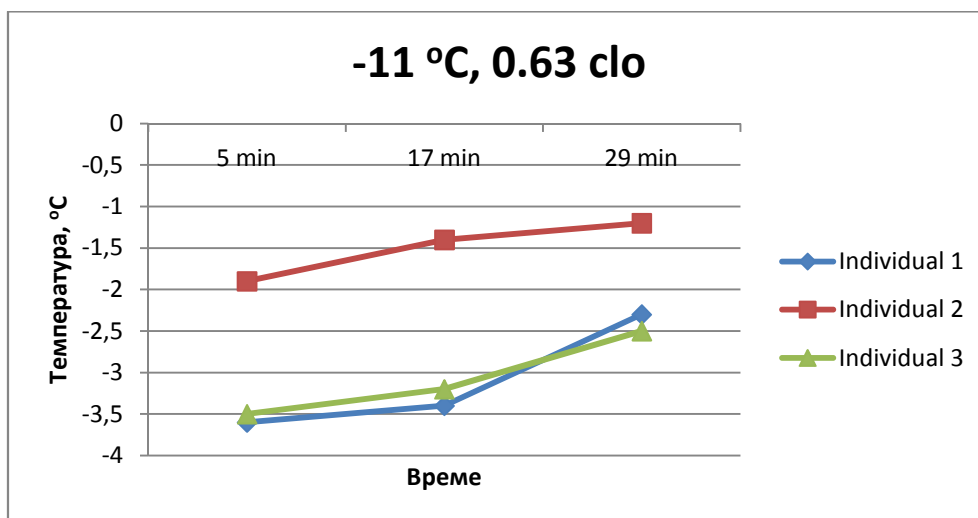
- Температурата на отделните части на тялото, покрити от върхното облекло, е различна, което съответства на интензивността на охлаждане на тялото: при изследваната седяща поза на участниците в експеримента най-бързо е охлаждането през горната част на ръцете, следвано от гърдите и гърба.

Температурата на непокрытите от върхното облекло части на тялото се повлияват от топлинната изолация на върхното облекло и това влияние е толкова по-голямо, колкото по-ниска е температурата на околната среда: колкото по-висока е топлинната изолация на върхното облекло, толкова по-висока е температурата на бедрата

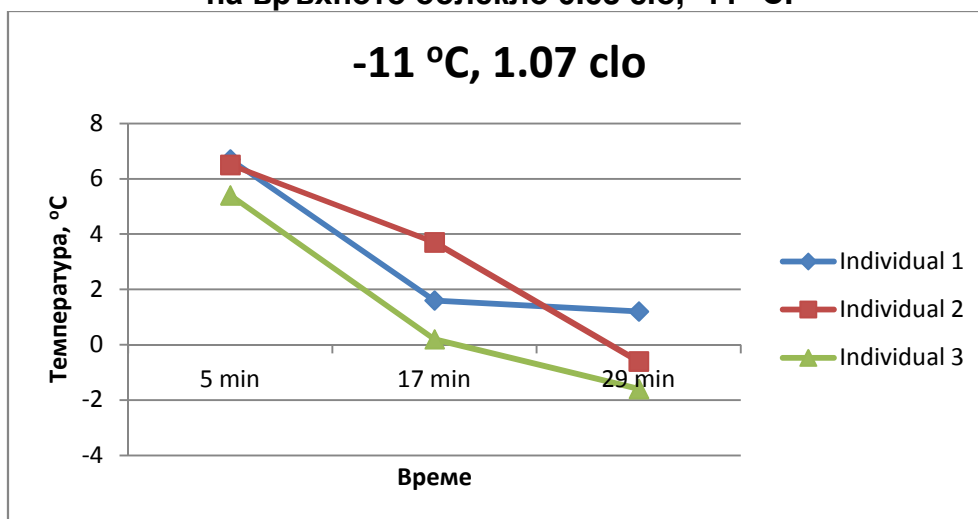
10.6. Резултати от измерването с ИТК: температура на повърхността на кожата

Лицето и ръцете са много сериозен източник на топлинни загуби при излагане на тялото на ниски температури (Bouzida et al. 2009; Angelova, 2016b). По време на експеримента са заснети с ИТК откритите части на тялото (лице и ръце) и от изображенията е определена температурата на:

- Лицето;
- Пръстите – трета фаланга на среден пръст;
- Вътрешната част на окото (карункула).



Фиг. 10.10 Температурата на повърхността на гърдите, топлинна изолация на върхното облекло 0.63 clo, -11 °C.



Фиг. 10.11. Температурата на повърхността на гърдите, топлинна изолация на върхното облекло 1.07 clo, -11 °C.

Аналогично на т. 10.5.1. са представени и получените резултати в т.10.6.1. Температура на лицето, т.10.6.2. Температура на пръстите и т. 10.6.3. Температура на вътрешната част на окото (Карункула)

От проведените измервания с ИТК върху откритите части на тялото могат да се направят следните изводи:

- Температурата на откритите части на тялото се повлияват от топлинната изолация на връхното облекло: колкото по-висока е тя, толкова по-висока е температурата на лицето, ръцете и вътрешната част на окото. Това влияние е толкова по-голямо, колкото по-ниска е температурата на околната среда:
- Температурата на откритите части на тялото е различна, което съответства на механизмите на терморегулиране: свиване на кръвоносните съдове на крайниците и максимално поддържане на температурата на ядрото на тялото.

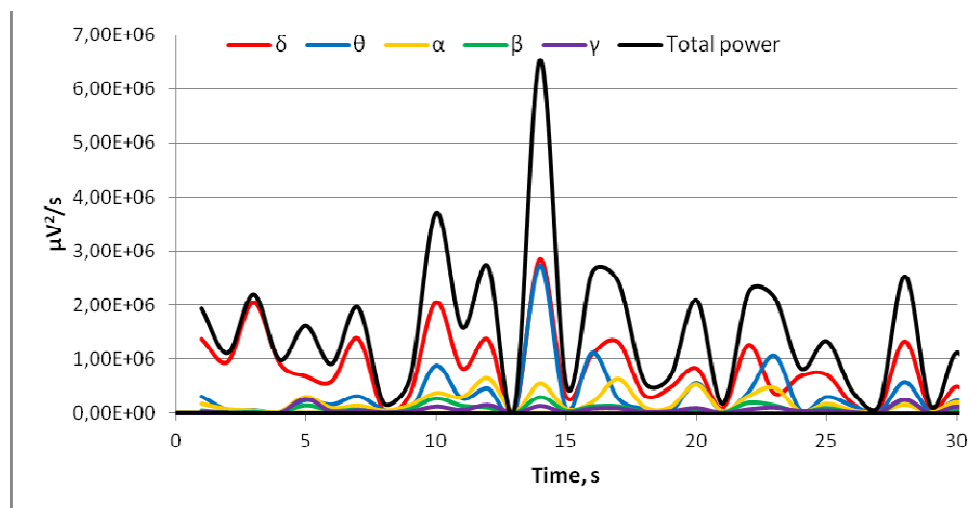
10.7. Резултати от измерването на мозъчните вълни

Както беше отбелязано, в тази част от изследването в дисертационния труд е поставена общата цел да се установи / отхвърли наличието на ефект върху дейността на мозъка в среда на ниски температури при изследваните режими, без да се навлиза в детайли от физиологична гледна точка, които са обект на медицински изследвания.

Представени са резултати от запис на мозъчните вълни по време на извършване на тест Tsai-Partington (Markov et al. 2014).

10.7.1 Резултати от аклиматизацията

Предварителната подготовка за изследването в климатичната камера включва престой в климатизирана лаборатория (22 °C, 65% влажност), при който една от задачите е решаване на Tsai-Partington тест и запис на мозъчните вълни. Фигури 10.48 показва примерна електроенцефалограма на Индивид 1 в Етап 1.



Фиг. 10.48. Мозъчни вълни, Индивид 1, аклиматизация Етап 1

Анализът на графиките показва, че общата енергия от активността на мозъка се определя главно от доминиращите делта вълни. Същото е установено и за другите двама участника. Този резултат съвпада с изследванията на Basar et al. (1992), Basa (1999), Basar et al. (2001); Schurmann et al. (2001).

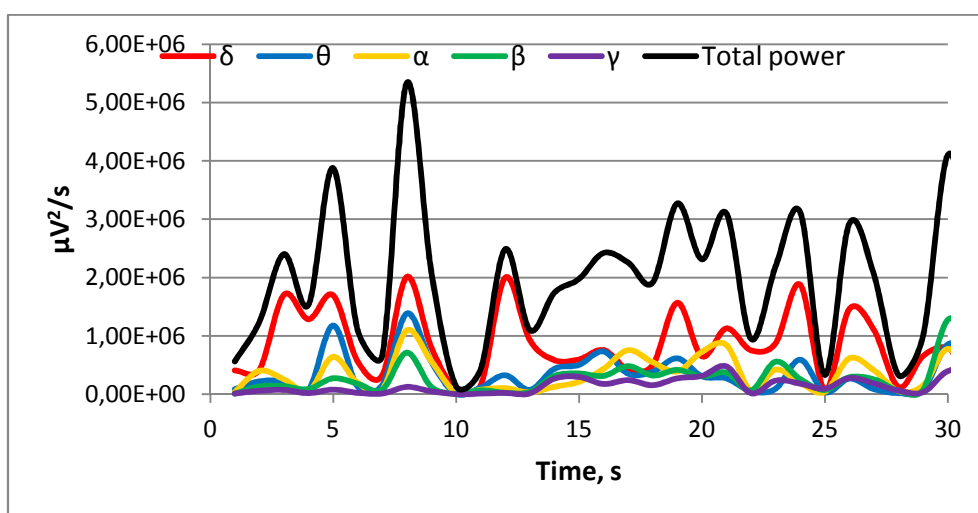
Пиковите, които се появяват на Фигури 10.48, съответстват на намирането на конкретна цифра от теста: колкото по-лесно е откриването на поредната цифра в теста, толкова по-малко мозъчна енергия се консумира и обратно. Например, на Фиг. 10.48 се отчитат 13 пика и участникът в теста е успял да свърже 13 последователни числа.

10.7.2 Резултати от изследванията в студена околна среда

Тестът Tsai-Partington се попълва двукратно: ок. 7 минута от експозицията в климатичната камера и ок. 21 min от експозицията, условно приемани за времена „в началото“ и „в края“.

На Фигура 10.50 представена примерна графика: записът на мозъчните вълни в началото на експозицията на Индивид 1 в Етап 1 (температура на околната среда -11 °C; топлинна изолация на върхното облекло 0.63 clo). За разлика от референтните записи в комфортна среда, тук се наблюдава ярко изразени както делта и тета вълни, така и алфа, бета и гама вълни.

За да се направи сравнение между резултатите на Фигури 10.50 - 10.51 е пресметната средната стойност на общата енергия, излъчена от мозъчната кора на всеки от участниците в изследването преди, след и по време на експозицията при температура на околната среда -11 °C и топлинна изолация на върхното облекло 0.63 clo.

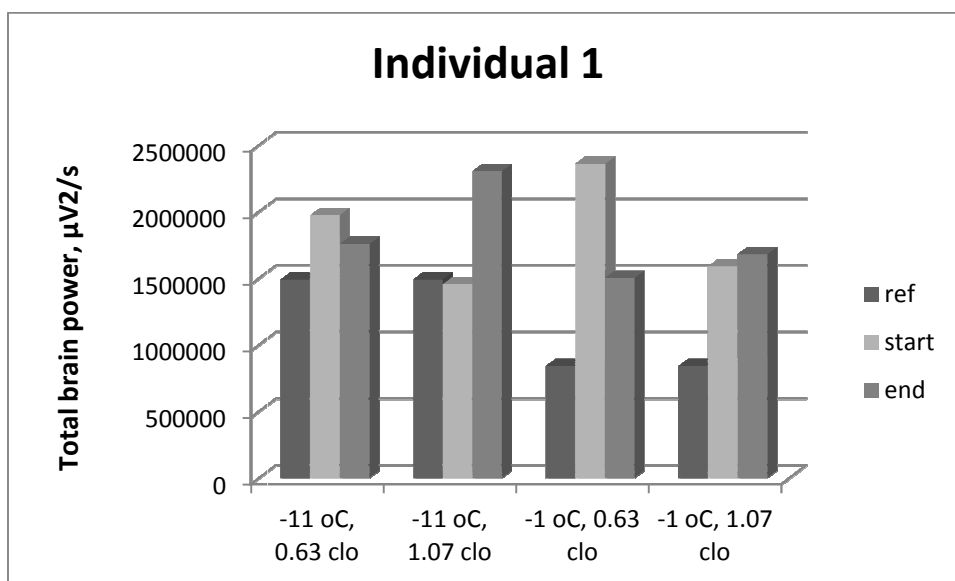


Фиг. 10.50. Мозъчни вълни, Индивид 1, Начало (-11 °C; 0.63 clo)

На Фиг. 10.57 са показани примерните резултати за средната стойност на общата мозъчна енергия, при решаване на Tsai-Partington тест от Индивид 1 преди, в началото и в края на експозициите при различна температура на околната среда и различна топлинна изолация на върхното облекло.

Анализът на резултатите показва, че е налице тенденция, свързана с топлинната изолация на върхното облекло. В началото на експозицията общата мозъчна енергия за решаване на теста е по-голяма при използване на върхно облекло с топлинна изолация 0.63 clo. Разликата е 26% при -11 °C и 32% при -1 °C. Измерването с ИТК върху откритите и покрити части на тялото вече показаха, че термофизиологичният комфорт на тялото е по-добър в резултат на използването на по-добре изолиращо го от околната среда върхно облекло.

В края на експозицията обаче, общата мозъчна енергия за решаване на теста, е по-голяма при използване на върхно облекло с топлинна изолация 1.07 clo. Разликата е 31% при -11 °C и 11% при -1 °C. За оценка на този факт, който се наблюдава при трите участника, са необходими допълнителни изследвания.



Фиг. 10.57. Средна стойност на общата мозъчна енергия за изследваните режими преди, в началото и в края на експозицията: Индивид 1

От проведените измервания на мозъчните вълни и сметите едноточкови електроенцефалограми могат да се направят следните изводи:

- Околната среда с ниски температури влияе върху вида на мозъчните вълни: в среда на термофизиологичен комфорт доминират делта вълните, докато в студена среда решаването на същата умствена задача води до по-ясно проявление на тета, алфа, бета и гама вълните.
- Общата мозъчна енергия, която е необходима за изпълняване на конкретна умствена задача в среда с ниски температури, е по-висока в сравнение с енергията, необходима за извършване на същата задача в среда на термофизиологичен комфорт.
- Установена е тенденция за ефект на топлинната изолация на връхното облекло върху общата мозъчна енергия, предопределена вероятно от общото състояние на термофизиологичен комфорт

10.8. Изводи от Глава 10

Въз основа на извършеното в Глава 10 могат да се направят следните изводи:

- Проведено е експериментално изследване с реални хора в студена среда за оценка на въздействието на връхното облекло за защита на тялото от ниски температури.
- Установено е, че температурата на облечените, но непокрити от връхното облекло части на тялото (бедра) се повлияват от топлинната изолация на връхното облекло и това влияние е толкова по-голямо, колкото по-ниска е температурата на околната среда.
- Установено е, че температурата на откритите части на тялото (лице, ръце и вътрешна част на окото) се повлияват от топлинната изолация на връхното облекло. Това влияние е толкова по-голямо, колкото по-ниска е температурата на околната среда.
- Установено е, че общата мозъчна енергия, която е необходима за изпълняване на конкретна умствена задача в среда с ниски температури,

е по-висока в сравнение с енергията, необходима за извършване на същата задача в среда на термофизиологичен комфорт.

- Доказано е с нови средства, че температурата на покритите от върхното облекло части на тялото е различна: при изследваната седяща поза най-бързо е охлаждането през горната част на ръцете, следвано от гърдите и гърба.
- Доказано е с нови средства, че температурата на откритите части на тялото е различна, което съответства на механизмите на терморегулиране.

Глава 11. Заключение и приноси на дисертационния труд

Дисертационният труд представя подробно изследване на термофизиологичните свойства на текстилни изделия, предназначени за върхни облекла за защита от ниски температури. Целта и задачите са формулирани на база на липсващи или непълни данни в литературата, като изследването в дисертационния труд обхваща следните аспекти:

1. Изследване на термофизиологичните свойства (свързани с преноса на въздух, топлина и влага) на системи слоеве, изграждащи върхни облекла за защита от ниски температури и съставните им единични слоеве с цел установяване на:
 - 1.1. Ефекта на геометрични, масови и структурни характеристики на единичните слоеве върху термофизиологичните им свойства.
 - 1.2. Ефекта на характеристиките на системите слоеве върху термофизиологичните свойства на системите.
 - 1.3. Връзка между термофизиологичните свойства на съставните слоеве и термофизиологичните свойства на системите слоеве.
2. Разработване на програма за пресмятане на индексите IREQ и DLE съгласно ISO 11079:2007 за прогнозиране на термофизиологичния комфорт на човека в среда с ниски температури:
 - 2.1. Анализ и установяване на съответствие между стандарта ISO 11079:2007 и други съществуващи стандарти, както и онлайн програма за пресмятане на индексите IREQ и DLE (част от ISO 11079:2007).
 - 2.2. Създаване на програма за симулиране на необходимата изолация на облеклото IREQ според математическия модел в стандарта ISO 11079:2007 при използване на езика за програмиране PASCAL.
 - 2.3. Прогнозиране на IREQ и DLE за изследваните върхни облекла за защита от ниски температури в условията на реални атмосферни условия и метаболитна активност.
3. Изследване на защитната способност на изследваните върхни облекла в среда с ниски температури въз основа на планиране и провеждане на контролиран експеримент с участието на реални субекти в климатична камера, с цел:
 - 3.1. Оценка на ефекта на върхното облекло върху температурата на откритите и облечените части на човешкото тяло.
 - 3.2. Оценка на ефекта на върхното облекло върху мозъчните вълни.

В резултат на извършеното изследване, получените резултати и техния анализ, както и изводите, направени в края на Глави 3 – 10, са дефинирани следните научно-приложни и приложни приноси на дисертационния труд.

Научно-приложни приноси

1. Получени са нови и потвърдителни данни относно ефекта на дебелината, площната маса и площната пористост на единични тъкани, използвани за изработка на връхни облекла за защита от ниски температури, върху техните термофизиологични свойства.
2. Получени са нови и потвърдителни данни относно ефекта на дебелината, площната маса и обемната маса на системи слоеве, използвани за изработка на връхни облекла за защита от ниски температури, върху техните термофизиологични свойства.
3. Получени са нови данни относно въздействието на термофизиологичните свойства на съставните слоеве върху термофизиологичните свойства на резултантната система и са изведени регресионни уравнения за топлинното съпротивление, въздухопропускливостта, съпротивлението на преноса на водни пари и пропускливостта на водни пари с висок корелационен коефициент.
4. Получени са нови данни относно защитния ефект на връхното облекло върху човешкото тяло в студена среда. Установено е, че температурата на защитените от връхното облекло части на тялото (торс), откритите части на тялото (лице, ръце и карункула) и облечените с друг вид облекло части на тялото (долни крайници) се повлиява от топлинната изолация на връхното облекло. Установено е, че влиянието на връхното облекло е толкова по-голямо, колкото по-ниска е температурата на околната среда.
5. Установени са атмосферните условия и нивата на метаболитна енергия, за които изследваните връхни облекла биха осигурили цялостен или частичен (при който човешкото тяло е обект на постепенно охлаждане без опасност от студово нараняване) термофизиологичен комфорт.

Приложни приноси:

1. Създадена е програма за симулиране на необходимата изолация на облеклото IREQ и продължителността на излагане DLE в среда с ниски температури съгласно стандарта ISO 11079:2007.
2. Установени са нови данни относно защитния ефект на връхното облекло върху мозъчните вълни и общата мозъчна енергия при извършване на умствена дейност в студена среда.

Публикации, свързани със съдържанието на дисертационния труд

1. Georgieva E., Fabrics and clothing for protection against cold and low temperatures, Proc. of Nineth Int. Course for young researchers „Computational engineering”, pp 117, Pamporovo, Bulgaria, 08-14 June, 2013
2. Georgieva E., Systems of textiles layers for protection from cold, Proc. of Tenth Int. Course for young researchers „Computational engineering”, pp 117, Pamporovo, Bulgaria, May, 2014
3. Георгиева Е., Р. Ангелова, Хр. Конова, „Изследване на преноса на влага при тъкани за връхни облекла за защита от студ”, „XIX Научна конференция с международно участие ЕМФ 2014”, pp 170-178, Созопол, България, 14-17 септември, 2014
4. Georgieva E., On the computation of the required clothing insulation for outdoor clothing”, Proc. of Eleventh Int. Course for young researchers „Computational engineering”, pp 129, Pamporovo, Bulgaria, May, 2015
5. Георгиева Е., Р. Ангелова, Изследване на преноса на влага при системи текстилни слоеве, използвани за изработване на облекла за защита от ниски температури, „XX Научна конференция ЕМФ 2015”, pp 196-201, Созопол, България, 13-16 септември, 2015
6. Георгиева Е., Р. Ангелова, Изследване на топлинната изолация на връхни облекла за защита от ниски температури, Текстил и облекло, 10, pp 230-263, 2015
7. Angelova R., E. Georgieva, Influence of the Thermo-Insulating Layer on the Fluid Transfer Through Fabric Ensembles for Outerwear Clothing, Focus Vol. 5, pp. 1–6, 2016

8. Angelova R., Reiners P., Georgieva E., Konova H. P., Pruss B., & Kyosev, Y., Heat and mass transfer through outerwear clothing for protection from cold: influence of geometrical, structural and mass characteristics of the textile layers. *Textile Research Journal*, doi: 0040517516648507, first published in June, 2016 (**Thomson Reuters Impact Factor 1.299**)

Abstract of the PhD thesis

The human body possesses extremely fine thermoregulation system, which reacts to the ambient temperature so as to keep the temperature of the internal organs around 37 °C. Without the protection of clothes and blankets, however, the thermoregulatory system could not cope with the protection of the body at temperatures below 18 °C without appearance of lighter or heavier cold related injuries. Therefore clothing is extremely important for all human activities related to exposure in low-temperature environments. It is a protective barrier between the body and the environment and an active participant in the processes of heat and mass transfer between them.

Most often, the selection of adequate clothing for protection from cold provides the necessary human thermophysiological comfort in cold environments only for a certain period of time. This adequate selection is associated with the thermophysiological characteristics of the textiles that are used for the clothing fabrication and associated with the processes of heat, air, and moisture transfer: heat resistance (or thermal insulation), air permeability, water-vapor permeability, and liquid transfer.

Therefore, the problem to assess the protective capabilities of the clothing items in low-temperature environments is complex and topical issue both in scientific and applied aspect. Of particular importance are the outerwear items that have direct contact with the inner layers of clothing, skin (neck, face and wrists) and the environment. Hence, this PhD thesis has focused on the outerwear for protection from low temperatures, aiming to explore the thermophysiological properties of the textiles used in the garments manufacturing and their effect on the human thermophysiological comfort.

In the thesis data are obtained on the effect of geometrical, mass and structural characteristics of the individual fabric layers on their thermophysiological properties and the influence of the properties of the systems of layers, used for production of cold protection clothing, on their thermophysiological properties. Regression equations are derived to establish a link between the thermophysiological properties of the compound layers and these properties of the resultant system.

A program to predict the required clothing insulation index IREQ and duration of limited exposure DLE in low-temperature environments was developed according to ISO 11079: 2007. Using the program the atmospheric conditions and levels of metabolic energy are defined, for which the investigated outerwear would provide full or partial thermophysiological comfort.

Based on an experiment, involving people and carried out in a climatic chamber, it was found that temperature of the protected from the outerwear clothing parts of the body (torso), the uncovered parts of the body (face, hands and inner-cantus), as well as the dressed with another type of clothing body parts (lower limbs) was affected by the heat insulation of the investigated jackets. The influence of the outerwear was as greater, as lower was the temperature of the environment. It was also found that the cold environment affected the type of the brain waves.