МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ ISO 13506-2— 2021

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 13506-2:2017, Protective clothing against heat and flame — Part 2: Skin burn injury prediction — Calculation requirements and test cases, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2021

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила 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, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Акционерным обществом «ФПГ ЭНЕРГОКОНТРАКТ» (АО «ФПГ ЭНЕРГОКОНТРАКТ») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 26 августа 2021 г. № 142-П)

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
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 октября 2021 г. № 1338-ст межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 13506-2—2021 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 октября 2022 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 13506-2:2017 «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 по стандартизации ISO/TC 94 «Средства индивидуальной защиты. Защитная одежда и оборудование», подкомитетом SC 13 «Защитная одежда» Международной организации по стандартизации (ISO).

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

В пункте 6.1.5 настоящего стандарта исправлены ошибки, допущенные в тексте ISO 13506-2:2017, 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

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

7 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»

© ISO, 2017
© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2021

В Российской Федерации настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Общие требования 3
5 Испытательное оборудование, подготовка образцов и порядок проведения испытания 3
6 Расчет прогнозируемой ожоговой травмы кожи 3
6.1 Модель кожи 3
7 Расчет ожоговых травм кожи на примерах и *in situ* калибровка 7
7.1 Примеры и *in situ* калибровка 7
7.2 Примеры прогнозирования температуры слоя кожи 7
7.3 Расчет ожоговых травм кожи на примерах 8
7.4 *In situ* калибровка прогноза ожоговой травмы 9
8 Протокол испытаний 10
8.1 Общие требования 10
8.2 Модель кожи 10
8.3 Результаты расчета 10
Приложение А (обязательное) Модель кожи с температурно-зависимым коэффициентом теплопроводности $k(x, T)$ 12
Приложение В (справочное) Прогнозирование ожоговой травмы по данным межлабораторных испытаний 13
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 15
Библиография 16

Введение

Назначение термо- и огнестойкой специальной одежды — защищать пользователя от рисков, которые могут вызвать ожоговую травму кожи. Одежда может быть изготовлена из одного или нескольких материалов, которые могут быть представлены в специальной одежде или в комплекте специальной одежды для испытания на термоманекене.

Настоящий стандарт является дополнительным документом к ISO 13506-1. Он заменяет приложение С стандарта ISO 13506:2008 и нормативно определяет метод расчета и представления результатов испытаний по ISO 13506-1 в форме прогноза ожоговой травмы кожи. Данные, собранные в ходе испытаний в соответствии с ISO 13506-1, используют в качестве входных данных для данного расчета.

В методе испытания ISO 13506-1 стационарный, вертикально ориентированный манекен размера взрослого человека одевают в специальную одежду или комплект специальной одежды и подвергают воздействию лабораторно смоделированного открытого пламени с контролируемыми тепловым потоком, длительностью и распределением пламени. Средний падающий тепловой поток на внешнюю поверхность одежды составляет 84 кВт/м^2. Датчики тепловой энергии установлены на поверхности манекена. Выходной сигнал от датчиков используют для расчета изменения теплового потока во времени и в зависимости от месторасположения 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 специальной одежды или комплекта специальной одежды на манекене имеет важное значение. При этом изменения в конструкции специальной одежды 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 %.

Комитеты ISO/ TC 94/ SC 13 и SC 14 и Европейский комитет по стандартизации (CEN TC 162) определяют метод, описанный в настоящем стандарте, как дополнительную часть стандартов для пожарных ISO 11999-3 и EN 469, а также как дополнительную часть стандарта на специальную одежду для защиты от тепла и пламени ISO 11612.

NFPA 2112 [6] Национальной ассоциации противопожарной защиты определяет ASTM F1930-17 [7], который представляет собой метод испытания, аналогичный методу, описанному в ISO 13506-1, который содержит расчеты прогноза ожоговой травмы кожи, аналогичные описанным в настоящем стандарте.

Поправка к ГОСТ ISO 13506-2—2021 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от кратковременного воздействия открытого пламени. Часть 2. Прогнозирование ожоговых травм кожи. Требования к расчетам и примеры

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан

(ИУС № 8 2022 г.)

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

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 — 2022—10—01

1 Область применения

Настоящий стандарт содержит подробную техническую информацию для расчета прогнозируемых ожоговых травм кожи человека, когда ее поверхность подвергают воздействию переменного теплового потока, например это может произойти из-за энергии, передаваемой через специальную 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.

Расчеты 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.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

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

ISO 13506-1:2017, 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)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ISO 13506-1 и ISO/TR 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: gost.e-ecolog.ru ;
- IEC Electropedia: gost.e-ecolog.ru .

Издание официальное

3.1 **ожоговая травма** (burn injury): Ожоговое 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 °С) сохраняется в течение критического периода времени. В настоящем стандарте принято, 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 толщины слоев одинаковые 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 или полной толщины), зависит от значения температуры выше 44 °С и времени, в течение которого температура остается на уровне или выше 44 °С.

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 $\Omega = 0{,}53$ [см. формулу (3)] на глубине кожи 75×10^{-6} м (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.

3.1.2 **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 серьезная, чем ожоговая травма первой степени, приводящая к полному некрозу (гибели живых клеток) слоя эпидермиса, обычно сопровождающемуся волдырем, но обратимая, особенно если площадь поражения невелика. В настоящем стандарте указывается время возникновения прогнозируемой ожоговой травмы второй степени при значении $\Omega = 1{,}0$ [см. формулу (3)] на глубине кожи 75×10^{-6} м (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 $\Omega = 1{,}0$ [см. формулу (3)] на глубине кожи 1200×10^{-6} м (1200 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.

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

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

3.3 **площадь болевых ощущений** (pain area): Сумма площадей, представленных датчиками теплового потока, для которых прогнозируется возникновение болевых ощущений.

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

Примечание — В настоящем стандарте болевые рецепторы расположены на 195×10^{-6} м (195 мкм) ниже поверхности кожи.

4 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 следует использовать 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 самой конструкции, так и от посадки одежды на испытательный манекен. Средний воздействующий тепловой поток составляет 84 кВт/м^2 длительностью от 3 до 12 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.

Испытуемый образец надевают на манекен размера взрослого человека в атмосферных условиях окружающей среды и подвергают воздействию открытого пламени, смоделированного в лабораторных условиях, с контролируемыми тепловым потоком, длительностью 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. В методе, указанном в настоящем стандарте, используют измерения теплового потока по ISO 13506-1 для расчета прогнозируемого времени до появления болевых ощущений для каждого датчика тепловой энергии, площадей ожоговых травм второй и третьей степеней и общей площади ожоговой травмы, полученной в результате воздействия. Настоящий метод также может быть использован для прогнозирования времени получения ожоговой травмы первой степени.

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, в которых проводятся 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.

5 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 13506-1:2017 (разделы 5—8). В дополнение к процедурам калибровки, приведенным в ISO 13506-1:2017 (приложение С), лаборатории должны выполнять калибровку, 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) указаны в таблицах 1, 2 и приложении А;

- значения характеристик кожи для модели кожи с температурно-независимым коэффициентом теплопроводности (модель кожи В) указаны 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 [7] методом испытания, разработанным в соответствии с ISO 13506. Рабочая группа изменила эксперименты Столл и Грина [8] таким образом, чтобы они соответствовали в пределах 10 % условию $\Omega = 1{,}0$ формулы (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 ΔE, определенные Уивером и Столл [9] 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 Уивера и Грина [8] плюс обобщения, рассчитанные Уивером и Столл [9], можно было предсказать с $\Omega = 1 \pm 0{,}1$. Полученные значения являются репрезентативными для живой ткани (*in vivo*). Таким образом, кровоток и его потенциальное влияние на результаты/прогнозы являются неявными в решении, использующем 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 $\dot{q}_i(t_n)$ (кВт/м^2) каждого датчика манекена i на каждом временном интервале t, как это предусмотрено ISO 13506-1, следует принимать 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, дермы, гиподермы (жировой ткани) изменяется во времени и в зависимости от расположения (глубины) и описывается параболическим дифференциальным уравнением (уравнение поля Фурье)

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = k \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad (1)$$

где ρC_p — объемная теплоемкость, Дж/м^3·К;

t — время, с;

x — глубина от поверхности кожи, м;

$T(x, t)$ — температура на глубине x в момент времени t, К;

$k(x, T)$ — коэффициент теплопроводности на глубине x при температуре T, Вт/м·К.

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), следует использовать при расчете формулы (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 (упрощен-

ный состав: вода, белок и жир). Купер и Трезек [10] и Нокс и др. [11] 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 $\rho C_p(x)$ 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). Начальные значения коэффициента теплопроводности (температура в момент времени, равного нулю), объемной теплоемкости слоя и состава слоев приведены в таблице 2. Для расчета значений коэффициента теплопроводности k при значениях глубины и температуры, отличных от T (0,0) = 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·К при T(0,0) = 32,5 °С	0,615 5	0,597 6	0,365 9
Объемная теплоемкость ρC_p, Дж/м^3·К	$4{,}158 \times 10^6$	$4{,}017 \times 10^6$	$2{,}285 \times 10^6$
Процентное содержание воды, % от общей массы	80	70	20
Процентное содержание жира, % от общей массы	6	12	72
Процентное содержание белка, % от общей 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 для объемной теплоемкости ρC_p как функции слоя, как показано в таблице 3, необходимо указать другие значения, чем для модели кожи А, чтобы соответствовать требованиям валидации раздела 7.

Таблица 3 — Физические характеристики для модели кожи с температурно-независимым коэффициентом теплопроводности k

Параметр	Эпидермис	Дерма	Гиподерма
Коэффициент теплопроводности k, Вт/м·К	0,628 0	0,582 0	0,293 0
Объемная теплоемкость ρC_p, Дж/м^3·К	$4{,}40 \times 10^6$	$4{,}184 \times 10^6$	$2{,}60 \times 10^6$

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, лежащую 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 1 — Значения характеристик, приведенные в таблицах 1—3, являются репрезентативными для *in vivo* (живых) значений для предплечий испытуемых, участвовавших в экспериментах Столл и Грина [8]. Это средние значения. Известно, что коэффициент теплопроводности каждого из слоев изменяется в зависимости от температуры вследствие обобщенных теплофизических характеристик компонентов слоя (упрощенный состав: вода, белок и жир). Это делается путем моделирования температурной зависимости коэффициента теплопроводности каждого слоя в соответствии с их определенным составом (см. 6.1).

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 Δt, так и в Δx), метод конечных элементов (например, метод Галеркина) и

b) 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 глубине 75×10^{-6} м [т.е. $T(75, t)$] на границе эпидермиса и дермы модели кожи, используемой для прогноза ожоговой травмы второй степени), и на глубине 1200×10^{-6} м [т.е. $T(1200, t)$] на границе дермы и гиподермы модели кожи, используемой для прогноза ожоговой травмы третьей степени.

Равномерно распределенные интервалы глубины (Δx), обозначаемые как «узлы» или «сетки», рекомендуются для максимальной точности во всех численных моделях. Значение 15×10^{-6} м для Δx было определено как эффективное. Разреженные или неструктурированные сетки не рекомендуется использовать в методе конечных разностей. Использование значения 15×10^{-6} м для Δx устанавливает узел на 195×10^{-6} м (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:

a) начальная температура $T(x, 0)$ внутри трех слоев должна иметь линейный рост с глубиной от $T(0,0) = 305{,}65$ К (32,5 °С) на поверхности до $T(5085$ мкм, $0) = 306{,}65$ К (33,5 °С) на границе гиподермы (жировой ткани) и мышечной ткани. Температура 306,65 К (33,5 °С) на глубине 5085×10^{-6} м (5085 мкм) должна быть постоянной в течение всего времени.

Примечание 1 — Пеннес [12] измерил распределение температуры в предплечьях добровольцев. Для общей толщины кожи и гиподермы (жировой ткани), перечисленных в таблицах 2, 3, измеренное повышение составило 1 К (1 °С). Температура поверхности кожи добровольцев в экспериментах Столл и Грина [8] поддерживалась очень близкой к 305,65 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).

$$k\frac{\partial T}{\partial x} = \dot{q}(t). \tag{2}$$

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 1, были рассчитаны на основе экспериментальных результатов Столл и Грина [8] и численных обобщениях Уивера и Столл [9]. Эти значения в значительной степени учитывают кровоток у испытуемых;

c) тепловой поток на поверхности кожи в момент времени $t = 0$ (начало воздействия) равен нулю (0), т.е. $\dot{q}(0) = 0$;

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 прогноза ожоговой травмы кожи

Интегральную модель повреждения Энрикеса [12], показанную в формуле (3), используют для прогноза ожоговой травмы кожи, основанной на значениях температуры кожи в каждом интервале времени измерения при значениях глубины модели кожи 75×10^{-6} м (прогноз ожоговой травмы первой и второй степеней) и 1200×10^{-6} м (прогноз ожоговой травмы третьей степени).

$$\Omega = \int Pe^{-(\Delta E/RT)}dt, \tag{3}$$

где Ω — параметр ожоговой травмы; значение ≥ 1 обозначает спрогнозированную ожоговую травму;

$P(x, T)$ — предэкспоненциальный член, зависящий от глубины и температуры, 1/с;

e — математическая постоянная (число Эйлера) = 2,7183;

$\Delta E(x, T)$ — энергия активации, зависящая от глубины и температуры, Дж/моль;

R — универсальная газовая постоянная, 8,3145 Дж/(моль·К)[1];

$T(x, t)$ — температура T, К, на заданной глубине x, в момент времени t, т. е. $T(0, t)$, $T(75, t)$, $T(1200, t)$;

t — время воздействия и период сбора данных, с.

Определяют значение параметра (Ω) ожоговой травмы первой, второй и третьей степени путем численного интегрирования формулы (3) за общее время сбора данных. Интегрирование выполняют на каждом временном интервале измерения для каждого из датчиков при значениях глубины кожи первой степени, второй степени и третьей степени (75×10^{-6} м и 1200×10^{-6} м соответственно), когда температура, T, составляет ≥ 317,15 К (44 °С).

Для прогнозов ожоговой травмы первой, второй и третьей степени температурно-зависимые значения для P и $\Delta E/R$ приведены в таблице 4.

Прогнозируемое время начала ожоговой травмы первой степени наступает при $\Omega = 0{,}53$ на глубине 75×10^{-6} м (75 мкм).

Прогнозируемое время начала ожоговой травмы второй или третьей степени наступает при $\Omega = 1{,}0$ на соответствующих границах слоев кожи в соответствии с параметрами модели кожи, приведенными в таблице 1.

6.1.6 Время до появления болевых ощущений

Время до появления болевых ощущений прогнозируется, когда кожная ткань на глубине 195×10^{-6} м (195 мкм) достигает температуры 316,35 К (43,2 °С), т. е. расчет формулы (1) при $T(195, t)$.

Таблица 4 — Постоянные для расчета Ω по формуле (3)

Травма кожи	Диапазон температур	P	$\Delta E/R$
Вторая степень[8]	317,15 К ≤ T ≤ 323,15 К (44 °С ≤ T ≤ 50 °С)	$2{,}185 \times 10^{124}$ $с^{-1}$	93 534,9 К
	T > 323,15 К, используют: (T > 50 °С)	$1{,}823 \times 10^{51}$ $с^{-1}$	39 109,8 К
Третья степень[13]	317,15 К ≤ T ≤ 323,15 К (44 °С ≤ T ≤ 50 °С)	$4{,}322 \times 10^{64}$ $с^{-1}$	50 000 К
	T > 323,15 К, используют: (T > 50 °С)	$9{,}389 \times 10^{104}$ $с^{-1}$	80 000 К

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

7.1 Примеры и *in situ* калибровка

Расчет значения Ω показан в формуле (3) экспоненциально зависимым 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 [8].

Данные требования включают в себя три этапа. Во-первых, должна быть обеспечена точность компьютерного кода для точного прогноза внутреннего распределения температуры в полубесконечном твердом теле. Второй шаг заключается в обеспечении того, чтобы прогнозирование травмы кожи соответствовало условиям, измеренным и предсказанным 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 [8].

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

[1] Исправлены ошибки, допущенные в ISO 13506-2:2017, что подтверждено техническим комитетом ISO/TC 94 «Средства индивидуальной защиты. Защитная одежда и оборудование». На данном основании внесены следующие исправления: значение универсальной газовой постоянной (R) «8 314,5 Дж/(моль·К)» заменено на «8,3145 Дж/(моль·К)»; единица измерения энергии активации $\Delta E(x, T)$ «Дж/кмоль» заменена на «Дж/моль».

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 °С в каждой точке. Основную температуру 30 °С на глубине 5085 мкм поддерживают в течение всех временных интервалов расчетов.

7.2.2 Первый пример

a) Поглощенный тепловой поток на поверхности кожи равен 2 кВт/м^2.

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

c) Объемная теплоемкость всех трех слоев $\rho C_p = 4 \times 10^6$ Дж/м^3·К.

d) Рассчитывают температуру при значениях глубины 0, 75 и 1200 мкм через 60 с после начала воздействия.

Используют любой временной интервал, равный или менее 0,1 с.

7.2.3 Второй пример

a) Поглощенный тепловой поток на поверхности кожи равен 20 кВт/м^2.

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

c) Объемная теплоемкость всех трех слоев, $\rho C_p = 4 \times 10^6$ Дж/м^3·К.

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 менее 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, °С	Температура на глубине 75 мкм, °С	Температура на глубине 1200 мкм, °С
Решение аналитическим методом	k = 0,1 Вт/м·К	$\rho C_p = 4 \times 10^6$ Дж/м^3·К	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, °С	Температура на глубине 75 мкм, °С	Температура на глубине 1200 мкм, °С
Решение аналитическим методом	k = 0,6 Вт/м·К	$\rho C_p = 4 \times 10^6$ Дж/м^3·К	65,68	63,24	39,07
Рост температуры			35,68	33,24	9,07

7.3 Расчет ожоговых 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 317,15 К (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 поток[a] (постоянная воздействия), Вт/м^2	Длительность воздействия, с	Необходимый размер временных интервалов, с
3935	35,9	0,01
5903	21,09	0,01
11805	8,30	0,01
15740	5,55	0,01
23609	3,00	0,01
31479	1,95	0,01
39348	1,41	0,01
47218	1,08	0,01
55088	0,862	0,001
62957	0,713	0,001
70827	0,603	0,001
78697	0,522	0,001

[a] Модели кожи, использующие поглощенный тепловой поток и значения времени воздействия из настоящей таблицы, должны приводить к значениям $\Omega = 1 \pm 0{,}10$ для всех испытательных примеров на границе эпидермиса и дермы в то время, когда эта температура границы снизилась до или ниже 317,15 К (44 °С). Это прогностическое требование основано на результатах, опубликованных Уивером и Столл [9]. Для данных расчетов следует использовать 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 $\Omega = 1$, никогда не должно быть меньше длительности воздействия, указанной в настоящей таблице. Это последнее уравнение должно сохранять прогноз в соответствии с наблюдениями Столл и Грина [8]. Необходимо обратить внимание, что параметр Ω является кумулятивным значением и при температуре границы эпидермиса и дермы ниже 317,15 К (44 °С) не дает отрицательных значений, которые вычитаются.

7.4 *In situ* калибровка прогноза ожоговой травмы

В дополнение к индивидуальной калибровке датчика должна быть проведена проверка модели «датчик тепловой энергии — сбор данных — прогноз ожоговой травмы» как единого целого. Случайно выбранный датчик подвергают воздействию известного постоянного теплового потока длительностью, которая приведет к ожоговой травме второй степени, рассчитываемой компьютерной программой прогнозирования ожоговой травмы на манекене, отвечающей требованиям таблицы 8. В таблице 8 приведены три различных диапазона теплового потока. *In situ* калибровку следует проводить в каждом из трех диапазонов и соответствовать требованиям, приведенным в таблице 8. Общий диапазон тепловых потоков охватывает те, которые используют Столл и Грин [8].

Используют любые условия воздействия, которые приведут к поглощению энергии в каждом из перечисленных диапазонов, учитывая характеристики поглощения тепла поверхностью датчика (например, поглощающую способность). Точное соответствие тепловому потоку не требуется. Если требуется интерполяция, учитывают сильно нелинейное поведение зависимости или рассчитывают длительность воздействия с использованием компьютерного кода прогнозирования ожоговой травмы на манекене. Если калибровка выходит за пределы рекомендуемых значений из таблицы 8, определяют причину и исправляют ее.

Данную *in situ* калибровку следует проводить как минимум ежегодно. Необходимо вести постоянную запись калибровки.

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
3800	45	37,3—41,3
3900	45	36,1—39,9
4000	45	34,9—38,5
4100	40	33,8—37,4
4200	40	32,8—36,2
7600	20	15,0—16,6
7800	20	14,1—16,0
8000	20	14,0—15,4
8200	20	13,5—14,9
8400	20	13,1—14,5
15200	10	5,8—6,4
15600	10	5,5—6,1
16000	10	5,3—5,9
16400	10	5,1—5,7
16800	10	4,9—5,5

Параметры из таблицы 8 охватывают диапазон поглощенных тепловых потоков, использованных Столл и Грином [8] в своих экспериментах. Значения времени, перечисленные в таблице 8, не соответствуют средним значениям, определенным 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 °С, имеет важное значение в появлении повреждения клеток и образовании 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 ожог второй и третьей степеней. 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).

Время до появления болевых ощущений по каждому датчику должно быть запротоколировано.

Время, в которое начинается прогнозируемая ожоговая травма первой степени, может быть рассчитано и запротоколировано в качестве дополнительной информации.

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

a) 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 степеней (%)] 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 степеней (%)] 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 степеней.

Может быть представлена таблица с указанием времени до появления болевых ощущений, травмы первой, второй и третьей степеней по каждому датчику.

Дополнительная запротоколированная информация может включать глубину ожоговой травмы (расположение, где $\Omega = 1{,}0$), средний тепловой поток и поглощенную энергию для каждого датчика.

Таблица индивидуальных значений теплового потока $\dot{q}(t_n)$ (кВт/м^2) для каждого датчика манекена i, на каждом временном интервале t_n, как это предусмотрено ISO 13506-1, может быть запротоколирована в качестве дополнительной информации.

Приложение А
(обязательное)

Модель кожи с температурно-зависимым коэффициентом теплопроводности *k*(*x*, *T*)

Параметры модели кожи:

- объемную теплоемкость ρC_p (Дж/м^3·К) и
- температурно-зависимый коэффициент теплопроводности k (Вт/м·К)

следует рассчитывать для каждого слоя кожи в соответствии со следующими формулами из литературных источников [10] и [11].

Слои: 1 — эпидермис;
2 — дерма;
3 — гиподерма.

Для любого слоя (где W_x — весовая доля материала; w — вода, f — жир, p — белок) рассчитывают следующие значения, используя формулы (А.1)—(А.3):

$$\rho = \left(\frac{W_w}{\rho_w} + \frac{W_f}{\rho_f} + \frac{W_p}{\rho_p} \right)^{-1}; \quad (A.1)$$

$$C_V = W_w \cdot C_{V,w} + W_f \cdot C_{V,f} + W_p \cdot C_{V,p}; \quad (A.2)$$

$$k = \rho \cdot \left| \frac{k_w \cdot W_w}{\rho_w} + \frac{k_f \cdot W_f}{\rho_f} + \frac{k_p \cdot W_p}{\rho_p} \right|. \quad (A.3)$$

Используют следующие параметры:

- температура

темпК = температура + 273,15,

температуру, выраженную в °С, переводят в К.

- значения теплофизических параметров воды:

ρ_w = 1,00, плотность воды, г/см^3;

$C_{V,w}$ = 1,00, теплоемкость воды, кал/г ·°С;

k_w = (–0,2758 + 4,6120E-03 × темпК — 5,5391E-06 × темпК × темпК)/418,40,

температурно-зависимый коэффициент теплопроводности, кал/см·с·К.

- значения теплофизических параметров жира:

ρ_f = 0,87, плотность жира, г/см^3;

$C_{\rho,f}$ = 0,44, теплоемкость жира, кал/г ·°С;

k_f = 5,42 × 10^{-4} + 3,60 × 10^{-6} × температура — 4,00 × 10^{-9} × температура × температура,

температурно-зависимый коэффициент теплопроводности, кал/см·с·°С.

- значения теплофизических параметров белка:

ρ_p = 1,54, плотность белка, г/см^3;

$C_{\rho,p}$ = 0,91, теплоемкость белка, кал/г ·°С;

k_p = 2,00 × 10^{-3} + 2,50 × 10^{-6} × температура — 8,92 × 10^{-9} × температура × температура,

температурно-зависимый коэффициент теплопроводности, кал/см·с·°С.

- весовые доли для каждого из слоев:

Для слоя 1 (весовые доли для слоя эпидермиса):

W_w = 0,80, весовая доля воды;

W_f = 0,30 × (1,00 – W_w), весовая доля жира, 30 % (исключая воду);

W_p = 0,70 × (1,00 – W_w), весовая доля белка, 70 % (исключая воду);

Для слоя 2 (весовые доли для слоя дерма):

W_w = 0,70, весовая доля воды;

W_f = 0,40 × (1,00 – W_w), весовая доля жира, 40 % (исключая воду);

W_p = 0,60 × (1,00 – W_w), весовая доля белка, 60 % (исключая воду).

Для слоя 3 (весовые доли для подкожно-жирового слоя):

W_w = 0,20, весовая доля воды;

W_f = 0,90 × (1,00 – W_w), весовая доля жира, 90 % (исключая воду);

W_p = 0,10 × (1,00 – W_w), весовая доля белка, 10 % (исключая воду).

Для получения значений объемной теплоемкости $\rho \times C_p$ в единицах СИ (Дж/м^3·К) умножают полученные выше значения для $\rho \times C_p$ на 4184000.

Для получения значений коэффициента теплопроводности k в единицах СИ (Вт/м·К) умножают полученные выше значения для k на 418,40.

Приложение В
(справочное)

Прогнозирование ожоговой травмы по данным межлабораторных испытаний

В.1 Межлабораторное испытание с использованием методов испытаний ISO 13506-1 и настоящего стандарта проводилось с использованием однослойной испытуемой одежды, изготовленной из трех различных материалов, и боевой одежды пожарного. Двенадцать лабораторий по всему миру приняли участие в межлабораторных сравнительных испытаниях, организованных подкомитетом ISO/ TC 94/SC 13.

В.2 Испытанные материалы приведены в таблице В.1.

Таблица В.1 — Испытанные материалы

Одежда	Материал	Номер эталона	Поверхностная плотность/ масса
A	Арамид (DuPont™ Nomex®[a] Comfort), голубой цвет	B200X2	260 г/м^2
B	Хлопок с огнестойкой отделкой (Proban®[b]), темно-синий цвет	B200X3	335 г/м^2
C	Модакрил/ хлопок/ антистатическое волокно (54/45/1 %), оранжевый цвет	B200X4	325 г/м^2
D	Куртка и брюки пожарного (ткань, состоящая из 75 % Nomex® Tough, 23 % Kevlar®[c] и 2 % антистатического углеродного волокна, мембрана Sympatex, покрытая флисом, состоящим из 50 % арамидного.и 50 % огнезащищенного вискозного волокна)	Арт. 11—336	Куртка: 2,3 кг. Брюки: 1,5 кг. Общий вес: 3,8 кг

Примечание — Информация об изготовителе одежды указана в ISO 13506-1:2017 (приложение В).

[a] Nomex — торговое наименование продукта, поставляемого компанией DuPont. Эта информация предоставлена для удобства пользователей настоящего стандарта и не является одобрением ISO данного продукта. Эквивалентные продукты могут быть использованы, если они продемонстрированы как достигшие аналогичных результатов.

[b] Proban — торговое наименование продукта, поставляемого компанией Solvay. Эта информация предоставлена для удобства пользователей настоящего стандарта и не является одобрением ISO данного продукта. Эквивалентные продукты могут быть использованы, если они продемонстрированы как достигшие аналогичных результатов.

[c] Kevlar — торговое наименование продукта, поставляемого компанией DuPont. Эта информация предоставлена для удобства пользователей настоящего стандарта и не является одобрением ISO данного продукта. Эквивалентные продукты могут быть использованы, если они продемонстрированы как достигшие аналогичных результатов.

- Одежда A: однослойная, 4 с воздействия при тепловом потоке 84 кВт/м^2, время измерения 120 с;
- одежда B: однослойная, 4 с воздействия при тепловом потоке 84 кВт/м^2, время измерения 120 с;
- одежда C: однослойная, 4 с воздействия при тепловом потоке 84 кВт/м^2, время измерения 120 с;
- одежда D: комплект пожарного, 8 с воздействия при тепловом потоке 84 кВт/м^2, время измерения 240 с.

В.3 Все испытания проводились на одежде с идентичной конструкцией. Каждая лаборатория провела три отдельных испытания для каждого условия (всего 12 испытаний для каждой лаборатории).

В.4 Время измерения для оценки переданной энергии для однослойной одежды составляло 120 с, а для комплекта пожарного — 240 с.

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

Таблица В.2 — Сводка по сходимости для прогнозирования риска ожогов (ожоги второй и третьей степени)

Одежда	Прогноз риска ожогов в соответствии с настоящим стандартом в % от покрытой площади			
	avg.	S_r	S_R	Количество лабораторий
A	50,3	4,3	21,7	12
B	53,4	8,75	33,90	12

Окончание таблицы В.2

Одежда	Прогноз риска ожогов в соответствии с настоящим стандартом в % от покрытой площади			
	avg.	S_r	S_R	Количество лабораторий
C	65,0	3,00	22,57	12
D	14,4	2,69	11,56	11

avg. — среднее значение средней полной переданной энергии, запротоколированное каждой лабораторией на основе площади, покрытой датчиками.

S_r — стандартное отклонение повторяемости (для точности внутри лаборатории).

S_R — стандартное отклонение сходимости (для точности между лабораториями).

В.6 Подробный отчет находится в секретариате ISO/TC 94/SC 13. Отчет включает в себя подробный протокол испытания, а также более подробную информацию об одежде и о том, где она была заказана. Межлабораторные сравнительные испытания также включали дополнительные оценки, касающиеся калибровки датчиков, реакции датчиков и воздействия на обнаженный манекен, которые могут помочь настроить испытательную систему в соответствии с ISO 13506-1 и настоящим стандартом.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
ISO/TR 11610	—	*, [1)]
ISO 13506-1:2017	IDT	ГОСТ ISO 13506-1—2021 «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от кратковременного воздействия открытого пламени. Часть 1. Метод испытания специальной одежды. 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 данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде стандартов.

Примечание — В настоящей таблице использовано условное обозначение степени соответствия стандарта:

- IDT — идентичный стандарт.

[1)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 12.4.293—2013 (ISO/TR 11610:2004) «Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная защитная. Словарь».

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] ISO 13506:2008, Protective clothing against heat and flame — Test method for complete garments — Prediction of burn injury using an instrumented manikin

[5] EN 469, Protective clothing for firefighters — Performance requirements for protective clothing for firefighting

[6] 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

[7] ASTM F1930—17, Standard Test Method for Evaluation of Flame Resistant Clothing for Protection Against Fire Simulations Using an Instrumented Manikin

[8] Stoll A.M., Greene L. C. Relationship between pain and tissue damage due to thermal radiation. J. Appl. Physiol. 1959, 14 p. 373

[9] Weaver J.A., Stoll A. M. Mathematical Model of Skin Exposed to Thermal Radiation. Aerosp. Med. 1969, 40 pp. 24—30

[10] 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

[11] 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

[12] 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

[13] Takata A. N. Development of criterion for skin burns. Aerosp. Med. 1975, 45 pp. 634—637

УДК 614.895.5:006.354 МКС 13.340.10 IDT

Ключевые слова: специальная одежда, кратковременное воздействие открытого пламени, защита от пламени, прогнозирование ожоговых травм кожи, требования к расчетам, примеры

Редактор *Л.И. Нахимова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *Г.Р. Арифулин*

Сдано в набор 29.10.2021. Подписано в печать 29.11.2021. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,79. Уч.-изд. л. 2,24.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

Поправка к ГОСТ ISO 13506-2—2021 Система стандартов безопасности труда. Одежда специальная для защиты от кратковременного воздействия открытого пламени. Часть 2. Прогнозирование ожоговых травм кожи. Требования к расчетам и примеры

В каком месте	Напечатано	Должно быть		
Предисловие. Таблица согласования	—	Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан

(ИУС № 8 2022 г.)

gost.e-ecolog.ru