

МРНТИ 64.29.81

К.Д. Кожабергенова¹ – основной автор, ©
Ж.Б. Байжанова², Г.А. Касымова³,
Б.Т. Нурмухамбетова⁴, Г.А. Наева⁵



^{1,2,3}Канд. техн. наук, ассоц. профессор, ³Ст. преподаватель,
⁵Докторант

ORCID

¹<https://orcid.org/0000-0003-2589-3119> ²<https://orcid.org/0000-0002-9160-9633>
³<https://orcid.org/0000-0001-9165-9027> ⁴<https://orcid.org/0000-0003-0313-025X>
⁵<https://orcid.org/0009-0005-1100-6648>



^{1,2}Казахский Университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова,
Астана, Казахстан

^{3,5}Таразский университет им. М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан

⁴Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева,
Астана, Казахстан

@

³kasymova.galiya@mail.ru

<https://doi.org/10.55956/ABZN3173>

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ СПЕЦОДЕЖДЫ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы воздействия опасных производственных факторов для разных подотраслей металлургической промышленности воздействующие на металлурга в зависимости от условий труда. В работе представлена разработка экспериментального устройства, предназначенного для оценки огнезащищённости текстильных материалов в условиях, максимально приближённых к реальным эксплуатационным. Рассмотрены конструктивные особенности установки, принципы её функционирования, а также приведены результаты предварительных испытаний различных типов тканей.

Ключевые слова: огнезащищённость, текстильные материалы, термостойкость, испытательное устройство, тепловое излучение.



Кожабергенова, К.Д. Прогнозирование защитных свойств спецодежды при воздействии высоких температур [Текст] / К.Д. Кожабергенова, Ж.Б. Байжанова, Г.А. Касымова, Б.Т. Нурмухамбетова, Г.А. Наева // Механика и технологии / Научный журнал. – 2026. – №1(91). – С.224-232. <https://doi.org/10.55956/ABZN3173>

Введение. Для успешного решения задач в области охраны труда и обеспечения безопасности на производстве необходимо усовершенствовать такие методы и приборы, которые позволят повысить качество спецодежды, ее износоустойчивость, эстетический вид, еще на этапе проектирования.

Согласно классификации специальной одежды по защитным свойствам, одежда, используемая в металлургической отрасли, относится к средствам защиты от воздействия повышенных температур. Основное её назначение – предотвращение перегрева организма работника и создание условий, обеспечивающих нормальное функционирование центральной нервной и сердечно-сосудистой систем.

Такая спецодежда защищает от теплового излучения, искр, брызг расплавленного металла, воздействия нагретых поверхностей (от 100°C и выше), а также от конвективного тепла. Для снижения воздействия лучистой энергии применяются специальные отражающие материалы, тепловые экраны и оригинальные конструктивные решения. Комплексный подход к подбору материалов и их рациональное сочетание в многослойной структуре одежды позволяет эффективно защитить работника не только от перегрева, но и от ожогов и других травм, вызванных высокотемпературным воздействием.

Актуальность темы исследования. В условиях повышенного риска термического воздействия, особенно в металлургической, нефтехимической, энергетической и других отраслях промышленности, надежная защита рабочих от огня и высоких температур является приоритетной задачей. Эффективность средств индивидуальной защиты, в том числе специальной одежды, напрямую зависит от объективной оценки их огнезащитности. Однако большинство существующих методов испытаний проводят в условиях, значительно отличающихся от реальных производственных ситуаций, что может привести к завышенной оценке защитных свойств материалов.

В связи с этим разработка устройства, позволяющего проводить испытания тканей в условиях, максимально приближенных к реальным эксплуатационным, имеет высокую практическую значимость. Такое устройство позволяет более точно оценивать поведение материалов при воздействии открытого пламени, теплового излучения и конвективного тепла, тем самым способствуя повышению уровня промышленной безопасности, оптимизации процессов сертификации и совершенствованию технологий производства огнезащитной спецодежды.

Условия и методы исследований. Рассматривая эксплуатацию спецодежды, конкретно на Темиртауском заводе по выпуску ферросплавов было выявлено, что уже после двух месяцев эксплуатации существующая специальная одежда является не пригодной для дальнейшего использования.

Целью исследования является разработка методики оценки свойств пакета материалов, разработка устройства для определения стойкости тканей к брызгам расплавленного металла и оценки надежности спецодежды.

В работе решались следующие задачи:

- разработка конструкции устройства для измерения температуры на внутренней поверхности пакета спецодежды;
- разработка математической модели прогноза защитных свойств спецодежды при воздействии высоких температур;
- разработка рациональных решений при выборе конструкции пакета спецодежды металлурга на основе изучения влияния воздействия частиц расплавленного металла, на защитную способность спецодежды. Задачей изобретения является создание устройства для определения стойкости тканей к брызгам расплавленного металла приближенных к реальным условиям эксплуатации.

Техническим результатом нового устройства является упрощение конструкции для определения стойкости тканей к брызгам расплавленных металлов, повышение удобства в эксплуатации.

Для достижения указанного технического результата в устройстве для определения стойкости тканей к брызгам металла нагрев содержимого тигеля осуществляют с помощью графитового электрода с токопроводящим кабелем, а наличие калиброванного отверстия в нем исключает необходимость в

двигателе, используемом для наклона его при попадании брызг металла на образец ткани. О защитных свойствах тканей судят по температуре, фиксируемой на обратной стороне, относительно попадания жидкого металла изнаночной стороне образца пакета одежды с помощью термопар, прикрепленных к сплаву Вуда. Согласно регламентируемым стандартам на защитную одежду для металлургов эта температура не должна превышать 45°C [1]. Под испытуемым образцом ткани предполагают пакет одежды, состоящий из ткани защитной накладки, основной ткани, подкладки, рубашки и белья. По исследованиям, проведенным в реальных условиях эксплуатации спецодежда по отношению к летящим брызгам расплавленного металла, находится в основном под углом $60-70^{\circ}$ [2]. Поэтому испытуемый пакет закрепляют в держателе образца, под регулируемым углом.

Сущность изобретения поясняется чертежом, где на рисунке 1 представлено схематическое изображение устройства для определения стойкости тканей к брызгам расплавленного металла. Устройство включает держатель образца 1, держатель тигля 2, графитовый тигель 3 с калиброванным отверстием 4, графитовый электрод 5, штангу (регулируемую опору) для тигля 6, штангу (регулируемую опору) 7 для графитового электрода 5, зажим для крепления токопроводящего кабеля 8, держатель графитового электрода 9, поддон с песком 10. На образец пакета, закрепленный в держателе образца 1, капает металл из калиброванного отверстия 4 графитового тигля 3. Для определения температуры на изнаночной стороне образца ткани используют термопары 12, прикрепленные к сплаву Вуда, который помещают на обратной стороне образца ткани. Держатель образца ориентируют под разными углами от $0-80^{\circ}$.

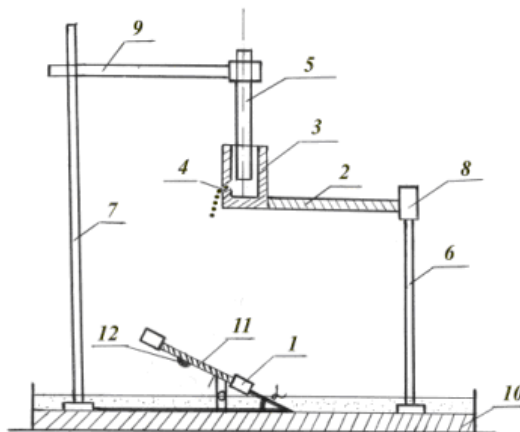


Рис. 1. Устройство для определения огнезащитности текстильных материалов

Регулируемый под разными углами образец ткани закрепляют в держателе образца 1 под углом $60-80^{\circ}$. В тигель 3 помещают металл (крупные опилки или маленькие кусочки), опускают в него графитовый электрод 5 и нагревают пропусканием электрического тока через токопроводящий кабель 8 до расплавления металла в тигле. Расплавленный металл через калиброванное отверстие 4 в тигле 3 капает на образец ткани 11, при этом с помощью термопары, закрепленной с помощью сплава Вуда на обратной стороне

образца ткани, определяют температуру на изнаночной стороне пакета ткани. От ранее известных устройств для определения степени огнезащитности, предлагаемое устройство отличается простотой технического решения.

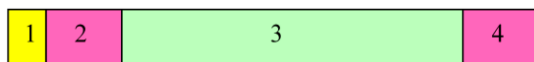
Использование не одного материала, а пакета одежды, позволяет получить результаты приближенные к реальным условиям эксплуатации спецодежды.

Для исследований были приняты два вида металла, различающихся по температуре плавления, поверхностному натяжению и теплофизическим свойствам.

Как видно из представленных данных, принятые два вида металла – олово и свинец отличаются основными параметрами: температурой плавления, поверхностному натяжению, теплопроводности, теплоемкости [3].

Результаты исследований и их обсуждение. Для определения воздействия высоких температур на человека и прогнозирования защитных свойств спецодежды была разработана математическая модель теплообмена системы – окружающая среда-спецодежда-человек.

Геометрическая модель этой системы представлена на рисунке 2.



1 – кожный покров; 2 – х/б ткань подкладочная; 3 – сукно; 4 – х/б ткань накладная.

Рис. 2. Геометрическая модель защитного пакета спецодежды

На рисунке 2 схематически изображено сечение защитного пакета, состоящее из слоев материалов с различными свойствами.

Процессы теплообмена в слоях пакета спецодежды описываются уравнением нестационарной теплопроводности [4]

$$c \cdot p \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = \overrightarrow{\text{div}}(k \cdot \overrightarrow{\text{gradu}}), \quad (1)$$

где: $u = u(x, y, z, t)$ – температура в точке с координатами x, y, z в момент времени t ; c – теплоемкость, рассматриваемого материала; p – плотность материала; k – коэффициент теплопроводности материала.

В начальный момент времени распределение температуры в рассматриваемой среде считается известным (начальные условия), а также известной считается температура воздействия на поверхности в любой момент времени (граничные условия).

Выбирая направление оси Ox перпендикулярно защитным слоям одежды и считая, что распространение тепла происходит вдоль этой оси с учетом принятой геометрической модели, уравнение (1) с начальными и граничными условиями будет иметь следующий вид:

$$c \cdot p \cdot \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \right), \quad (2)$$

$$u(x, 0) = \varphi(x), \quad (3)$$

$$u(0, t) = u_0, u(h, t) = u_1, \quad (4)$$

где: $\varphi(x)$ – функция распределения температуры в каждом слое в начальный момент времени при $t=0$; h – толщина пакета; u_0 – температура на внутренней поверхности пакета; u_1 – температура на внешней поверхности пакета.

Система соотношений (2)-(4) позволяет рассчитать распределение температуры в пакете защитной одежды в зависимости от свойств используемых материалов и теплового воздействия.

Решение поставленной задачи будем выполнять методом конечных разностей [4]. Принимая сетку разбиения по координате x и по времени t , будем определять приближенные значения решения в узлах сетки разбиения. Заменяя частные производные в узлах сетки разбиения конечными разностями, получим:

$$\frac{\partial u}{\partial t} \approx \frac{u_{i,j+1} - u_{i,j}}{\Delta t}, \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k \cdot \frac{\partial u}{\partial x} \right) \approx \frac{k_{i+1} \cdot u_{i+1,j} - (k_{i+1} + k_i) \cdot u_{i,j} + k_i \cdot u_{i-1,j}}{\Delta x^2}, \quad i = \overline{1, n}, j = 0, 1, 2, \dots, \quad (6)$$

где: Δt – величина шага разбиения по времени; Δx – величина шага разбиения по толщине пакета; i, j – номера узлов сетки разбиения.

Тогда соотношения (2)-(4) относительно величины $u_{i,j+1}$ с учетом (5) и (6) примут вид:

$$u_{i,j+1} = u_{i,j} \cdot \left(1 - \frac{\Delta t \cdot (k_{i+1} + k_i)}{p_i \cdot c_i \cdot \Delta x^2} \right) + \frac{\Delta t \cdot (k_{i+1} \cdot u_{i+1,j} + k_i \cdot u_{i-1,j})}{p_i \cdot c_i \cdot \Delta x^2}, \quad (7)$$

$$u_{i,0} = \varphi(x_i), \quad (8)$$

$$u_{1,j} = \varphi 1_j, u_{n,j} = \varphi 2_j, \quad (9)$$

где: c_i, p_i, k_i – значения теплоемкости, плотности и теплопроводности слоя материала, заключенного между $i - 1$ и i узлами разбиения; $u_{i,0}$ – температура пакета в узлах сетки разбиения в начальный момент времени $t = 0$; $\varphi 1_j, \varphi 2_j$ – значения температуры на внутренней и внешней поверхности защитного пакета в узлах сетки разбиения в момент времени t соответственно.

При известных значениях $u_{i-1,j}, u_{i,j}, u_{i+1,j}$ определяется величина $u_{i,j+1}$. В начальный момент времени $t = 0$ все значения $u_{i,0}$ в (8) считаются заданными. Тогда по формуле (7) можно рассчитать величины $u_{i,j+1}$ во всех внутренних точках сетки разбиения. Значения в крайних точках определяются из граничных условий (9).

Следует отметить, что проектирование спецодежды сопряжено с оценкой ее эффективности, то есть установлением соответствия одежды заданным защитным свойствам, а так же оценки последствий вредных воздействий [5,6].

Критерием эффективности формирования пакета при проектировании спецодежды являются рекомендации, в соответствии с которыми спецодежда должна обеспечивать защиту при воздействии температур не менее 70°C в течение 25 минут. При данных воздействиях не должно быть превышения температуры на внутренней поверхности композиции слоев одежды более 50°C в указанный промежуток времени.

В таблице 1 представлены теплофизические характеристики материалов, входящих в защитный пакет. Толщина слоёв пакета показана в таблице 2.

Таблица 1

Теплофизические характеристики материалов

Наименование материала	Плотность ρ , кг/м ³	Теплоёмкость c , Дж/кг°C	Теплопроводность k , Вт/ м ² °C
Ткань х\б подкладочная, накладная	440	1380	0,050
Сукно	281	1680	0,045
Кожный покров	1050	3600	0,383

Таблица 2

Толщина слоёв защитного пакета спецодежды

Номер слоя	1	2	3	4
Толщина слоя, мм	0,50	0,75	3,50	0,75

Численный расчет проводился для защитного пакета, представленного на рисунке 1. В таблице 3 показаны значения распределения температуры в сечении пакета в узлах сетки разбиения: $i = 1, \dots, 16$; $j = 25m$; $m = 1, \dots, 12$.

Таблица 3

Температура в узлах сетки разбиения

i	j												
	1	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300
1	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36	36
2	28	33.082	34.46	35.633	36.489	37.076	37.471	37.735	37.912	38.03	38.108	38.161	38.196
3	20	30.312	33.048	35.365	37.047	38.198	38.973	39.491	39.838	40.069	40.223	40.326	40.395
4	20	27.897	31.951	35.338	37.773	39.434	40.551	41.298	41.797	42.13	42.353	42.502	42.601
5	20	25.994	31.319	35.661	38.74	40.833	42.238	43.178	43.806	44.225	44.505	44.691	44.816
6	20	24.749	31.288	36.428	40.013	42.438	44.063	45.15	45.875	46.36	46.683	46.899	47.044
7	20	24.311	31.98	37.713	41.64	44.28	46.047	47.288	48.016	48.543	48.894	49.129	49.285
8	20	24.711	33.38	39.492	43.599	46.346	48.181	49.406	50.224	50.77	51.134	51.378	51.54
9	20	26.107	35.548	41.79	45.907	48.644	50.469	51.687	52.5	53.043	53.405	53.647	53.809
10	20	28.66	38.513	44.611	48.561	51.172	52.911	54.071	54.845	55.362	55.707	55.937	56.091
11	20	32.508	42.269	47.935	51.546	53.921	55.5	56.553	57.256	57.725	58.038	58.247	58.386
12	20	37.73	46.77	51.722	54.832	56.87	58.223	59.124	59.725	60.127	60.395	60.574	60.693
13	20	44.304	51.93	55.908	58.378	59.99	61.059	61.771	62.246	62.563	62.775	62.916	63.01
14	20	52.076	57.626	60.414	62.129	63.246	63.985	64.478	64.807	65.026	65.172	65.27	65.336
15	20	60.753	63.699	65.141	66.022	66.595	66.974	67.227	67.395	67.508	67.583	67.633	67.666
16	20	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70

На рисунке 3 представлены графики изменения температуры u от времени t в различных слоях при воздействии температуры на внешнюю поверхность защитного пакета одежды. На рисунке кривая 1 соответствует

внутренней поверхности защитного слоя, кривые 2 и 3 – внутренней и внешней поверхности основного защитного слоя.

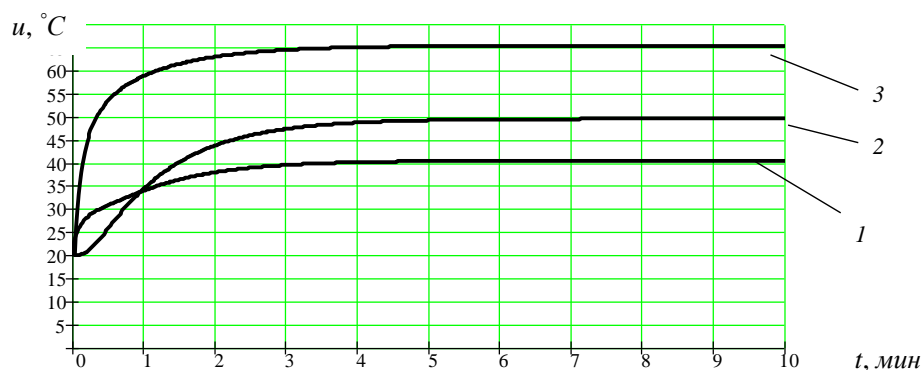


Рис. 3. Зависимость температуры u от времени t при воздействии температуры на внешнюю поверхность пакета

Полученные результаты показывают, что при внешнем воздействии в 70°C на внутренней поверхности пакета температура не превышает 41°C .

Таким образом, предлагаемая модель позволяет проводить оценку температурного воздействия в различных слоях защитного пакета.

Заключение. Разработана оригинальная установка, приближенная к реальным условиям эксплуатации защитного костюма для определения температуры на изнаночной стороне пакета.

Разработана модель пакета одежды позволяющая прогнозировать температурное воздействие в различных слоях защитного пакета с использованием математической модели теплообмена системы: окружающая среда-спецодежда-человек.

На основе многочисленных экспериментальных исследований и установлений зависимостей между видами пакетов, температурой на изнаночной стороне, времени воздействия и углов наклона испытуемых образцов тканей выявлено, что наиболее приемлемым и надежным в эксплуатации является пакет 2 состоящий: из накладки «Термолин», основной ткани – серошинельное сукно, подклада – бязь, рубашки – х/б и майки – фланель.

Список литературы

1. ТР ТС 019/2011. О безопасности средств индивидуальной защиты. Решение Комиссии таможенного союза от 9 декабря 2011 года № 878 [Текст].
2. Шульц, Л.О. Совершенствование методического и приборного обеспечения процесса проектирования спецодежды для защиты от повышенных температур [Текст]: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Л.О. Шульц. – Ленинград, 1999. – С. 3-8.
3. [?] Рабочая одежда и средства индивидуальной защиты [Текст] // [?]. – 2008. – № 1. – С. 6-7.
4. Рыскулова, Б.Р. Методы проектирования специальной одежды [Текст]: монография / Б.Р. Рыскулова, Ж.Б. Байжанова. – Алматы: Издательский центр КБТУ, 2019. – 230 с.
5. Кельберт, Д. Охрана труда в текстильной промышленности [Текст] / Д. Кельберт. – М.: Легкая индустрия, 1971. – 238-240 с.

6. Жилисбаева, Р.О. Проектирование спецодежды для металлургов [Текст]: монография / Р.О. Жилисбаева. – Алматы, 2006. – 156 с.

Материал поступил в редакцию 30.10.25, принят 20.01.26.

**К.Д. Кожабергенова¹, Ж.Б. Байжанова¹, Г.А. Касымова²,
Б.Т. Нурмухамбетова³, Г.А. Наева²**

¹Қ.Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті,
Астана, Қазақстан

²М.Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан

³Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

АРНАЙЫ КИИМДЕРДІҢ ЖОҒАРЫ ТЕМПЕРАТУРА ӘСЕРІНДЕГІ ҚОРҒАУ ҚАСИЕТТЕРІН БОЛЖАУ

Аңдатпа. Мақалада еңбек жағдайына байланысты металлургияға әсер ететін қауіпті өндірістік факторлардың металлургия өнеркәсібінің әртүрлі қосалқы салаларына әсері қарастырылған. Тоқыма материалдарының нақты пайдалану жағдайларына барынша отқа төзімділігін бағалауға арналған тәжірибелік құрылғының дайындау ұсынылған. Жұмыста қондырғының конструктивтік ерекшеліктері, оның жұмыс істеу үрдістері қарастырылып, әртүрлі маталар түрлерін алдын ала сынау нәтижелері берілген.

Тірек сөздер: трикотаж, жұмсақ тоқу, полимерлі оптикалық талшық, арқау жіп, беріктік, тозу.

**K.D. Kozhabergenova¹, Zh.B. Baizhanova¹, G.A. Kassymova²,
B.T. Nurmukhambetova³, G.A. Nayetova²**

¹K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan

²M.Kh. Dulaty Taraz University, Taraz, Kazakhstan

³L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

PREDICTION OF THE PROTECTIVE PROPERTIES OF SPECIAL CLOTHING UNDER HIGH- TEMPERATURE EXPOSURE

Abstract. The article examines the impact of hazardous industrial factors across different sub-sectors of the metallurgical industry affecting workers depending on working conditions. The study presents the development of an experimental device designed to assess the fire-resistant properties of textile materials under conditions as close as possible to real operating conditions. The design features of the installation, its operating principles, and the results of preliminary tests of various types of fabrics are discussed.

Keywords: fire resistance, textile materials, thermal resistance, testing device, thermal radiation.

References

1. TR TS 019/2011. O bezopasnosti sredstv individual'noy zashchity [On Safety of Personal Protective Equipment]. – 2011. [in Russian].
2. Shultz L.O. Sovershenstvovanie metodicheskogo i pribornogo obespecheniya protsessa proektirovaniya spetsodezhdy dlya zashchity ot povyshennykh temperatur [Improvement of Methodical and Instrumental Support of Protective Clothing Design Process for High Temperature Protection]: Dis. Cand. of Tech. Sci. – Leningrad, 1999. – P. 3-8. [in Russian].

3. Rabochaya odezhda i sredstva individual'noy zashchity [Work Clothing and Personal Protective Equipment] // [?]. – 2008. – No. 1. – P. 6-7. [in Russian].
4. Ryskulova B.R., Baizhanova Zh.B. Metody proektirovaniya spetsial'noy odezhdy [Methods of Special Clothing Design]: monograph. – Almaty: Izdatel'skiy tsentr KBTU, 2019. – P. 230. [in Russian].
5. Kel'bert D. Okhrana truda v tekstil'noy promyshlennosti [Occupational Safety in Textile Industry]. – M.: Legkaya industriya, 1971. – P. 238-240. [in Russian].
6. Zhilisbaeva R.O. Proektirovanie spetsodezhdy dlya metallurgov [Design of Protective Clothing for Metallurgists] : monografiya – Almaty, 2006. – P. 156. [in Russian].