|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **ЕВРАЗИЙСКИЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ**  **(ЕАСС)**  **EURO-ASIAN COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION**  **(EASC)** | | |
| Picture in Документ1 | **МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ**  **СТАНДАРТ** | **ГОСТ**  **ISO 13506-2** *(проект, RU,*  *первая редакция)* |

Система стандартов безопасности труда

# ОДЕЖДА СПЕЦИАЛЬНАЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ

# ОТ КРАТКОВРЕМЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТКРЫТОГО ПЛАМЕНИ

**Часть 2**

**Прогнозирование ожоговых травм кожи.**

**Требования к расчетам и примеры**

**(ISO 13506-2:2024, Protective clothing against heat and flame — Part 2: Skin burn injury prediction — Calculation requirements and test cases, IDT**)

*Настоящий проект стандарта не подлежит применению до его принятия*

**Минск**

**Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации**

**202\_**

**Предисловие**

Евразийский совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАСС) представляет собой региональное объединение национальных органов по стандартизации государств, входящих в Содружество Независимых Государств. В дальнейшем возможно вступление в ЕАСС национальных органов по стандартизации других государств.

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, применения, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Акционерным обществом «ФПГ ЭНЕРГОКОНТРАКТ» (АО «ФПГ ЭНЕРГОКОНТРАКТ») на основе официального перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Евразийским советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от № )

За принятие проголосовали:

| Краткое наименование страны по МК  (ИСО 3166) 004-97 | Код страны по МК (ИСО 3166) 004-97 | Сокращенное наименование  национального органа  по стандартизации |
| --- | --- | --- |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 13506-2:2024 «Одежда специальная для защиты от тепла и пламени — Часть 2: Прогнозирование ожоговых травм кожи — Требования к расчетам и примеры» («Protective clothing against heat and flame — Part 2: Skin burn injury prediction — Calculation requirements and test cases», IDT).

Международный стандарт разработан техническим комитетом Международной организации по стандартизации ISO/TC 94 «Средства индивидуальной защиты. Защитная одежда и оборудование», подкомитетом SC 13 «Защитная одежда».

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ 1.5–2001 (подраздел 3.6) и для увязки с наименованиями, принятыми в существующем комплексе межгосударственных стандартов.

В 6.1.2, 6.1.4, 7.4, приложении А, приложении В (В.2, таблицы В.1, В.2) настоящего стандарта исправлены опечатки, выявленные в тексте указанного международного стандарта, комментарии к исправлениям оформлены сноской.

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном [приложении ДА.](kodeks://link/d?nd=1200114290&point=mark=000000000000000000000000000000000000000000000000008PM0LV)

5 ВЗАМЕН ГОСТ ISO 13506-1-2021.

6 Некоторые элементы настоящего стандарта могут являться объектами патентных прав

*Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.*

*В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»*

Исключительное право официального опубликования настоящего стандарта на территории указанных выше государств принадлежит национальным (государственным) органам по стандартизации этих государств.

**Содержание**

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Область применения………………………………………………………………..… |  |
| 1. Нормативные ссылки…………………………………………………………….….... |  |
| 1. Термины и определения……………………………………………………………... |  |
| 1. Общие требования……………………………………………………..…………..…. |  |
| 1. Испытательное оборудование, подготовка образцов и порядок проведения испытания…………………………………….……………………….……………….. |  |
| 1. Расчет прогнозируемой ожоговой травмы кожи ……………..……………….…. |  |
| * 1. Модель кожи …………………………………………………...……………….. |  |
| 6.1.1 Общие требования ………………………………………………………. |  |
| 6.1.2 Значения теплового потока датчика манекена как функция времени …………………………………………………….…………………….. |  |
| 6.1.3 Определение прогнозируемого внутреннего температурного поля кожи и гиподермы (жировой ткани) ………..………………………….. |  |
| 6.1.4 Начальные и граничные условия ………………..……………..…… |  |
| 6.1.5 Определение значения *Ω* для прогнозирования ожоговой травмы кожи………….……………..……………..……………..……………..……….… |  |
| 6.1.6 Время до появления болевых ощущений ………….……………..…. |  |
| 1. Расчет ожоговых травм кожи на примерах и in situ калибровка …………...… |  |
| 7.1 Примеры и in situ валидация ……………………..……………..………….… |  |
| 7.2 Примеры прогнозирования температуры слоя кожи |  |
| 7.2.1 Общие требования ……………………..……………..……………..… |  |
| 7.2.2 Первый пример ……………………..……………..……….…………….. |  |
| 7.2.3 Второй пример ………………………………..……………..…………… |  |
| 7.2.4 Требования к точности ………………………………..……………..… |  |
| 7.3 Расчет ожоговых травм кожи на примерах ……….……………..………… |  |
| 7.4 In situ валидация прогнозирования ожоговой травмы *….*……………..… |  |
| 1. Протокол испытаний ……………………………………………………..……… |  |
| * 1. Общие требования ………………………..……………..……………..……… |  |
| * 1. Модель кожи ………………..……………..……………..……………..……… |  |
| * 1. Результаты расчета ………….……………..……………..……………..…… |  |
| 8.3.1 Общие требования …………..……………..……………..…………….. |  |
| 8.3.2 Прогнозируемая площадь (%) травмы на манекене на основе общей площади манекена, содержащей датчики теплового потока …... |  |
| 8.3.3 Прогнозируемая площадь (%) травмы манекена, основанная только на площади манекена, покрытого испытуемым образцом ……... |  |
| 8.3.4 Иная информация ……………………………………………………….. |  |
| Приложение A (обязательное) Модель кожи с температурно-зависимым коэффициентом теплопроводности*, k(x,T)* …………………….. |  |
| Приложение B (справочное) Анализ данных межлабораторных испытаний……. |  |
| Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам…………………………………………………………… |  |
| Библиография…………………………………………………………………………...… |  |

**Введение**

Назначение термо- и огнестойкой специальной одежды – защищать пользователя от опасностей, которые могут вызвать ожоговую травму кожи. Одежда может быть изготовлена из одного или нескольких материалов, которые могут быть представлены в предмете или комплекте специальной одежды для испытания с помощью устройства, обеспечивающего воздействие огня на манекен.

Настоящий стандарт является дополнительным к ISO 13506-1. Данные, собранные в ходе испытаний в соответствии с ISO 13506-1, используют в качестве входных для данного расчета.

В ISO 13506-1 стационарный, вертикально ориентированный манекен размера взрослого человека (мужчины или женщины), одетый в предмет или комплект специальной одежды, подвергают воздействию лабораторно смоделированного открытого пламени с контролируемыми тепловым потоком, продолжительностью и распределением пламени. Средний падающий тепловой поток на внешнюю поверхность одежды составляет 84 кВт/м2. Датчики тепловой энергии установлены на поверхности манекена. Выходной сигнал от датчиков используют для расчета изменения теплового потока во времени и в зависимости от расположения на манекене, а также для определения полной энергии, поглощенной за период сбора данных. Период сбора данных выбирают таким образом, чтобы гарантировать, что полная переданная энергия не будет больше расти. Информация, полученная в результате расчета прогноза ожоговой травмы кожи (см. приложение В), может быть использована для оказания помощи в оценке эксплуатационных характеристик специальной одежды или комплекта специальной одежды в условиях проведения испытаний. Расчет также может быть использован в качестве модельного инструмента для оценки степени и характера потенциального повреждения кожи в результате воздействия испытуемой одежды.

Посадка предмета или комплекта специальной одежды на манекене имеет важное значение. При этом изменения в конструкции предмета или комплекта специальной одежды и то, каким образом манекен одет оператором, могут влиять на результаты испытаний и прогноз ожоговой травмы кожи. Опыт показывает, что испытание одежды на один размер больше, чем стандартный, может уменьшить процент прогнозируемого ожога тела в пределах 5 %.

ISO 13506-1 использует рассчитанную информацию о повреждении кожи при расчете коэффициента эффективности термоманекена.

Метод, описанный в настоящем стандарте, является дополнительной частью стандартов на средства защиты пожарных ISO 11999-3 и EN 469, а также стандарта на одежду специальную для защиты от тепла и пламени ISO 11612.

Стандарт национальной ассоциации противопожарной защиты NFPA 2112 [5] устанавливает метод испытания ASTM F1930-18 [6], который аналогичен описанному в ISO 13506-1 и содержит расчеты прогноза ожоговой травмы кожи, аналогичные описанным в настоящем стандарте.

**МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ**

**Система стандартов безопасности труда**

**ОДЕЖДА СПЕЦИАЛЬНАЯ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ОТ КРАТКОВРЕМЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТКРЫТОГО ПЛАМЕНИ**

**Часть 2**

**Прогнозирование ожоговых травм кожи.**

**Требования к расчетам и примеры**

Occupational safety standards system. Protective clothing to protect from short-term exposure to open flames. Part 2: Skin burn injury prediction — Calculation requirements and test cases

**Дата введения –**

## Область применения

В настоящем стандарте приводится подробная техническая информация для расчета прогнозируемых ожоговых травм кожи человека, когда ее поверхность подвергают воздействию переменного теплового потока, например, это может произойти из-за энергии, передаваемой через одежду или комплект специальной одежды, подвергшиеся воздействию пламени. Приводится ряд примеров, в отношении которых проверяется метод расчета прогноза ожоговой травмы. Стандарт также содержит требования к in situ калибровке датчика тепловой энергии - системе прогнозирования травмы кожи для диапазона тепловых потоков, возникающих под одеждой.

Методы расчета ожоговых травм кожи, представленные в настоящем методе испытания, не включают правила для обработки коротковолнового излучения, которое может проникать через кожу. К последним относятся дуговые вспышки, некоторые виды воздействий пламени с использованием жидкого или твердого топлива, а также ядерные источники.

## Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты. Для датированной ссылки применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированной – последнее издание (включая все изменения).

ISO 11610, Protective clothing — Vocabulary (Одежда защитная. Словарь)

ISO 13506-1, Protective clothing against heat and flame — Part 1: Test method for complete garments — Measurement of transferred energy using an instrumented manikin (Одежда специальная для защиты от тепла и пламени. Часть 1. Метод испытания специальной одежды. Измерение переданной энергии с применением манекена, оснащенного приборами)

## Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ISO 13506-1 и ISO 11610, а также следующие термины с соответствующими определениями.

ISO и IEC ведут терминологические базы данных для использования в области стандартизации по следующим адресам:

— ISO онлайн платформа для просмотра: доступна по <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: доступно по <https://www.electropedia.org/>

3.1 **ожоговая травма** (burn injury): Повреждение, которое проникает на различную глубину внутрь тканей человека из-за повышенных температур в результате теплопередачи на поверхность кожи.

Примечание 1 – Ожоговая травма в тканях человека возникает, когда ткань нагревается, и воздействие повышенной температуры (> 44 °C) сохраняется в течение критического периода времени. В настоящем стандарте принимается, что кожа имеет три слоя: эпидермис, который является грубым наружным слоем, дерма, которая является слоем ниже эпидермиса, и гиподерма (жировая ткань), которая является жировым слоем ткани глубже, чем дерма. В рамках настоящего стандарта принимают, что толщиныслоев одинаковы по всему телу человека. Изменения толщины, которые происходят с возрастом, месторасположением и полом, не учитывают. Тяжесть повреждения, называемая прогнозируемой ожоговой травмой первой, второй или третьей степени (или частичной толщины или полной толщины), зависит от величины повышения температуры выше 44 °C и времени, в течение которого она остается на уровне или выше 44 °C.

3.1.1 **ожоговая травма первой степени/ ожог первой степени** (first-degree burn injury /first-degree burn): Ожоговое повреждение, при котором пострадала только поверхностная часть эпидермиса.

Примечание 1 – Кожа становится красной, но не покрывается волдырями и не прожигается насквозь. Ожоговая травма первой степени обратима. В настоящем стандарте время возникновения прогнозируемой ожоговой травмы первой степени указывают при значении *Ω* = 0,53 [см. формулу (3)] на глубине кожи 75 мкм, т.е. на границе эпидермиса и дермы.

3.1.1.1 **площадь ожоговой травмы первой степени/ площадь ожога первой степени** (first-degree burn injury area/ first-degree burn area): Сумма площадей, представленных датчиками теплового потока, для которых прогнозируется только расчетная *ожоговая травма первой степени* (3.1.1).

3.1.2 **ожоговая травма второй степени/ ожог второй степени/ ожог частичной толщины** (second-degree burn injury/ second-degree burn /partial thickness burn): Ожоговое повреждение, при котором происходит ожог эпидермиса и в различной степени дермы, но вся толщина дермы обычно не разрушается, и гиподерма не повреждается.

Примечание 1 – Ожоговая травма второй степени более серьезна, чем ожоговая травма первой степени, приводящая к полному некрозу (гибели живых клеток) слоя эпидермиса, обычно сопровождающемуся волдырем, но обратима, особенно если площадь поражения невелика. В настоящем стандарте указывается время возникновения прогнозируемой ожоговой травмы второй степени при значении *Ω* = 1,0 [см. формулу (3)] на глубине кожи 75 мкм, т.е. на границе эпидермиса и дермы.

3.1.2.1 **площадь ожоговой травмы второй степени/ площадь ожога второй степени** (second-degree burn injury area/ second-degree burn area): Сумма площадей, представленных датчиками теплового потока, для которых расчетная ожоговая травма второй степени является наиболее тяжелой из прогнозируемых травм.

3.1.3 **ожоговая травма третьей степени/ ожог третьей степени/ ожог полной толщины** (third-degree burn injury/ third-degree burn/ full thickness burn): Ожоговое повреждение, которое распространяется через дерму в гиподерму или за ее пределы.

Примечание 1 – Ожоговая травма третьей степени является необратимой. В настоящем стандарте указывается время возникновения прогнозируемой ожоговой травмы третьей степени при значении *Ω* = 1,0 [см. формулу (3)] на глубине кожи 1 200 мкм, т.е. на границе дермы и гиподермы.

3.1.3.1 **площадь ожоговой травмы третей степени/ площадь ожога третей степени** (third-degree burn injury area/ third-degree burn area): Сумма площадей, представленных датчиками теплового потока, для которых прогнозируется расчетная *ожоговая травма третьей степени* (3.1.3).

3.1.4 **общая площадь ожоговой травмы/ общая площадь ожога** (total burn injury area/ total burn area): Сумма площадей, представленных датчиками теплового потока, для которых прогнозируется по меньшей мере ожоговая травма второй степени.

3.2 **значение омега *Ω*** (omega value *Ω*): Параметр травмы кожи, значение интеграла повреждений [(см. формулу (3)], который указывает на прогнозируемую *ожоговую травму* (3.1) при определенных значениях глубины кожи и температурных режимах.

3.3 **время до** **появления болевых ощущений** (time to pain): Время, необходимое для того, чтобы болевые рецепторы достигли температуры 43,2 °C.

Примечание – В настоящем стандарте болевые рецепторы расположены на 95 мкм ниже поверхности кожи.

## Общие требования

Желательно использовать расчет прогнозируемой ожоговой травмы кожи для сравнения относительных характеристик специальной одежды с применением методов испытаний, которые измеряют тепло, переданное к поверхности манекена при определенном воздействии тепловой энергии. Настоящий стандарт описывает метод расчета, который должен использоваться для данной цели при проведении испытаний, описанных в ISO 13506-1. ISO 13506-1 устанавливает метод измерения передачи энергии, который может быть использован в качестве основы для оценки относительных термозащитных характеристик испытуемого образца. Эксплуатационные характеристики зависят как от применяемых материалов конструкции и конструкции, так и от посадки одежды на испытательный манекен. Средний воздействующий тепловой поток составляет 84 кВт/м2 с длительностью от 3 до 20 с.

Прогнозируемая ожоговая травма, определяемая в настоящем методе испытания, использует упрощенную математическую модель, которая напрямую не переводится в фактическую ожоговую травму кожи человека при любых воздействиях в условиях испытания. Модель основана на измерениях, сделанных на предплечьях человека (Столл и Грин [8]).

Испытуемый образец надевают на манекен размера взрослого человека (см. ISO 13506-1:2024, 5.1) в атмосферных условиях окружающей среды и подвергают воздействию лабораторно смоделированного открытого пламени с контролируемыми тепловым потоком, продолжительностью и распределением пламени. Процедуру испытания, сбор данных, расчет результатов и подготовку протокола испытаний выполняют с использованием компьютерного оборудования и программного обеспечения.

Тепловая энергия, передаваемая через испытуемый образец и от испытуемого образца к поверхности манекена во время и после воздействия, измеряется датчиками теплового потока, расположенными на поверхности манекена. Количество тепла меняется со временем. Метод, указанный в настоящем стандарте, использует измерения теплового потока по ISO 13506-1 для расчета прогнозируемого времени до появления болевых ощущений для каждого датчика тепловой энергии, площадей ожоговых травм первой, второй и третьей степени и общей площади ожоговой травмы, полученной в результате воздействия. Идентификацию испытуемого образца, условия испытания, комментарии и замечания относительно цели испытания и реакции испытуемого образца на воздействие записывают и включают как часть протокола испытаний. Полная переданная энергия и/или прогнозируемая площадь ожоговой травмы кожи, а также то, как испытуемый образец реагирует на воздействие пламени, являются индикаторами эффективности испытуемого образца для данного метода испытания. Метод прогнозирования ожоговой травмы кожи может быть использован с другими методами испытаний, которые производят аналогичные воздействия.

В разделе 6 приводится подробная информация о требуемом расчете прогнозируемой травмы кожи, а в разделе 7 перечисляется ряд примеров, в отношении которых метод расчета должен быть проверен для демонстрации соответствия заданной точности.

## Испытательное оборудование, подготовка образцов и порядок проведения испытания

Подробная информация об испытательном оборудовании, подготовка и надевание испытательного образца, а также порядок проведения испытания приведены в ISO 13506-1:2024 (разделы 5-8). В дополнение к процедурам калибровки, приведенным в ISO 13506-1:2024 (приложение С), лаборатории должны выполнять валидацию, описанную в разделе 7.

**6 Расчет прогнозируемой ожоговой травмы кожи**

**6.1 Модель кожи**

**6.1.1 Общие требования**

Настоящий стандарт содержит описания двух моделей кожи.

– Значения характеристик кожи для модели кожи с температурно-зависимым коэффициентом теплопроводности (модель кожи А) должны соответствовать указанным в таблицах 1, 2 и приложении А.

– Значения характеристик кожи для модели кожи с температурно-независимым коэффициентом теплопроводности (модель кожи В) должны соответствовать указанным в таблицах 1, 3.

Примечание 1 - Значения характеристик кожи, перечисленные в таблицах 1-3 и приложении А, а также расчетные примеры, указанные в разделе 7, были определены целевой группой в рамках ASTM (Американское общество по испытаниям и материалам), работающей над ASTM F1930 [6], методом испытания, разработанным вместе с серией ISO 13506. Рабочая группа изменила эксперименты Столл и Грина [7] таким образом, чтобы они соответствовали в пределах 10% условию *Ω* = 1,0 [формула (3)] для всех примеров Столл с частичным покрытием волдырями. В литературных источниках были найдены значения толщины трех слоев (*in vivo*) в предплечьях взрослых мужчин, а также начальное распределение температуры через слои в предплечье (1 °С). Используя данную информацию, формулы, приведенные в 6.1.3 и 6.1.5, а также значения *P* и Δ*E*, определенные Уивером и Столл [8] и показанные ниже, методы проб и ошибок и оптимизации были использованы для нахождения значений коэффициента теплопроводности, удельной теплоемкости и плотности отдельных слоев так, чтобы при одном наборе значений все экспериментальные измерения травм кожи Столл и Грина [7] плюс обобщения, рассчитанные Уивером и Столл [8], можно было предсказать с *Ω* = 1 ± 0,1. Полученные значения являются репрезентативными для живой ткани (*in vivo*). Таким образом, кровоток и его потенциальное влияние на результаты/прогнозы являются неявными в решении, использующим формулы и параметры, приведенные ниже.

Примечание 2 - ASTM F1930 содержит подробную историческую информацию о развитии в прогнозировании травм кожи вследствие теплового притока от горячих жидкостей и источников чистого излучения.

**6.1.2 Значения теплового потока датчика манекена как функция времени**

Значения поглощенного теплового потока, **(*t*), в кВт·м-2[[1]](#footnote-1)\* каждого датчика манекена, *i*, на каждом временном интервале, *t*, как это предусмотрено ISO 13506-1, должны приниматься в качестве входных данных для расчета прогноза ожоговой травмы кожи.

**6.1.3 Определение прогнозируемого внутреннего температурного поля кожи и гиподермы (жировой ткани)**

6.1.3.1 Общие требования

Термическое воздействие должно быть представлено как переходная одномерная задача диффузии тепла, в которой температура внутри слоев кожи эпидермиса и дермы, и гиподермы (жировой ткани) изменяется во времени и в зависимости от расположения (глубины), и описывается параболической дифференциальной формулой (1) (уравнение поля Фурье):

, (1)

где *ρCp* - объемная теплоемкость, Дж·м-3·K-1;

*t* - время, с;

*x* - глубина от поверхности кожи, м;

*T(x,t)* - температура на глубине *x* в момент времени *t*, °С;

*k(x,T)* - коэффициент теплопроводности на глубине *x* при температуре *T*, Вт·м-1·K-1.

Параметры, указанные для модели кожи А (т.е. в таблицах 1, 2 и приложении А) или для модели кожи В (т.е. в таблицах 1, 3) должны использоваться при расчетеформулы (1).

Таблица 1 – Модель кожи – Толщина слоев и глубина границы между слоями

в микрометрах

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Поверхность кожи | Эпидермис | Граница эпидермиса и дермы | Дерма | Граница дермы и гиподермы | Гиподерма |
| Глубина от поверхности кожи | 0 |  | 75 |  | 1 200 |  |
| Толщина слоев |  | 75 |  | 1 125 |  | 3 885 |

6.1.3.2 Физические характеристики модели кожи с температурно-зависимым коэффициентом теплопроводности, *k* (модель кожи А)

Известно, что коэффициент теплопроводности каждого из слоев кожи изменяется в зависимости от температуры вследствие обобщенных теплофизических характеристик компонентов слоя (упрощенный состав: вода, белок и жир). Купер и Трезек [9] и Нокс и др. [10] разработали соотношения для оценки теплофизических свойств кожи и подкожных (жировых) слоев на основе процентного содержания воды, белка и жира в каждом слое. Приложение А определяет значения для состава слоев, объемной теплоемкости слоя *ρCp (x)* и температурно-зависимого коэффициента теплопроводности *k(x,T)* в зависимости от обобщенных компонентов слоев кожи (вода, белок и жир), которые удовлетворяют требованиям раздела 7 и могут использоваться для расчета формулы (1). Референтные значения коэффициента теплопроводности (для температуры 32,5 °С), объемной теплоемкости и состава слоев приведены в таблице 2. Для расчета значений коэффициента теплопроводности, *k,* при температурах, отличных от 32,5 °С, см. приложение А.

Таблица 2 – Физические характеристики модели кожи с температурно-зависимым коэффициентом теплопроводности, *k*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Эпидермис | Дерма | Гиподерма |
| Коэффициент теплопроводности *k*, Вт·м-1·K-1  при *T*(0,0) = 32,5 °C | 0,615 5 | 0,597 6 | 0,365 9 |
| Объемная теплоемкость *ρCp,* Дж·м-3·K-1 | 4,158 × 106 | 4,017 × 106 | 2,285 × 106 |
| Процентное содержание воды, % от массы | 80 | 70 | 20 |
| Процентное содержание жира, % от массы | 6 | 12 | 72 |
| Процентное содержание белка, % от массы | 14 | 18 | 8 |

6.1.3.3 Физические характеристики для модели кожи с температурно-независимым коэффициентом теплопроводности, *k* (модель кожи В).

Если предположить, что коэффициент теплопроводности, *k*, зависит только от слоя и не зависит от температуры, то значения коэффициента теплопроводности, *k*, и объемной теплоемкости, *ρCp*, приведенные в таблице 3, соответствуют требованиям раздела 7 при использовании в расчете по формуле (1).

Таблица 3 – Физические характеристики для модели кожи с температурно-независимым коэффициентом теплопроводности, *k*

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Эпидермис | Дерма | Гиподерма |
| Коэффициент теплопроводности *k*, Вт·м-1·K-1 | 0,628 0 | 0,582 0 | 0,293 0 |
| Объемная теплоемкость *ρCp,* Дж·м-3·K-1 | 4,40 × 106 | 4,184 × 106 | 2,60 × 106 |

6.1.3.4 Математические методы для расчета формулы (1)

Формулу (1) решают численно, используя трехслойную модель кожи, определенную в таблице 1, которая учитывает зависимость глубины от коэффициента теплопроводности и значений объемной теплоемкости либо как указано в таблице 2 и приложении А, либо как указано в таблице 3. Каждый из трех слоев должен иметь постоянную толщину и располагаться параллельно поверхности.

Использование абсолютных температур рекомендуется при расчете формулы (1), поскольку формула (3), которую используют для расчета *Ω*, параметра ожоговой травмы, требует абсолютных температур.

Примечание – Средние значения характеристик, приведенные в таблицах 1-3, являются репрезентативными для *in vivo* (живых) значений для волярной поверхности предплечий испытуемых, участвовавших в экспериментах Столл и Грина [7]. Известно, что коэффициент теплопроводности каждого из слоев изменяется в зависимости от температуры вследствие обобщенных теплофизических характеристик компонентов слоя (упрощенный состав: вода, белок и жир). Температурная зависимость коэффициента теплопроводности каждого слоя моделируют в соответствии с определенным составом слоя. См. 6.1.1 и приложение А.

Эффективными методами дискретизации для расчета формулы (1) считают:

а) Метод конечных разностей (следующий за представлением центральных разностей «комбинированного метода», где ожидаются ошибки усечения второго порядка как в Δ*t*, так и в Δ*x*).

b) Метод конечных элементов (например, метод Галеркина), и

с) Метод конечных объемов (иногда называемый методом контрольных объемов).

Рассчитывают и сохраняют изменяющееся во времени внутреннее температурное поле для кожи и гиподермы (жировой ткани) для каждого датчика в каждый момент сбора данных в течение всего периода сбора данных путем применения каждого из время-зависимых значений поглощенного теплового потока датчиком на поверхности кожи, заявленных в 6.1.2. Эти внутренние температурные поля должны включать, как минимум, расчет значений температуры на поверхности (глубина = 0,0 м) [т.е. *T*(0, *t*)], на границе дермы и эпидермиса модели кожи, используемой, чтобы прогнозировать ожог второй степени (глубина = 75 мкм) [т.е. *T*(75 мкм, t)], и на границе дермы и гиподермы модели кожи, используемой, чтобы прогнозировать ожоговую травму третьей степени (глубина = 1200 мкм) [т.е. *T*(1200 мкм, *t*)].

Равномерно распределенные интервалы глубины (Δ*x*), обозначаемые как «узлы» или «сетки», рекомендуются для максимальной точности во всех численных моделях. Значение 15 мкм для Δ*x* было определено как эффективное. Разреженные или неструктурированные сетки не рекомендуется использовать в методе конечных разностей. Использование значения 15 мкм для Δ*x* устанавливает узел на 195 мкм ниже поверхности кожи, что является рекомендуемой глубиной для расчета времени до появления болевых ощущений (расположение болевого рецептора).

**6.1.4 Начальные и граничные условия**

Начальные и граничные условия следующие:

а) Начальная температура, *Т*(х, 0), внутри трех слоев должна иметь линейный рост с глубиной от *Т*(0,0) = 32,5 °С[[2]](#footnote-2)\* на поверхности до *Т*(5 085 мкм, 0) = 33,5 °С на границе гиподермы (жировой ткани) и мышечной ткани. Температура 33,5 °С на глубине 5085 мкм должна быть постоянной в течение всего времени.

Примечание 1 – Пеннес [11] измерил распределение температуры в предплечьях добровольцев. Для общей толщины кожи и гиподермы (жировой ткани), перечисленных в таблице 1, измеренное повышение составило 1 °С. Температура поверхности кожи добровольцев в экспериментах Столл и Грина [7] поддерживалась очень близкой к 32,5 °С.

b) Тепловой поток действует только на поверхность кожи. Предполагается, что данный тепловой поток на поверхности кожи поглощается поверхностью, т.е. *x* = 0, и коэффициент теплопроводности является единственной характеристикой передачи тепла в кожу и гиподерму (жировую ткань).

(2)

Примечание 2 – Допускается, что коэффициент теплопроводности не учитывает усиленную теплопередачу только внутри кожи и внутри более глубоких слоев из-за изменения кровотока в дерме и гиподерме (жировой ткани). Значения *in vivo* (живые), приведенные в таблице 2 и таблице 3, были рассчитаны на основе экспериментальных результатов Столл и Грина [7] и численных обобщениях Уивера и Столл [8]. Эти значения в значительной степени учитывают кровоток у испытуемых.

с) Тепловой поток на поверхности кожи в момент времени *t* = 0 (начало воздействия) равен нулю (0), т.е. (0) = 0.

d) Значения теплового потока на поверхности кожи в любое время, *t*> 0, являются время-зависимыми значениями поглощенного теплового потока (см. 6.1.2). Никакие поправки не вносятся для потерь теплового излучения или для различий в излучающей и поглощающей способностях между датчиками и поверхностью кожи, используемой в модели.

**6.1.5 Определение значения *Ω* для прогнозирования ожоговой травмы кожи**

Интегральную модель повреждения Энрикеса [11], показанную в формуле (3), используют, чтобы прогнозировать ожоговую травму кожи на основе значений температуры кожи в каждом интервале времени измерения при значениях глубины модели кожи 75 мкм  (прогнозирование ожоговой травмы первой и второй степени) и 1 200 мкм (прогнозирование ожоговой травмы третьей степени).

(3)

где *Ω* - параметр ожоговой травмы;

*t* - время воздействия и период сбора данных, с;

*P*(*x,T*) - предэкспоненциальный член, зависящий от глубины и температуры, с-1;

*e* - математическая постоянная (число Эйлера), 2,7183;

Δ*E*(*x,T*) - энергия активации, зависящая от глубины и температуры, Дж·моль-1;

*R* - универсальная газовая постоянная, 8,314 5 Дж· моль-1·K-1;

*T*(*x,t*) - температура кожи, зависящая от глубины и времени, °С.

Расчет *Ω* производят путем численного интегрирования по времени при *T* ≥44 °C. Значения *P* и Δ*E/R* для прогнозов ожоговой травмы первой, второй и третьей степени

6.1.5.1 Ожог первой степени

Для определения прогнозируемого времени до ожоговой травмы первой степени рассчитывают *Ω* на глубине 75 мкм в каждый момент времени в течение периода сбора данных. Прогнозируемое время до получения ожоговой травмы первой степени - это первая точка по времени, где *Ω* ≥0,53. Если такой точки нет, то ожоговая травма первой степени не прогнозируется.

6.1.5.2 Ожог второй степени

Для определения прогнозируемого времени до ожоговой травмы второй степени рассчитывают *Ω* на глубине 75 мкм в каждый момент времени в течение периода сбора данных. Прогнозируемое время до ожоговой травмы второй степени — это первая точка по времени, где *Ω* ≥1,0. Если такой точки нет, то ожоговая травма второй степени не прогнозируется

6.1.5.3 Ожог третьей степени

Для определения прогнозируемого времени до ожоговой травмы третьей степени рассчитывают *Ω* на глубине 1 200 мкм в каждый момент времени в течение периода сбора данных. Прогнозируемое время до ожоговой травмы третьей степени — это первая точка по времени, где *Ω* ≥1,0. Если такой точки не существует, то ожоговая травма третьей степени не прогнозируется.

**6.1.6 Время до появления болевых ощущений**

Время до появления болевых ощущений прогнозируется, когда кожная ткань на глубине 195 мкм достиг~~а~~ет температуры 43,2 °С, т.е. расчет формулы (1) при *T*(195 мкм, *t*).

Таблица 4 – Постоянные для расчета омеги по формуле (3)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Травма кожи | Диапазон температур | *P* | Δ*E/R* |
| Первая и вторая степень[7] | 44 °C ≤ *T* ≤ 50 °C | 2,185 × 10124 с−1 | 93 534,9 K |
|  | *T* > 50 °C | 1,823 × 1051 с−1 | 39 109,8 K |
| Третья степень[12] | 44 °C ≤ *T* ≤ 50 °C | 4,322 × 1064 с−1 | 50 000 K |
|  | *T* > 50 °C | 9,389 × 10104 с−1 | 80 000 K |

**7 Расчет ожоговых травм кожи на примерах и in situ калибровка**

**7.1 Примеры и in situ валидация**

Расчет значения *Ω* в формуле (3) экспоненциально зависим от абсолютной температуры. Таким образом, точный расчет температур в каждом из слоев кожи необходим для того, чтобы иметь точные прогнозы значений *Ω* и обеспечить соответствие методов прогнозирования ожоговой травмы кожи экспериментальным точкам Столл и Грина [7].

Данные требования включают в себя три этапа. Во-первых, должна быть обеспечена точность компьютерного кода для, чтобы точно прогнозировать внутреннее распределение температуры в полубесконечном твердом теле. Второй шаг заключается в обеспечении того, чтобы прогнозирование травмы кожи соответствовало условиям, измеренным и спрогнозированным Столл и его коллегами. Наконец, точность ввода-вывода аппаратного метода ожоговой травмы кожи проверяют путем воздействия на датчики манекена известным тепловым потоком и проверки того, что прогнозируемое время до наступления травмы второй степени соответствует экспериментальным точкам Столл и Грина [7].

**7.2 Примеры прогнозирования температуры слоя кожи**

**7.2.1 Общие требования**

Два данных примера основаны на решении аналитическим методом коэффициента теплопроводности в полубесконечном твердом теле, первоначально при постоянной температуре и затем при воздействии постоянного теплового потока на свою поверхность. Аналитическое решение доступно в любом учебнике по теплопередаче.

Для двух примеров, перечисленных ниже, устанавливают начальную температуру слоев ткани на 30 °C в каждой точке. Поверхностный тепловой поток равен нулю в нулевой момент времени и достигает полного значения на первом временном интервале. Основную температуру 30 °C на глубине 5 085 мкм поддерживают в течение всех временных интервалов расчетов.

**7.2.2 Первый пример**

а) Поглощенный тепловой поток на поверхности кожи равен 2 кВт·м-2.

b) Коэффициент теплопроводности всех трех слоев ткани, *k* = 0,1 Вт·м-1·К-1.

c) Объемная теплоемкость всех трех слоев, *ρCp* = 4 × 106Дж·м-3·K-1.

d) Рассчитывают температуру при значениях глубины 0 мкм, 75 мкм и 1200 мкм через 60 с после начала воздействия. Используют любой временной интервал, равный или меньше 0,1 с.

**7.2.3 Второй пример**

а) Поглощенный тепловой поток на поверхности кожи равен 20 кВт·м-2.

b) Коэффициент теплопроводности всех трех слоев ткани, *k* = 0,6 Вт·м-1·К-1.

c) Объемная теплоемкость всех трех слоев, *ρCp* = 4 × 106 Дж·м-3·K-1.

d) Рассчитывают температуру при значениях глубины 0 мкм, 75 мкм и 1200 мкм через 6 с после начала воздействия. Используют любой временной интервал, равный или меньше 0,1 с.

**7.2.4 Требования к точности**

Температура и рост температуры в каждой из трех точек, рассчитанные на основе решения аналитическим методом для этих двух примеров, перечислены в таблицах 5, 6. Прогнозируемый компьютерным кодом рост температуры должен соответствовать росту температуры из решения аналитическим методом в трех точках для двух примеров с максимальной погрешностью 0,2 %.

Таблица 5 – Первый пример

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Тепловой поток *Q*, равный 2 кВт·м-2 | Время расчета, равное 60 с | Температура на глубине 0 мкм, °C | Температура на глубине 75 мкм, °C | Температура на глубине 1200 мкм, °C |
| Решение аналитическим методом | *k* = 0,1 Вт·м-1·К-1 | *ρCp* = 4 МДж·м-3·K-1 | 57,64 | 56,17 | 40,02 |
| Рост температуры |  |  | 27,64 | 26,17 | 10,02 |

Таблица 6 – Второй пример

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Тепловой поток *Q*, равный 20 кВт·м-2 | Время расчета, равное 6 с | Температура на глубине 0 мкм, °C | Температура на глубине 75 мкм, °C | Температура на глубине 1200 мкм, °C |
| Решение аналитическим методом | *k* = 0,6 Вт·м-1·К-1 | *ρCp* = 4 МДж·м-3·K-1 | 65,68 | 63,24 | 39,07 |
| Рост температуры |  |  | 35,68 | 33,24 | 9,07 |

**7.3 Расчет травм кожи на примерах**

Метод расчета, используемый в 6.1.5, должен отвечать требованиям валидации, указанным в таблице 7.

При валидации модели ожоговой травмы кожи используют значения толщины слоя, коэффициента теплопроводности и объемной теплоемкости, указанные в таблице 2 и приложении А или в таблице 3, а также начальные и граничные условия из 6.1.4 за исключением того, что тепловые потоки воздействия из перечисления d) 6.1.4 становятся постоянными значениями, указанными в таблице 7. Общее время расчета должно быть выбрано таким образом, чтобы температура на границах эпидермиса и дермы, дермы и гиподермы во время фазы охлаждения опускалась ниже 44 °С. Для данных примеров предполагается, что поверхность кожи является адиабатической во время фазы охлаждения, то есть никаких тепловых потерь с поверхности во время охлаждения не происходит.

Примечание – Адиабатическое граничное условие при охлаждении выбрано из-за отсутствия подробной информации в опубликованных документах по ориентации предплечий и близости окружающего оборудования, используемого для проведения экспериментов. Кроме того, данные, полученные от датчиков тепловой энергии при проведении испытания по ISO 13506-1, учитывают конвективные потери и потери теплового излучения, которые по своей сути являются результатом расчета чистой энергии, поглощенной датчиками тепловой энергии. Поэтому данное адиабатическое предположение применимо только к набору данных валидации модели, а не ко всему методу испытания.

Таблица 7 – Набор данных валидации модели кожи

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Поглощенный воздействующий тепловой потока (постоянная воздействия), Вт·м-2 | Длительность воздействия, с | Необходимый размер временных интервалов, с |
| 3 935 | 35,9 | 0,01 |
| 5 903 | 21,09 | 0,01 |
| 11 805 | 8,30 | 0,01 |
| 15 740 | 5,55 | 0,01 |
| 23 609 | 3,00 | 0,01 |
| 31 479 | 1,95 | 0,01 |
| 39 348 | 1,41 | 0,01 |
| 47 218 | 1,08 | 0,01 |
| 55 088 | 0,862 | 0,001 |
| 62 957 | 0,713 | 0,001 |
| 70 827 | 0,603 | 0,001 |
| 78 697 | 0,522 | 0,001 |
| а Модели кожи, использующие поглощенный тепловой поток и значения времени воздействия из данной таблицы, должны приводить к значениям *Ω* = 1 ± 0,10 для всех испытательных примеров на границе эпидермиса и дермы в то время, когда эта температура границы снизилась до или ниже 44 °С. Это прогностическое требование основано на результатах, опубликованных Уивером и Столл [8]. Для данных расчетов должны использоваться характеристики кожного слоя, перечисленные либо в таблицах 1, 2 и приложении А, либо в таблицах 1, 3, а также расчетные постоянные из таблицы 4. Кроме того, время, при котором *Ω* = 1, никогда не должно быть меньше длительности воздействия, указанной в данной таблице. Это последнее уравнение должно сохранять прогнозирование в соответствии с наблюдениями Столл и Грина [7]. Необходимо обратить внимание, что параметр *Ω* является кумулятивным значением и при температуре границы эпидермиса и дермы ниже 44 °С не дает отрицательных значений, которые вычитаются. | | |

**7.4 In situ валидация прогнозирования ожоговой травмы**

В дополнение к индивидуальной калибровке датчика должна быть проведена проверка модели «датчик тепловой энергии-сбор данных-прогнозирование ожоговой травмы» как единого целого. Случайно выбранный датчик из каждого модуля сбора данных подвергают воздействию известного постоянного теплового потока с продолжительностью, отвечающей требованиям таблицы 8, в результате чего компьютерная программа для прогнозирования ожоговой травмы на манекене рассчитает ожоговую травму второй степени. Для проведения проверки используют источник теплового излучения. В таблице 8 приведены три различных диапазона теплового потока (3 800 - 4 200 Вт·м-2, 7 600 – 8 400 В·м-2, 15 200 - 16 800 Вт·м-2)[[3]](#footnote-3)\*. In situ валидация должна проводиться в каждом из трех диапазонов и соответствовать требованиям, приведенным в таблице 8. Общий диапазон тепловых потоков охватывает те, которые используются Столл и Грином [7]. Если требуется интерполяция, учитывают сильно нелинейное поведение зависимости или рассчитывают длительность воздействия с помощью компьютерного кода прогнозирования ожоговой травмы на манекене.

Данная in situ валидация должна проводиться как минимум ежегодно. Должна вестись постоянная запись валидации. Если валидация выходит за пределы рекомендуемых значений из таблицы 8, определяют причину и исправляют ее.

Таблица 8 – Датчик манекена - Прогнозирование ожоговой травмы - Параметры in situ калибровки

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Поглощенный тепловой поток, Вт·м-2 | Рекомендуемое непрерывное время нагрева, с | Диапазон значений требуемых периодов времени для значения омега, равного 1,0 |
| 3 800 | 45 | 35,4 - 43,2 |
| 3 900 | 45 | 34,2 - 41,8 |
| 4 000 | 45 | 33,0 - 40,4 |
| 4 100 | 40 | 32,0 - 39,2 |
| 4 200 | 40 | 31,1 - 38,0 |
| 7 600 | 20 | 14,2 - 17,4 |
| 7 800 | 20 | 13,7 - 16,7 |
| 8 000 | 20 | 13,2 - 16,2 |
| 8 200 | 20 | 12,8 - 15,6 |
| 8 400 | 20 | 12,4 - 15,2 |
| 15 200 | 10 | 5,5 - 6,7 |
| 15 600 | 10 | 5,2 - 6,4 |
| 16 000 | 10 | 5,0 - 6,2 |
| 16 400 | 10 | 4,9 - 5,9 |
| 16 800 | 10 | 4,7 - 5,7 |

Примечание - Параметры из таблицы 8 охватывают диапазон поглощенных тепловых потоков, использованных Столл и Грином [7] в своих экспериментах. Значения времени, перечисленные в таблице 8, представляют собой прогнозируемое время горения при непрерывном нагреве и, таким образом, отличаются от средних значений, определенных в экспериментах, проведенных Столл и Грином, которые представлены в 7.3 и таблице 7. Столл и Грин использовали воздействия постоянной интенсивности с фиксированной длительностью, что приводило к травме, возникающей через некоторое время после прекращения воздействия, когда слои кожи охлаждались. Именно общее время, в течение которого растет количество клеток, имеющих температуру выше 44 °C, имеет важное значение в появлении повреждения клеток и образования волдырей на коже (ожоговая травма второй степени). Здесь нагрев происходит непрерывно до конечной точки. При непрерывном нагревании наступление ожоговой травмы второй степени будет происходить в момент времени, более поздний, чем время воздействия, используемое Столл и Грином, поскольку период охлаждения не включается, и конечное значение омега будет больше 1,0.

**8 Протокол испытаний**

**8.1 Общие требования**

Указывают, что образец(-ы) был(-и) испытан(-ы) в соответствии с ISO 13506-1 и оценивают результаты испытаний в соответствии с настоящим стандартом.

В дополнение к информации из протокола испытаний по ISO 13506-1, в протокол испытаний должна быть включена информация, описанная в 8.2, 8.3.

**8.2 Модель кожи**

Указывают, какая модель кожи использовалась при расчетах прогноза ожоговой травмы, т.е.

– Модель А, в соответствии с таблицами 1, 2 и приложением А, или

– Модель В, в соответствии с таблицами 1, 3.

**8.3 Результаты расчета**

**8.3.1 Общие требования**

Протоколируют результаты по общей площади поверхности манекена, получившей прогнозируемую ожоговую травму второй и третьей степени. Прогнозируемая ожоговая травма основывается как на общей площади манекена, содержащего датчики теплового потока (см. 8.3.2), так и на общей площади манекена, покрытого испытуемым образцом (см. 8.3.3). Неисправный или нефункционирующий датчик(и) и соответствующая отображаемая область(и) должны быть исключены из расчетов общей площади манекена (8.3.2) и площади, покрываемой испытуемым образцом (8.3.3).

Время до появления болевых ощущений и время начала прогнозируемой ожоговой травмы первой степени, может быть рассчитано и при необходимости запротоколировано.

**8.3.2 Прогнозируемая площадь (%) травмы на манекене на основе общей площади манекена, содержащей датчики теплового потока**

а) Прогнозируемая площадь ожоговой травмы второй степени на манекене (%).

b) Прогнозируемая площадь ожоговой травмы третьей степени на манекене (%).

c) Прогнозируемая площадь общей ожоговой травмы на манекене [т.е. сумма ожоговых травм второй и третьей степени (%)] и связанная с ней вариационная статистика, такая как стандартное отклонение.

**8.3.3 Прогнозируемая площадь (%) травмы манекена, основанная только на площади манекена, покрытого испытуемым образцом**

a) Прогнозируемая площадь ожоговой травмы второй степени (%) от покрытой площади манекена.

b) Прогнозируемая площадь ожоговой травмы третьей степени (%) от покрытой площади манекена.

c) Прогнозируемая площадь общей ожоговой травмы (%) [т.е. сумма ожоговых травм второй и третьей степени (%)] от покрытой площади манекена и связанной с ней вариационной статистикой, такой как стандартное отклонение.

**8.3.4 Иная информация**

Должна быть запротоколирована схема манекена, показывающая расположение и уровни ожоговых травм в соответствии с прогнозируемыми площадями ожоговых травм второй и третьей степени.

Может быть запротоколирована таблица с указанием времени до появления болевых ощущений, травмы первой, второй и третьей степени по каждому датчику. Другая дополнительная запротоколированная информация может включать глубину ожоговой травмы (расположение, где *Ω* ≥ 1,0), средний тепловой поток и поглощенную энергию для каждого датчика.

**Приложение A**

# (обязательное)

**Модель кожи с температурно-зависимым коэффициентом**

**теплопроводности,** *k(x,T)*

Параметры модели кожи,

— объемная теплоемкость *ρCp*, Дж·м-3·K-1, и

— температурно-зависимый коэффициент теплопроводности, *k*, Вт·м-1·K-1[[4]](#footnote-4)\*,

рассчитывают для каждого слоя кожи в соответствии со следующими формулами; взяты из литературных источников [9] и [10].

Слои: 1 – эпидермис;

2 – дерма;

3 – гиподерма.

Для любого слоя (где *Wx* - массовая доля материала; w: вода, f: жир, p: белок) рассчитывают следующие значения, используя формулы (A.1) - (A.3):

(A.1)

(A.2)

(A.3)

Используя следующие параметры:

*T*  Температура, °C

— Значения теплофизических параметров воды:

*ρ*w = 1 000 плотность воды, кг·м-3;

*Cp,*w= 4 184 теплоемкость воды, Дж·кг-1·К-1;

*k*w коэффициенттеплопроводности воды, Вт·м-1·К-1, рассчитанный, используя формулу (А.4).

= 0,570 69 +(1,586×10−3)*T* −(5,539 1×10−6 )*T2* (A.4)

— Значения теплофизических параметров жира:

*ρ*f = 870 плотность жира, кг·м-3;

*Cρ,*f= 1 841 теплоемкость жира, Дж·кг-1·К-1;

*k*f коэффициенттеплопроводности жира, Вт·м-1·К-1, рассчитанный, используя формулу (А.5).

*k*f =0,226 77 + (1,506 2×10−3)*T* −(1,673 6×10−6 )*T2* (А.5)

— Значения теплофизических параметров белка:

*ρ*p = 1 540 плотность белка, кг·м-3;

*Cρ,*p= 3 807 теплоемкость белка, Дж·кг-1·К-1;

*k*p коэффициент теплопроводности протеина, Вт·м-1·К-1, рассчитанный, используя формулу (А.6).

*k*p [[5]](#footnote-5)\*=0,836 8 +(1,046×10−3)*T* − (3,7321×10−6 )*T2* (А.6)

— Массовые доли для каждого из слоев:

Для слоя 1 (массовые[[6]](#footnote-6)\*\* доли для слоя эпидермиса):

*W*w = 800 г/кг массовая доля воды

*W*f = 60 г/кг массовая доля жира

*W*p = 140 г/кг массовая доля белка

Для слоя 2 (массовые доли для слоя дерма):

*W*w = 700 г/кг массовая доля воды

*W*f = 120 г/кг массовая доля жира

*W*p = 180 г/кг массовая доля белка

Для слоя 3 (массовые\*\* доли для гиподермы):

*W*w = 200 г/кг массовая доля воды

*W*f = 720 г/кг массовая доля жира

*W*p = 80 г/кг массовая доля белка

# Приложение B

# (справочное)

**Анализ данных межлабораторных испытаний**

B.1 По методам испытаний с использованием ISO 13506-1 и настоящего стандарта было проведено межлабораторное тестирование однослойных предметов одежды, изготовленных из трех различных материалов, и одеждой пожарного. В межлабораторных сличительных испытаниях приняли участие двенадцать лабораторий по всему миру.

В.2 Испытанные материалы

За время межлабораторных сличительных испытаний были использованы три комбинезона 52 размера производства PWG Bedrijfveilige Kleding B.V. ([www.pwg.nl](http://www.pwg.nl)) и один комплект: брюки и куртка пожарного, оба предмета 54 размера, производства NOVOTEX-ISOMAT Schutzbekleidung GmbH, www.Novotex-isomat.de, email: info@novotex-isomat.de[[7]](#footnote-7)\*.Результаты представлены в таблице B.1.

Таблица В.1 – Испытанные материалы

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Обозначение | Материал | Номер эталона | Масса |
| A | Арамид (DuPontTM Nomex®a Comfort), голубой | B200X1 | 220 г/м2 |
| B | FRT Cotton, темно-синий | B200X3 | 335 г/м2 |
| C | PBI Matrixb | B200X8 | 205 г/м2 |
| D | Куртка и брюки пожарного (Nomex® Tough, Nomex®1) 75 %, Kevlar®c 23 %, 2 %, антистатического волокна, мембрана Sympatex, углеродное полотно внутри с арамидом 50% и огнестойкой вискозой 50%) | Арт. 11–334 & 11-300 | Куртка: 2,3 кг  Брюки: 1,5 кг  Общий вес: 3,8 кг |
| Примечание – Информация об изготовителе одежды указана в ISO 13506-1:20242) (приложение В).  a Nomex - это торговое наименование продукта, поставляемого компанией DuPont. Эта информация предоставлена для удобства пользователей настоящего стандарта и не является одобрением ISO данного продукта. Допускается использование эквивалентных продуктов, если они могут продемонстрировать достижение аналогичных результатов.  b PBI Matrix - это торговое наименование продукта, поставляемого компанией PBI Performance Products, Inc. Эта информация предоставлена для удобства пользователей настоящего стандарта и не является одобрением ISO данного продукта.  cKevlar - это торговое наименование продукта, поставляемого компанией DuPont. Эта информация предоставлена для удобства пользователей настоящего стандарта и не является одобрением ISO данного продукта. Допускается использование эквивалентных продуктов, если они могут продемонстрировать достижение аналогичных результатов.  \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  [[8]](#footnote-8)1) Исправлена опечатка ISO 13506-2:2024. Добавлено наименование волокон, входящих в состав ткани Nomex® Tough в количестве 75 %.  2) Исправлена опечатка ISO 13506-2:2024. Произведена замена «ISO 13506-1:2017» на «ISO 13506-1:2024». | | | |

— Одежда А: Однослойная, 4 с и 3 с[[9]](#footnote-9)\*воздействия при тепловом потоке 84 кВт/м2, время измерения 120 с;

— Одежда В: Однослойная, 4 с и 3 с\* воздействия при тепловом потоке 84 кВт/м2, время измерения 120 с;

— Одежда С: Однослойная, 4 с и 3 с\* воздействия при тепловом потоке 84 кВт/м2, время измерения 120 с;

— Одежда D: Комплект пожарного, 8 с воздействия при тепловом потоке 84 кВт/м2, время измерения 240 с.

В.3 Все испытания проводились на одежде с идентичной конструкцией. Каждая лаборатория провела три отдельных испытания для каждого из четырех образцов различных материалов, в заданном случайном порядке (всего 12 испытаний для каждой лаборатории).

B.4 Время измерения для оценки переданной энергии для однослойной одежды составляло 120 с, а для комплекта пожарного – 240 c.

В.5 Общие результаты межлабораторных испытаний по переданной энергии приведены в таблице В.2. Применен статистический анализ в соответствии со стандартом ISO 5725 (все части).

Таблица B. 2 - Сводка по сходимости для прогнозирования риска возникновения ожогов (ожоги второй и третьей степени)

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Одежда | Время воздействия | Переданная энергия в кДж | | | | Прогнозирование риска возникновения ожогов в соответствии с настоящим стандартом в % от покрытой площади | | | | TMPF |
| avg. | S*r* | S*R* | Количество лабораторий | avg. | S*r* | S*R* | Количество лабораторий |
| A | 3 с | 161,6 | 9,3 | 25,6 | 12 | 11,8 | 2,6 | 5,5 | 5,5 | 0,76 |
| А | 4 с | 229,0 | 9,1 | 27,6 | 11 | 52,2 | 4,9 | 8,0 | 8,0 | 0,38 |
| В | 3 с | 117,5 | 6,4 | 24,8 | 12 | 2,6 | 1,4 | 2,9 | 2,9 | 0,50 |
| В | 4 с | 230,5 | 18,4 | 67,6 | 11 | 54,8 | 10,1 | 27,1 | 27,1 | 0,23 |
| С | 3 с | 138,3 | 9,9 | 23,3 | 12 | 5,9 | 1,4 | 3,5 | 3,5 | 0,83 |
| С | 4 c | 194,0 | 7,9 | 24,9 | 11 | 34,3 | 4,0 | 9,7 | 9,7 | 0,56 |
| D | 8 c | 154,7 | 11,6 | 59,2 | 8 | 7,6 | 2,1 | 11,3 | 11,3 | 0,29 |
| Применялся статистический анализ согласно ISO 5725.  avg. - среднее значение средней полной переданной энергии, запротоколированные каждой лабораторией на основе площади, покрытой датчиками, или прогнозирование риска возникновения ожогов.  S*r* - стандартное отклонение повторяемости (для точности внутри лаборатории).  S*R* - стандартное отклонение воспроизводимости (для точности между лабораториями).  Для одежды А и С для прогнозирования ожога одна лаборатория исключена из статистической оценки как выброс | | | | | | | | | | |

B.6 Подробный отчет доступен в секретариате [N267 Неконфиденциальный отчет межлабораторного сличительного испытания ISO 13506-1:2017 и ISO 13506-2:2017 по термоманекену, датчикам и калибровке манекена, испытаниям стандартных комбинезонов и одежды пожарных (2022-03-30)]. Отчет включает в себя подробный протокол испытания, а также более подробную информацию об одежде и о том, где она была заказана. Межлабораторные сличительные испытания также включали дополнительные оценки, касающиеся калибровки датчиков, реакции датчиков и воздействия на обнаженный манекен, которые могут помочь настроить испытательную систему в соответствии с настоящим стандартом и ISO 13506-1.

Приложение ДА

**(справочное)**

**Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным межгосударственным стандартам**

Таблица ДА.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Обозначение ссылочного международного стандарта | Степень соответствия | Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта |
| ISO 11610 | - | \* |
| ISO 13506-1 | IDT | ГОСТ ISO 13506-1-20ХХ «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от тепла и пламени. Часть 1. Метод испытания одежды специальной. Измерение переданной энергии с применением манекена, оснащенного приборами». |
| \* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Официальный перевод международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде стандартов  Примечание - В настоящей таблице использовано условное обозначение степени соответствия стандартов: IDT - идентичные стандарты. | | |

Библиография

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| [1] | ISO 5725 (all parts), | Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results (Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений)\* |
| [2] | ISO 11612:2015, | Clothing for protection against heat and flame — Test methods and performance requirements for heat-protective clothing (Защитная одежда. Одежда для защиты от тепла и пламени. Минимальные требования к эксплуатационным характеристикам)\* |
| [3] | ISO 11999-3, | PPE for firefighters — Test methods and requirements for PPE used by firefighters who are at risk of exposure to high levels of heat and/or flame while fighting fires occurring in structures — Part 3: Clothing |
| [4] | EN 469, | Protective clothing for firefighters — Performance requirements for protective clothing for firefighting |
| [5] | NFPA 2112, | Standard on Flame-Resistant Garments for Protection of Industrial Personnel Against Flash Fire, 2012 Edition, Available from NFPA, 1 Batterymarch Park, PO Box 9101, MA 02269-9191, USA |
| [6] | ASTM F1930-18, | Standard Test Method for Evaluation of Flame Resistant Clothing for Protection Against Fire Simulations Using an Instrumented Manikin |
| [7] |  | Stoll A.M., Greene L.C. Relationship between pain and tissue damage due to thermal radiation. J. Appl. Physiol. 1959, 14 p. 373 |
| [8] |  | Weaver J.A., Stoll A.M. Mathematical Model of Skin Exposed to Thermal Radiation. Aerosp. Med. 1969, 40 pp. 24–30 |
| [9] |  | Cooper T.E., Trezek G.J. Correlation of thermal properties of some human tissue with water content, J. Aerosp. Med. 1971, 42 (1) pp. 24–27 |
| [10] |  | Knox F.S., Wachtel T.L., McCahan G.R., Knapp S.C. Thermal properties calculated from measured water content as a function of depth in porcine skins. Burns. 1986, 12 pp. 556–562 |
| [11] |  | Pennes H.H. “Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperature in the Resting Human Forearm”, J. Appl. Physiol., Vol. 1, 1948, pp. 93-122. Henriques, F.C., Studies of thermal injury — V. The predictability and the significance of thermally induced rate processes leading to irreversible epidermal injury. Arch. Pathol. (Chic). 1947, 43 pp. 489–502 |
| \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_  \* Официальный перевод данных стандартов находится в Федеральном информационном фонде стандартов | | |

\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_

УДК 614.895.5:006.354 МКС 13.340.10 IDT

Ключевые слова: одежда специальная, защита от пламени, ожоговая травма кожи

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Генеральный директор  АО «ФПГ ЭНЕРГОКОНТРАКТ» |  | О.В. Правосуд |
|  |  |  |
| Руководитель отдела разработки нормативных документов |  | Э.Э. Сатаева |
|  |  |  |

1. \* В 6.1.2 исправлена опечатка ISO 13506-2:2024 в указании единицы измерения теплового потока. Произведена замена «кВт м-2» на «кВт·м-2». [↑](#footnote-ref-1)
2. \* Исправлена опечатка ISO 13506-2:2024. Исключена лишняя скобка после единицы измерения температуры «°С» [↑](#footnote-ref-2)
3. \* В 7.4 исправлена опечатка ISO 13506-2:2024 при указании единиц измерения теплового потока. Произведена замена «Вт м-2» на «Вт·м-2» [↑](#footnote-ref-3)
4. \* Исправлена опечатка ISO 13506-2:2024. Исключена лишняя скобка после единиц измерения температурно-зависимого коэффициента теплопроводности. [↑](#footnote-ref-4)
5. \* Исправлена опечатка ISO 13506-2:2024. Обозначение теплопроводности протеина, указанное в ISO 13506-2:2024 как «*k*f», заменено на «*k*p». [↑](#footnote-ref-5)
6. \*\* Исправлена опечатка ISO 13506-2:2024. Для слоев 1 и 3 произведена замена «весовые доли» (в тексте ISO 13506-2:2024 «weight fractions») на «массовые доли». [↑](#footnote-ref-6)
7. \* Эта информация предоставлена для удобства пользователей настоящего стандарта и не является одобрением ISO данного продукта. Допускается использование эквивалентных продуктов, если они могут продемонстрировать достижение аналогичных результатов. [↑](#footnote-ref-7)
8. [↑](#footnote-ref-8)
9. \* Исправлена опечатка ISO 13506-2:2024. Время воздействия «4 с» заменено на «4 с и 3 с» в соответствии с таблицей В.2 и аналогичным приложением В в ISO 13506-2:2024. [↑](#footnote-ref-9)