

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

2022, №1, Том 7 / 2022, No 1, Vol 7 <https://kostumologiya.ru/issue-1-2022.html>

URL статьи: <https://kostumologiya.ru/PDF/16TLKL122.pdf>

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

Нуриахметова, Э. Р. Исследование теплового излучения поверхности тела человека с ограниченными двигательными возможностями с целью подбора оптимального пакета материалов при проектировании адаптивной одежды / Э. Р. Нуриахметова, Н. В. Тихонова, Ю. А. Коваленко, Г. И. Гарипова // Костюмология. — 2022. — Т. 7. — № 1. — URL: <https://kostumologiya.ru/PDF/16TLKL122.pdf>

**For citation:**

Nuriakhmetova E.R., Tikhonova N.V., Kovalenko Yu.A., Garipova G.I. Study of thermal radiation of the surface of the human body with limited motor possibilities in order to select the optimal package of materials in designing adaptive clothing. *Journal of Clothing Science*, 1(7): 16TLKL122. Available at: <https://kostumologiya.ru/PDF/16TLKL122.pdf>. (In Russ., abstract in Eng.).

*Выражаем благодарность директору реабилитационного центра «Солнечный» Ахмадуллину Рустему Ильдусовичу, и заведующей центру диагностики и консультирования «Поиск» Акчуриной Алине Тагировне за предоставление возможности проведения исследования на базе центров*

**УДК 687**

**Нуриахметова Эльвира Рауфовна**

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия  
Аспирант/учебный мастер  
E-mail: [elvira-skor@yandex.ru](mailto:elvira-skor@yandex.ru)  
РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1100053](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1100053)

**Тихонова Наталья Васильевна**

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия  
Профессор  
Исполняющая обязанности заведующего кафедры «Конструирования одежды и обуви»,  
профессор кафедры «Конструирования одежды и обуви»  
Доктор технических наук  
E-mail: [nata.tikhonova.81@mail.ru](mailto:nata.tikhonova.81@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2241-869X>  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193534168>

**Коваленко Юлия Александровна**

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия  
Доцент  
Кандидат педагогических наук  
E-mail: [julia\\_a\\_kov@mail.ru](mailto:julia_a_kov@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9050-3394>  
РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=792957](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=792957)

**Гарипова Гузель Ильгизаровна**

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», Казань, Россия  
Доцент  
Кандидат технологических наук  
E-mail: [Fusion478@mail.ru](mailto:Fusion478@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8432-2044>  
РИНЦ: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=792900](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=792900)

## **Исследование теплового излучения поверхности тела человека с ограниченными двигательными возможностями с целью подбора оптимального пакета материалов при проектировании адаптивной одежды**

**Аннотация.** В настоящее время проводится множество мероприятий в рамках программы «Доступная среда» для людей с ограниченными двигательными возможностями (ОДВ). Программа затрагивает ряд вопросов, среди которых особую актуальность приобретает создание адаптивной одежды, оптимально учитывающей все особенности жизнедеятельности данной категории потребителей.

В рамках представленного исследования особое внимание уделяется проектированию адаптивной верхней одежды для детей с ОДВ, а именно вопросам создания комфортного пододежного микроклимата и сохранения необходимого теплового баланса. Решение данных вопросов напрямую зависит от подбора оптимальных свойств и характеристик пакета материалов, отвечающих определенным требованиям. Требования к пакету материалов определяются исходя из физиологических особенностей детей с ОДВ. Исследование этого вопроса требует глубокого изучения причин возникновения двигательных ограничений, так как именно причины кардинально влияют на симптомы и особенности функционирования опорно-двигательной системы человека, а следовательно, и на способность к терморегуляции.

Дети с ОДВ, в частности с диагнозом детский церебральный паралич (ДЦП), сталкиваются с множеством трудностей в адаптации и социализации, в первую очередь это связано с физиологическими особенностями такими как:

- мышечная дисплазия — повышенный тонус мышц, мешающий сгибанию и разгибанию конечностей, а в некоторых случаях и самого тела ребенка, что затрудняет процесс одевания или делает невозможным одевание некоторых предметов ассортимента одежды;
- особенности фигуры — дети с диагнозом детский ДЦП, как правило, имеют изменение пропорций по причине недостатка массы тела, большую голову и длинные конечности; асимметрию фигуры;
- отсутствие навыков и физической возможности самообслуживания;
- так как ДЦП является одним из следствий нарушений работы центральной нервной системы (ЦНС), а именно она и является одним из регуляторов теплообмена, то нарушения работы ЦНС приводят к нарушению терморегуляции и теплообмену человека.

В процессе определения температуры поверхности кожи у детей с диагнозом ДЦП, исследователями получены фотоснимки топографии тела человека в инфракрасном диапазоне, где отчетливо можно заметить участки кожи с тепловым излучением ниже нормативных показателей здорового человека. Возникновение таких участков обусловлено природой заболеваний, приводящих к нарушениям циркуляции крови (кровообращения) а, следовательно, и нарушениям в теплообмене.

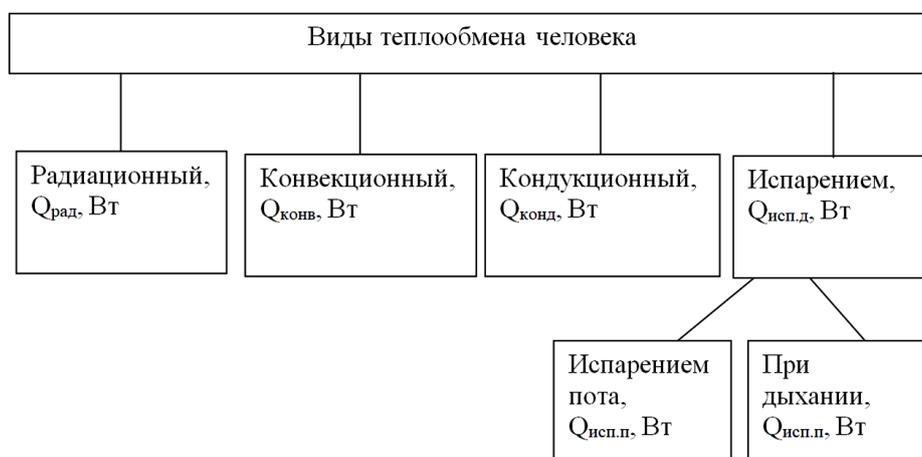
Авторами статьи проведены экспериментальные исследования по замерам температуры поверхности кожи у детей с ДЦП, и выявлена острая проблема с терморегуляцией верхних и нижних конечностей. Наиболее охлажденные участки поверхности кожи в организме, следующие: области спины (ассиметрично), грудная клетка (ассиметрично), плечи, кисти, бедра, голеностоп и стопы.

Данные замеры определили основную задачу исследования: составить оптимальный пакет материалов для зимней верхней одежды детей с ОДВ, обеспечивающий необходимый тепловой баланс и комфортный пододежный микроклимат.

**Ключевые слова:** тепловое излучение человека; детский церебральный паралич; теплоощущения человека; термография; тепловой баланс; пододежный микроклимат; детская адаптивная одежда

### Введение

Теплоотдача — это теплообмен между поверхностью тела человека и окружающей средой, который может осуществляться посредством радиационного излучения, конвекции, кондукции или испарения (рис. 1). В соответствии с этим выделяют четыре вида теплообмена человека с окружающей средой, представленные на рисунке 1 [1; 2].



**Рисунок 1.** Виды теплообмена человека с окружающей средой [1; 2]

Радиационный теплообмен — это теплообмен, проходящий путем инфракрасного излучения.

Конвекционный теплообмен — передача тепла с поверхности тела человека движущимся вокруг него воздухом.

Кондукционный теплообмен — это передача тепла от поверхности тела человека к соприкасающимся с ним твердым предметом.

Теплоотдача испарением — это процесс теплообмена путем испарения диффузионной влаги и пота. Такой вид теплообмена происходит в условиях высокой температуры воздуха и выполнении человеком физической работы.

Теплообмен между поверхностью тела человека и окружающей средой возможен при совокупности физиологических процессов, таких как: деятельность ЦНС и работа сердечно сосудистой системы, которые задействованы в процессе терморегуляции<sup>1</sup>. Исходя из выше изложенного, становится очевидно, что нарушение работы данных систем приводят к нарушению терморегуляции и изменениям в теплообмене человека с окружающей средой. Как

<sup>1</sup> Гевандова М.Г. Гомеостаз биологических систем и некоторые механизмы его обеспечения: метод. пособие для студ. 1-го курса мед. вузов) / М.Г. Гевандова, Н.Н. Федоренко, А.Б. Ходжаян, А.К. Михайленко, И.В. Климанович, В.В. Апагуни, Т.С. Николенко, Е.А. Данилова. — Ставрополь: Изд-во СтГМУ, 2017 — 36 с.

следствие такие нарушения приводят к перегреву или к переохлаждению организма человека или его отдельных частей [3–6].

ДЦП относится к врожденным не прогрессирующим, неврологическим заболеваниям ЦНС, приводящим не только к нарушению работы опорно-двигательного аппарата [3], но и к нарушению терморегуляции и теплообмена. Родители детей с ДЦП часто отмечают подобные нарушения, описывая их как «всегда горячие руки» или чаще «всегда холодные руки и ледяные ноги». Следовательно, стоит задача поддержания нормальной температуры тела ребенка или отдельных его участков. Особенно это важно при нахождении ребенка вне помещения в холодное время года. В связи с климатическими условиями на территории средней полосы России зимний период может продолжаться до семи месяцев. В условиях зимы детям с ОДВ труднее сохранять тепло. Разрабатывая одежду зимнего периода носки для детей с ДЦП, следует учесть также тот факт, что данная группа населения постоянно находится в состоянии покоя, в положение сидя или лежа. Что в свою очередь не позволяет увеличить тепловое излучение, особенно в конечностях и на поверхности кожи. Следовательно, приводит к охлаждению и переохлаждению тела человека [4]. В целях сохранения комфортной температуры пододежного слоя необходимо проектирование зимней одежды для детей с ДЦП в соответствие с их физиологическими особенностями, в частности с особенностями терморегуляции верхних и нижних конечностей.

### Постановка задачи

Выявление особенностей терморегуляции верхних и нижних конечностей, а также процессов теплообмена детей с ОДВ является первоочередной задачей. В целях её решения необходимо установить уровень теплового излучения у детей с ДЦП и вычислить комфортную температуру пододежного слоя, для чего важно определить уровень инфракрасного (ИК) излучения поверхности кожи.

Человек излучает тепло преимущественно в двух диапазонах, это инфракрасное излучение и электромагнитное в виде микроволн (сверхвысокочастотное излучение или СВЧ). В настоящее время измерение температуры тела производится как контактным, так и бесконтактным путем. Контактным путем можно измерить температуру тела (излучение инфракрасного излучения и электромагнитного совместно) в конкретной определенной точке тела [7]. Причем, если эти точки расположены в подмышечной впадине, в ухе, во рту или ректально, то полученные результаты сообщают о средней температуре ядра тела (туловища). Бесконтактный же способ позволяет измерить температуру поверхности кожи человека в определенной области в инфракрасном диапазоне. При этом бесконтактный способ с применением термографического оборудования позволяет наглядно продемонстрировать разницу температурного излучения на разных участках поверхности кожи человека [6].

Так как для вычисления комфортной температуры пододежного слоя и обоснования темпощущений детей с ДЦП необходимо знать температуру поверхности кожи, для исследования выбран термографический способ дистанционного измерения инфракрасного излучения.

Темпощущение — это восприятие тепла, температуры окружающей среды организмом человека.

### Методы

Термография — диагностический метод, основанный на измерении и регистрации теплового излучения поверхности тела человека или его отдельных участков [8].

У здоровых людей температура поверхности кожи распределена симметрично относительно вертикальной оси тела. Имеются относительно горячее ядро и плавное охлаждение в конечностях; тело не имеет «островков» пониженных или повышенных температур [5].

У людей имеющих, какие-либо заболевания в виде воспалений и/или нарушений кровообращения по результатам обследования обнаруживаются участки с повышенным или пониженным тепловым излучением [8].

Таким образом, инфракрасное излучение различных участков поверхности тела определяется тремя факторами:

1. Особенности васкуляризации (плотности снабжения органов и тканей сосудами) поверхностей тканей.
2. Уровнем метаболических процессов (обмена веществ) в них.
3. Различиями в теплопроводности (связанными с развитием жировой клетчатки).

Для измерения и фиксации теплового излучения используют приборы с жидкими кристаллами или приборы ночного видения и тепловизоры [7; 9].

В технической системе тепловизора используются электронно-оптические преобразователи, предназначенные для преобразования изображения из одной области спектра в другую. На входной элемент системы подается сигнал в области ИК излучения, а воспроизводится на экране телевизора в области видимого света. Части тела с разной температурой различаются на экране либо цветом, либо интенсивностью (тепловой портрет). Современные методы измерения позволяют отличать участки тела, разность температур которых составляет  $0,2^{\circ}\text{C}$  [7].

Инфракрасное излучение сильно поглощается телом и затухает на расстоянии 100 мкм, поэтому тепловизионные методы позволяют измерить температуру только верхних слоев кожи. Для определения температуры глубинных слоев измеряется интенсивность излучения тела в СВЧ — диапазоне, для которого глубина проникновения волны гораздо выше (порядка нескольких сантиметров). Измерения проводят с помощью, так называемых СВЧ — радиометров. Однако здесь возникают другие трудности: изменение интенсивности излучения с перепадом температуры на 1К составляет всего лишь  $2 \cdot 10^{-13}$  Вт/м<sup>2</sup>, не всегда удается определить источник изменения температуры, так как неизвестно на какой глубине он находится [9].

Для исследования выбран тепловизор инфракрасного излучения марки Xintest НТ-18.

Исследование проводилось в помещении реабилитационного центра при комнатной температуре  $+22, +23^{\circ}\text{C}$ . В исследовании принимала участие группа из 15 детей в возрасте от 8 до 13 лет с диагнозом ДЦП.

Замеры температуры поверхности кожи, роста и веса детей производились в белье. Замерить истинный рост не предоставлялось возможным, по причине достаточно сильной деформации туловища и не разгибающихся нижних конечностей. У детей, не имеющих, и малой способности находится в вертикальном положении стоя, замеры роста проводились в положении лежа, такие замеры так же сложно назвать истинными по причинам деформации туловища и не разгибающихся нижних конечностей.

У всех детей в исследуемой группе имеется диагноз ДЦП разных видов и различной тяжести, приводящий к нарушению двигательных возможностей. В связи с чем термографическое исследование проводилось в положение сидя и лежа. Термографией замерялась и фиксировалась температура поверхности кожи ядра, верхних и нижних

конечностей с передней стороны, так как замеры и термографическая фиксация температуры со спины травматичны для детей с ДЦП в условиях стационара.

### Результаты

В ходе исследования выявлены и подтверждены зоны пониженного теплового излучения, в некоторых случаях отмечается асимметрия теплового излучения, или чередование зоны повышенной температуры с зоной низкой температуры и вновь зоной повышенной температуры поверхности кожи.

Исходя, из полученных данных можно заметить, что наиболее холодными участками являются: верхние конечности в области предплечья и кисти; нижние конечности в области голени и стопы. Встречаются случаи асимметрии по тепловому излучению. Разница теплового излучения правой и левой конечностей в среднем составляет 2°C.

Полученные данные измерения температуры поверхности кожи разных частей тела детей с диагнозом ДЦП усреднены и сведены автором в таблицу 1.

**Таблица 1**  
**Температура поверхности кожи разных частей тела детей с диагнозом ДЦП**

Части тела	Порядковый номер испытуемого															среднее значение
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
Туловище	33.1	34.7	31.1	34.5	32.4	31.2	31.3	30.8	30.9	29.5	33.3	34.4	32.7	34.8	33.9	32.6
Руки																
плечо	-	-	-	-	-	-	29.9	-	-	29.7	-	32.0	32.0	-	32.5	31.2
локтевой сгиб	-	-	-	-	-	30.5	32.2	-	-	29.7	32.6	31.9	31.9	-	-	31.5
предплечье	-	33.2	-	-	31.2	35.8	27.3	-	-	29.7	31.7	31.7	33.6	-	29.8	31.6
запястье	32.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29.8	31.0
пястье	-	-	32.6	-	31.2	31.2	30.8	29.4	29.8	29.2	32.0	32.0	32.7	30.2	30.6	31.0
пальцы	30.0	28.5	32.5	-	28.9	26.6	32.4	26.4	31.2	26.6	30.7	30.6	32.6	30.2	29.5	29.8
Ноги																
бедро	-	-	-	32.4	32.0	-	29.3	-	-	26.9	31.8	31.3	30.2	31.9	-	30.7
колени	-	-	-	-	-	-	-	-	27.8	26.6	30.4	32.2	28.2	-	-	29.0
голень	31.1	30.0	31.8	29.7	28.8	30.5	27.1	26.7	-	26.3	28.5	31.4	28.1	31.3	28.6	29.3
плюсна	31.4	29.1	31.1	-	32.3	29.2	28.7	30.2	28.7	27.2	31.7	31.8	27.7	-	31.0	30.0
пальцы	28.4	26.6	26.8	26.2	26.1	26.2	28.7	27.1	27.0	26.8	28.9	30.0	25.7	-	28.0	27.3

Составлено автором

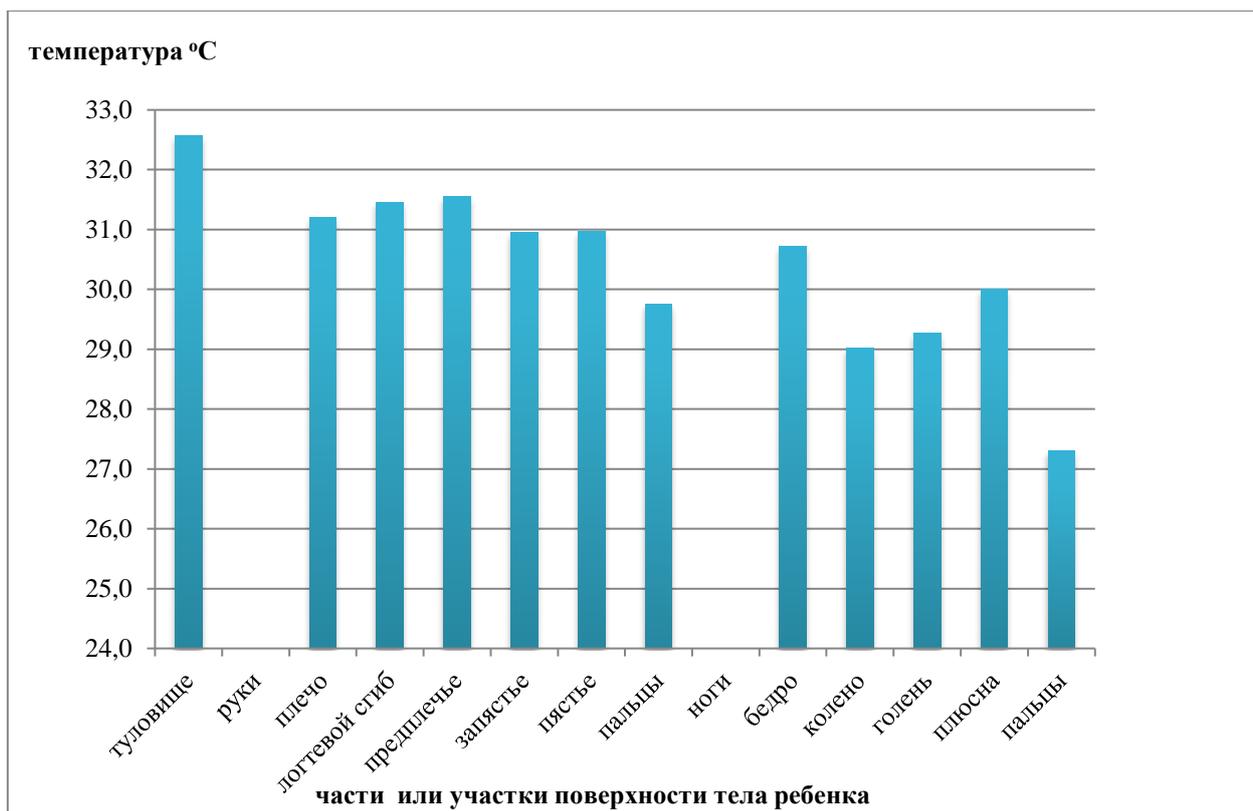
На основании данных таблицы автором составлен график средних значений температуры поверхности кожи различных частей тела детей с диагнозом ДЦП, представленный на рисунке 2.

Как видно из рисунка 2, наиболее теплым является ядро тела. Наиболее холодными участками являются пальцы рук — средняя температура 29,8°C и пальцы ног со средней температурой 27,3°C.

Автором [10], представлены результаты термографического исследования детей с ДЦП, которые так же выявили повышение температуры ядра тела и тепловую асимметрию в конечностях, а также их пониженное тепловое излучение.

Полученные данные необходимы для расчета потерь тепла и определения теплоощущений человека.

При исследовании рассмотрен радиационный теплообмен человека, так как именно он позволяет рассчитать коэффициент инфракрасного излучения и тепловых потерь человека Вт/(м<sup>2</sup>\*°C). Потери тепла рассчитаны при температуре окружающей среды 22–23°C.



**Рисунок 2.** График средних значений температуры поверхности кожи (составлено автором)

В реальных условиях жизнедеятельности человека разность температур окружающей среды и температуры тела будет не большой, уравнение для определения потерь тепла радиацией  $Q_{\text{рад}}$ , Вт можно вычислить по формуле:

$$Q_{\text{рад}} = \alpha_{\text{рад}} \times S_{\text{рад}} (t_1 - t_2), \quad (1)$$

где  $\alpha_{\text{рад}}$  — коэффициент излучения, Вт/(м<sup>2</sup>\*°C);

$S_{\text{рад}}$  — площадь поверхности тела человека, м<sup>2</sup>;

$t_1$  — температура поверхности кожи человека;

$t_2$  — температура поверхности окружающих предметов (22°C).

Коэффициент излучения  $\alpha_{\text{рад}}$  определяется согласно данным приведенным в таблице «Коэффициент излучения  $\alpha_{\text{рад}}$  при различной температуре поверхности тела и окружающих предметов» [1] и равен 5,4.

Для определения площади поверхности тела человека  $S_{\text{рад}}$  необходимо знать средний рост и среднюю массу человека.

Средний рост испытуемых = 137,04 см.

Средний вес испытуемых = 35,4 кг.

Согласно данным таблицы [1] при росте приближенном к 140 см и весе приближенном к 35 кг, поверхность тела человека  $S_{\text{рад}}$  составляет 1,17 м<sup>2</sup>.

Средняя общая температура поверхности кожи испытуемых = 30,4°C.

Температура поверхности окружающих предметов составила 22°C.

Определим потерю тепла радиацией  $Q_{\text{рад}}$ :

$$Q_{\text{рад}} = 5,4 \times 1,17 (30,4 - 22) = 53,0712 \text{ Вт.} \quad (2)$$

Чтобы определить испытываемые детьми теплоощущения рассчитаем энергозатраты (радиационное излучение на метр квадратный):

$$\text{Вт/м}^2 = 53,0712/1,17 = 45,36$$

Известно, что показатели основного теплового обмена человека колеблется в зависимости от возраста и пола [8]. Так в норме у здоровых детей в возрасте от восьми до двенадцати лет тепловой обмен варьируется от 56 до 47 Вт/м<sup>2</sup>. Полученный же результат в 45,36 Вт/м<sup>2</sup> доказывает низкий уровень теплообмена — теплового излучения у детей с ДЦП.

Теплоощущения человека коррелируются со средневзвешенной температурой кожи человека. Существует несколько методик для расчета средневзвешенной температуры поверхности кожи.

$$t_{\text{с.к.}} = 0.07t_1 + 0.5t_2 + 0.005t_7 + 0.18t_8 + 0.2t_{10}, \quad (3)$$

где  $t_1$  — температура точки, расположенная на лбу;  $t_2$  — температура точки, расположенная под правой грудью,  $t_7$  — температура точки, на запястье правой руки;  $t_8$  — температура точки, расположенной на правом бедре сзади;  $t_{10}$  — температура точки, расположенная на правой голени сзади.

$$T_{\text{с.к.}} = 0.07t_1 + 0.5t_2 + 0.05t_7 + 0.18t_8 + 0.2t_{10} = 0,07 \cdot 32,6 + 0,5 \cdot 32,6 + 0,05 \cdot 31 + 0,18 \cdot 30,7 + 0,2 \cdot 29,3 = 2,282 + 16,3 + 1,5 + 5,526 + 5,86 = 31,518$$

Согласно данным авторов [1] теплоощущение  $T_{\text{с.к.}} = 31,518$  определяется как «Прохладно».

Стоит отметить, что средневзвешенная температура может не быть равной средней общей температуры поверхности кожи испытуемых. Согласно исследованию, средняя температура поверхности кожи составила 30,4°C.

Так же для определения теплоощущений человека необходимо знать значение теплосодержания в организме человека. Изменение теплосодержания рассчитывается по отношению к его исходным показателям, определенным в условиях теплового комфорта у человека, находящегося в состоянии относительного физического покоя в положении сидя. Дефицит и накопление тепла в теле человека оцениваются в кДж.

Нам известна величина теплового излучения в Вт. Для того чтобы перевести полученные Qрад, Вт в кДж/ч воспользуемся равенством:

$$1 \text{ Вт} = 3,6 \text{ кДж/ч}$$

$$\text{Следовательно, } 53,0712 \text{ Вт} = 191,05632 \text{ кДж/ч.}$$

Исходя из данных [1] дефицита и накопления тепла в теле человека и его теплоощущения полученное значение в 191,05632 кДж/ч определяется между теплоощущениями «прохладно» и «комфортно», при этом ближе к значению «прохладно».

При этом важно учитывать, что отдельные области конечностей обладают еще более низкой температурой (тепловым излучением), а это значит, что данные части испытывают теплоощущение как «Холодно» даже при обычной комнатной температуре равной 23°C<sup>2</sup>.

<sup>2</sup> Мануева Р.С. Гигиеническая оценка микроклимата: учебное пособие / Р.С. Мануева; ФГБОУ ВО ИГМУ Минздрава России, Кафедра общей гигиены. — Иркутск: ИГМУ, 2020. — 68 с.

### Обсуждение

Проведенное исследование позволило получить данные о температуре поверхности кожи разных частей и участков поверхности тела детей с диагнозом ДЦП и определить теплоощущения детей при комнатной температуре равной 23°C как «прохладное» и «холодное». Следовательно, для создания и поддержания физического комфорта детей при проектировании адаптивной одежды особое внимание следует обратить на создание необходимого теплового баланса и комфортного пододежного микроклимата. Однако представленный на сегодняшний день на российском рынке ассортимент зимней детской одежды не отвечает заявленным требованиям, зачастую изделия и пакет материалов не обладают необходимыми характеристиками теплового сопротивления [11], что приводит к охлаждению и переохлаждению конечностей детей с ОДВ. В связи с этим необходимо «утепление» изделия в данных областях, посредством правильного подбора пакета материалов и инновационных конструкторско-технологических решений.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Дель Р.А., Афанасьева Р.Ф., Чубарова З.С. Гигиена человека: Учеб. Пособие для вузов — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Легпромбытиздат, 1991. — 160 с.: ил. — ISBN 5-7088-0404-1.
2. Малышева А.Е. Гигиенические вопросы радиационного теплообмена человека с окружающей средой: радиационное охлаждение / А.Е. Малышева. — Москва: Медгиз, 1963. — 244 с.: ил. — Библиогр.: с. 228–242.
3. Захожая Т.С., Бекк М.В., Бекк Н.В., Тихонова Н.В. Термоиндикаторы и эффект «Термохромизма» ортопедической обуви для ДЦП // Вестник КГТУ. — Казань, 2016, Т. 19, № 7, С. 76–79.
4. Агаджанян Н.А., Смирнов В.М. Нормальная физиология: Учебник для студентов медицинских вузов. — М.: ООО «Издательство «Медицинское информационное агентство», 2009. — 520 с.: ил. ISBN 978-5-9986-0001-2.
5. Ткаченко Ю.А., Голованова М.В., Овечкин А.М. Клиническая термография (обзор основных возможностей), Ю.А. Ткаченко — ЗАО Союз восточной и Западной медицины — Нижний Новгород 1998.
6. Солодков А.С. Физиология человека. Общая. Спортивная. Возрастная: учебник, 7-е издание / А.С. Солодков — «Спорт», 2001, 2005, 2008, 2015, 2017. ISBN 978-5-906839-86-2.
7. Ткаченко Б.И. и др. Физиология человека. Compendium / под ред. Б.И. Ткаченко: учебник. — 3-е изд., испр. и перераб. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. — 496 с. ISBN 978-5-9704-0964-0.
8. Косенко Е.А. Энергетический обмен в норме и при патологии. Роль возбуждающих нейромедиаторов URSS. 2014. 304 с. ISBN 978-5-9710-0813-2.
9. Морозов А.М., Мохов Е.М., Кадыков В.А., Панова А.В. Медицинская термография: возможности и перспективы // Казанский медицинский журнал. — 2018. — том 99. — №2. — С. 264–270.
10. Воловик М.Г., Шейко Г.Е., Кузнецов А.Н. Тепловизионные признаки спастических форм ДЦП у детей 4–7 лет: протокол и анализ данных // Медицинский алфавит. Серия «Неврология и психиатрия». — 2019. — Т. 3. — 24(399). — С. 28–38.
11. Нуриахметова Э.Р., Тихонова Н.В., Махоткина Л.Ю. Требования предъявляемые к адаптивной одежде для детей с диагнозом детский церебральный паралич // XVII Республиканская школа студентов и аспирантов «Жить в XXI веке», КНИТУ, 2021. — С. 451–453.

**Nuriakhmetova Elvira Raufovna**

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia  
E-mail: [elvira-skor@yandex.ru](mailto:elvira-skor@yandex.ru)  
RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=1100053](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=1100053)

**Tikhonova Natalya Vasilievna**

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia  
E-mail: [nata.tikhonova.81@mail.ru](mailto:nata.tikhonova.81@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2241-869X>  
SCOPUS: <https://www.scopus.com/authid/detail.url?authorId=57193534168>

**Kovalenko Yulia Alexandrovna**

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia  
E-mail: [julia\\_a\\_kov@mail.ru](mailto:julia_a_kov@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9050-3394>  
RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=792957](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=792957)

**Garipova Guzel Ilgizarovna**

Kazan National Research Technological University, Kazan, Russia  
E-mail: [Fusion478@mail.ru](mailto:Fusion478@mail.ru)  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8432-2044>  
RSCI: [https://www.elibrary.ru/author\\_profile.asp?id=792900](https://www.elibrary.ru/author_profile.asp?id=792900)

## **Study of thermal radiation of the surface of the human body with limited motor possibilities in order to select the optimal package of materials in designing adaptive clothing**

**Abstract.** Currently, there are many activities under the Accessible Environment program for people with limited mobility (EFA). The program touches upon a number of issues, among which the creation of adaptive clothing that optimally takes into account all the features of the life of this category of consumers is of particular relevance.

Within the framework of the present study, special attention is paid to the design of adaptive outerwear for children with EFA, namely, the creation of a comfortable underclothing microclimate and maintaining the necessary thermal balance. The solution of these issues directly depends on the selection of the optimal properties and characteristics of a package of materials that meet certain requirements. The requirements for the package of materials are determined based on the physiological characteristics of children with EFA. The study of this issue requires a deep study of the causes of movement restrictions, since it is the causes that radically affect the symptoms and features of the functioning of the human musculoskeletal system, and, consequently, the ability to thermoregulate.

Children with EFA, in particular those diagnosed with cerebral palsy (CP), face many difficulties in adaptation and socialization, primarily due to physiological characteristics such as:

- muscular dysplasia — increased muscle tone that interferes with flexion and extension of the limbs, and in some cases the child's body itself, which makes it difficult to dress or make it impossible to dress some items of clothing;
- features of the figure — children diagnosed with cerebral palsy, as a rule, have a change in proportions due to lack of body weight, a large head and long limbs; asymmetry of the figure;
- lack of skills and physical ability to self-service;

- since cerebral palsy is one of the consequences of violations of the central nervous system (CNS), namely, it is one of the regulators of heat transfer, disturbances in the work of the central nervous system lead to a violation of thermoregulation and heat transfer in humans.

In the process of determining the temperature of the skin surface in children diagnosed with cerebral palsy, the researchers obtained photographs of the topography of the human body in the infrared range, where it is clearly possible to notice areas of the skin with thermal radiation below the normative indicators of a healthy person. The occurrence of such areas is due to the nature of diseases that lead to disturbances in blood circulation (blood circulation), and, consequently, disturbances in heat transfer.

Our experimental studies on skin surface temperature measurements in children with cerebral palsy revealed an acute problem with thermoregulation of the upper and lower extremities. The most chilled areas of the skin surface in the body are the following: back (asymmetrical), chest (asymmetrical), shoulders, hands, hips, ankles and feet.

These measurements determined the main task of the study: to create an optimal package of materials for winter outerwear for children with EFA, providing the necessary thermal balance and a comfortable underclothing microclimate.

**Keywords:** human thermal radiation; infantile cerebral palsy; human heat sensations; thermography; thermal balance; underwear microclimate; children's adaptive clothing