

DOI 10.34216/2587-6147-2020-3-49-6-11

УДК 687.03

Коринтели Анна Михайловна

аспирант

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет», г. Шахты, Россия

hitarova2015@yandex.ru

Черунова Ирина Викторовна

доктор технических наук, профессор

Институт сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) ФГБОУ ВО «Донской государственной технической университет», г. Шахты, Россия

i_sch@mail.ru

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ БИОНИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МАТЕРИАЛА ЗАЩИТНОЙ ОДЕЖДЫ ОТ ТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ ПОДВОДНОЙ СВАРКИ

Статья посвящена исследованию и разработке элементов технологии проектирования и производства нового полимерного материала на основе термостойкого силикона со специальной поверхностной структурой в виде упорядоченной рельефной матрицы, имитирующей бионическую поверхность («акуля кожи»), созданной на основе цифровой обработки бионических моделей, обеспечивающей барьер от термически опасных частиц подводной сварки. С целью определения устойчивости разработанного материала к тепловому воздействию кратковременного открытого пламени были проведены экспериментальные испытания, которые позволили определить, что повреждение поверхности нового силиконового материала незначительно, не приводит к разрушению общей толщины защитного материала и дальнейшим рискам для внутреннего вспененного теплозащитного слоя гидрокостюмов: повреждению поверхности выступов рельефной матрицы (не более 40 % от исходных параметров). Разработанный материал позволяет повысить защиту основной поверхности материала одежды.

Ключевые слова: специальная одежда, вспененные материалы, термоустойчивость, подводная сварка, силикон, материаловедение швейного производства, проектирование гидрокостюмов.

В настоящее время рынок материалов для огне- и термозащитной одежды является одним из наиболее динамично развивающихся сегментов швейной промышленности [1].

Причиной этому является проблема производственных термических рисков для человека. Несмотря на масштабное развитие производства во всех областях, по данным Федеральной службы государственной статистики, доля работников, занятых во вредных условиях труда, составляет более 35 % [2], поэтому термозащитные свойства многих видов одежды определяют ее эффективность в системе охраны труда и требуют особого внимания к термостойким материалам. Одежда на основе термостойких материалов имеет широкий спектр применения в условиях воздействия термических рисков, что особенно характерно для условий выполнения сварочных работ.

В мире растет спрос на квалифицированных подводных сварщиков, в настоящее время

темп роста числа рабочих мест составил 22 %. Развитие технологий и увеличение числа судостроительных и ремонтных работ делают подводную сварку востребованной во всем мире [3].

В отличие от сварки на суше, в водной среде вместо сварочного дыма существует особое явление, при котором дуговые пузырьки непрерывно генерируют и окружают горящую дугу в подводной мокрой дуговой сварке. Непрерывная генерация пузыря оказывает большое влияние на стабильность дуги и перенос капли. Из-за случайных путей передачи, неопределенных мест посадки и интенсивного колебания сварочной ванны шаровидный отталкивающий режим передачи рассматривается как важный фактор, приводящий к неравномерному распределению капель [4].

Один жизненный цикл дугового пузыря включает в себя три различных этапа: контактирование, окружение и отделение между пузырем и каплей. В процессе дуговой сварки температура капли и ванны достигает 2600 °С [5]. Размер капель в среднем может достигать

2,5 мм [5]. Защитный эффект спецодежды напрямую зависит от материалов, способных противостоять возможному прожигу, вызванному контактной высокой температурой капли горячего металла.

Характеристика термостойкости материалов определяется строением полимеров, видом пигментов, входящих в их состав.

Систематизация современных материалов известных производителей позволила сформировать элементы физико-технических характеристик (табл. 1) [6].

Современные вспененные материалы по причине низкой температуры плавления [7] не способны обеспечить нужную барьерную защиту в таких условиях, поэтому возникает необходимость использования дополнительного термостойкого изоляционного слоя.

Таким образом, цель работы заключается в создании термостойкого материала, обеспечи-

вающего защиту от термического разрушения поверхности защитной одежды для подводной сварки.

В настоящее время в качестве термоизолирующего материала в спецодежде применяют синтетические кислородосодержащие кремний-органические полимеры (силиконы) [8]. Они характеризуются особой устойчивостью к термическим воздействиям, которая обеспечивается большой энергией связи между атомами кремния и кислорода, а также эластичностью, упругостью, жесткостью, прочностью, формоустойчивостью, значительным удлинением и твердостью – в меньшей степени, чем у обычных резин [8, 9].

В результате патентных исследований существующих разработок, определяющих варианты формирования силиконовых материалов, установлены особенности их применения (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

Физико-технические характеристики современных материалов для подводной одежды

Наименование материала (производитель)	Объемная плотность, кг/м ³	Толщина, мм	Удлинение при разрыве, %
1. Sheico (Тайвань)	220–250	3–10	50–350
2. Yamamoto (Япония)	130–250		50–520
3. Daiwabo (Япония)	240–270		50–650
4. Heiwa SK (Япония)	210–240		56–850
5. National NS (Япония)	200–230		460–500
6. Nam Ling (Южная Корея)	180–220		50–650
7. Neoprene, DuPont (США)	210–270		150–800

Т а б л и ц а 2

Аналитическое описание результатов патентных исследований материалов на основе силикона и их способов получения

Патент	Достоинства	Недостатки
US № 2010/0098868A1 Силиконовая ткань и метод [10]	Двухступенчатый метод изготовления материала. Низкое время изготовления материала, что снижает количество затрачиваемой энергии и трудоемкость. Формирование ткани с силиконовым наполнением при низких температурах	Силиконовый полимер расположен во внутренней структурной части материала, вследствие чего волокна наружных поверхностей материала не будут иметь покрытия, что снижает барьерную защиту материала в целом от комплексных производственных рисков сварочных процессов
US № 5359735A Процесс поверхностного покрытия силикона [11]	Высокая теплоизоляция, эластичность, износоустойчивость. Устойчивость к механическим воздействиям	Безконтролируемый расход распыляемого материала через сопло. Процесс нанесения покрытия на поверхность основного материала требует больших затрат энергии и труда
US № 4725635 Отделочный материал на основе силикона [12]	Износостойкость, не происходит изменений показателей поверхности материала в процессе длительной эксплуатации	Представленный многостадийный процесс нанесения покрытия и последующего отверждения в условиях высоких температур требует больших затрат энергии и труда для получения ткани. Материал из силиконовой резины неустойчив к высоким температурам
US № 4478895A Способ получения ткани с силиконовым эластомерным покрытием [13]	Двухступенчатый метод изготовления материала. Высокая формоустойчивость. Устойчивость к механическим воздействиям	Силиконовый полимер расположен во внутренней части материала, вследствие чего волокна наружных поверхностей материала не будут иметь покрытия, что снижает барьерную защиту материала в целом от комплексных производственных рисков сварочных процессов. Формирование материала производится при высоких температурах, что ведет к большим потерям энергии

Проведенный анализ результатов патентных исследований позволил обосновать необходимость повышения устойчивости основных материалов, применяемых в одежде специального назначения для сварки, к механическим воздействиям и воздействиям опасных высоких температур, близких к условиям кратковременных контактов с открытым пламенем.

В работе предложены и разработаны элементы технологии проектирования термостойкого поликомпонентного материала на основе термостойкого силикона с эффектом барьерной защиты.

Под барьерной защитой понимается формирование препятствия для нагрева поверхности основных вспененных материалов гидрокостюма до температуры, превышающей их

температуру плавления, и для прямого контакта с поверхностями вероятного механического повреждения поверхности тела человека. С целью достижения признаков барьерной защиты силиконовый материал требует особой поверхностной структуры, способной снижать непосредственные контакты с внешними частицами и избегать внешних повреждений.

В процессе разработки такой поверхностной структуры материала были проведены исследования для выявления типа рельефного рисунка силиконового материала. В качестве объекта исследований были взяты объекты бионики, а именно чешуи акул как пример бионической поверхности с высокой степенью барьерной защиты от воздействий внешней среды [14] (рис. 1).

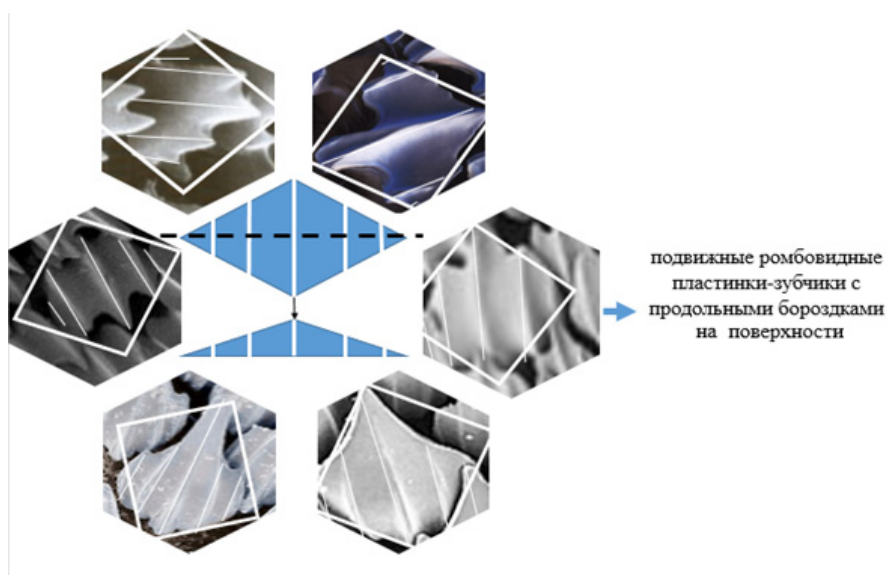


Рис. 1. Варианты формы плакоидной чешуи

Поверхностная структура акулий кожи характеризуется последовательным расположением плакоидной чешуи – подвижных ромбовидных пластинок с продольными бороздками на поверхности и шипом на конце. Принцип расположения чешуи акул, образующей «алмазный» узор [15], позволяющий препятствовать прилипанию (сцеплению) с контактирующими частицами, лег в основу формирования рельефного рисунка проектируемого защитного силиконового материала.

В результате проведенных экспериментальных исследований определены параметры структуры силиконового материала. Поверхность на основе силикона имеет специальную сложную структуру, имитирующую «акулю кожу» за счет продольных пяти выступов (шириной 2,0 мм), образующих ромбовидную фор-

му. Выступы имеют длину и высоту: первый и пятый – 6,5 и 1,0 мм; третий – 18,0 и 1,5 мм; второй и четвертый – 11,2 и 1,25 мм. Расстояние между выступами 2,0 мм.

Для получения предложенной рельефной поверхности изготовления силиконового материала осуществлялось способом жидкого формования [15]. В программной среде Autodesk Fusion 360 [16] разработана модель рельефной поверхности проектируемого материала, с использованием которой изготовлена форма-заготовка (шаблон рельефа поверхности).

Форма-заготовка изготовлена из оргстекла толщиной 10,0 мм на трехкоординатном фрезерно-гравировальном станке с ЧПУ [17]. Для преобразования кодированной информации о модели из Autodesk Fusion 360 в станцию

управления станком использовалось программное обеспечение Mach3 [18].

Систематизация результатов анализа существующих формовочных литевых материалов позволила обосновать литьевой силикон на основе олова с твердостью по Шору не более 15 А с целью сохранения необходимой эластичности материала и эргономики костюма. Установлена основа для создания силиконового материала – двухкомпонентный силикон Alcorsil (А + В) на основе олова [19].

В результате проведенных экспериментальных исследований разработана структурно-логическая схема (рис. 2) технологического процесса формирования рельефного силиконового материала.

На основе разработанной схемы технологического процесса был изготовлен термостойкий силиконовый материал с рельефной поверхностью, образец которого представлен на рис. 3а.

С целью определения устойчивости разрабатываемого материала к тепловому воздействию кратковременного открытого пламени были проведены экспериментальные испытания

[20, 21]. Условия проведения экспериментального исследования представлены в табл. 3.

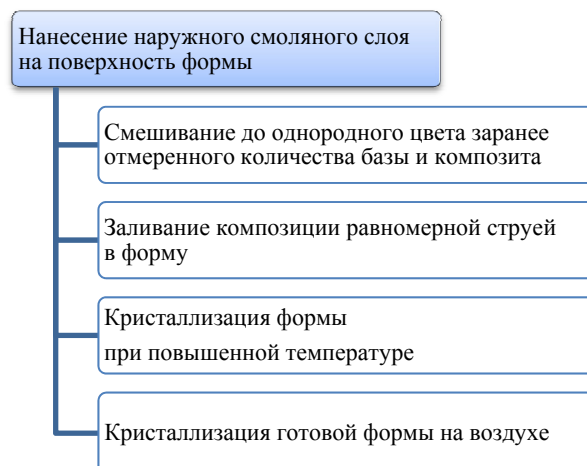


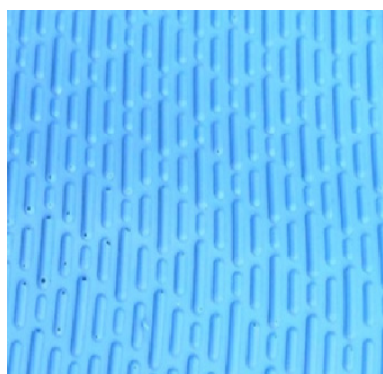
Рис. 2. Схема технологического процесса формирования рельефного силиконового покрытия

На рис. 3б представлен результат повреждения силиконового материала с рельефной «бионической» поверхностью.

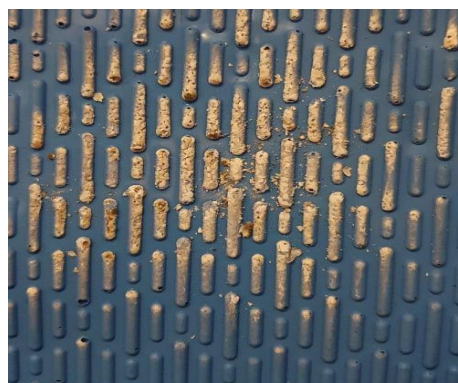
Таблица 3

Условия экспериментального исследования устойчивости нового термостойкого материала к тепловому кратковременному воздействию открытого пламени

Параметр	Единица измерения	Значение
Размеры образца	мм	220,0×170,0
Температура воздуха	°С	20,0
Относительная влажность воздуха	%	65,0
Общая длина излучения (горелки)	мм	356,0 ± 2,0
Длина нагревающей части (горелки)	мм	178,0 ± 2,0
Сопротивление электрическому току	Ом	3,6
Время непосредственного термического воздействия на образец	с	5,0
Высота пламени горелки, измеренная как расстояние между верхней частью трубки горелки и верхом конусной желтой части пламени	мм	25,0 ± 2,0
Диаметр сопла горелки	мм	2,0 ± 0,1



а



б

Рис. 3. Внешний вид нового силиконового термостойкого материала:

а – исходное состояние «бионической» структуры поверхности;

б – поврежденная поверхность после кратковременного термического воздействия открытым пламенем

Анализ результатов позволил установить, что для разрабатываемой барьерной защиты силиконового материала с рельефной поверхностью

«бионической» структурой характерно проявление повреждений на поверхности выступов, но при этом основание силиконового материала

не повреждается. Высота выступов снижается не более чем на 40 % от исходных параметров. Незначительное возгорание происходило при условии превышения времени воздействия более нормативных 5 с нахождения в пламени, затухание – сразу после вынесения из пламени.

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований были разработаны элементы новой технологии проектирования и производства материала на основе термостойкого литьевого силикона со специальной поверхностной структурой в виде

упорядоченной рельефной матрицы, повторяющей поверхность, созданной на основе цифровой обработки бионических моделей. Получены параметры специальной поверхностной структуры силиконового материала, имитирующего «акулю кожу». Рельефная структура силиконового материала за счет выступов позволяет сократить площадь и время контакта поверхности гидрокостюма с факторами сварочного процесса, повышая устойчивость поверхности гидрокостюма к тепловому и механическому воздействиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фомин Б. М., Николаев С. Д., Егоров Н. В. Перспективы выпуска огнезащитных тканей в России // Текстильная промышленность. – 2011. – № 4. – С. 64–66.
2. Федеральная служба государственной статистики : информационный портал. – URL: <http://www.gks.ru> (дата обращения: 15.10.2020).
3. American Welding Society : офиц. сайт. – URL: <https://www.aws.org> (дата обращения: 15.10.2020).
4. Influence of textile parameters on the permeability of reinforcement textiles / R. Gunnar, J. Jinhua, D. Carsten [etc.] ; College of Textiles, Donghua University, № 2999, North Renmin Road. – Shanghai, China, 2013. – P. 89–98.
5. Hu J., Tsai H. L. Heat and mass transfer in gas metal arc welding. Part I: The arc // Int. Journal of Heat and Mass Transfer. – 2007. – No 50. – P. 833–846.
6. Коринтели А. М., Лесникова Т. Ю., Сирота Е. Н. Физико-технические характеристики материалов для защитной спецодежды от водной среды // Научная весна – 2019. – Шахты : ИСОиП (филиал) ДГТУ в г. Шахты, 2019. – С. 78–81.
7. Химия и технология синтетического каучука / Л. А. Аверко-Антонович, Ю. О. Аверко-Антонович, И. М. Давлетбаева, П. А. Кирпичников. – М. : Химия : КолосС, 2008. – 357 с.
8. Thermal degradation and flammability properties of poly(propylene)-carbon nanotube composites / T. Kashiwagi, E. Grulke, J. Hilding [etc.] // Macromol. Rapid Commun, 2002. – P. 761–765.
9. Сирота Е. Н., Черунова И. В., Тихонова Н. В. Исследование и учет свойств вспененных материалов одежды для эксплуатации в условиях высокого растяжения // Вестник Технологического университета. – 2016. – Т. 19. – № 18. – С. 85–87.
10. Патент № 2010/0098868 А1 США В06D 3/02 (2006/01). Силиконовая ткань и метод : заявл. 16.10.2008 : опубл. 22.04.2010, Бюл. № 12/288,311 / Тао-Минг Том Кинг. – 2 с.
11. Патент № 5359735А США. Процесс поверхностного покрытия силикона : заявл. 28.12.1992 : опубл. 01.11.1994 / Грег М. Стоквелл. – 10 с.
12. Патент № 4725635 США С08К 5/15. Отделочный материал на основе силикона : заявл. 12.05.1987 : опубл. 16.02.1988, Бюл. № 48,695 / Фумио Окада, Масаки Танака, Хироши Охаши. – 6 с.
13. Патент № 4478895 США В05D 3/02. Способ получения ткани с силиконовым эластомерным покрытием : заявл. 21.01.1984 : опубл. 23.10.1984, Бюл. № 573 / Руицо Маками, Акито Накамура. – 6 с.
14. Dean B., Bhushan B. Shark-skin surfaces for fluid-drag reduction in turbulent flow a review / Phil. Trans. R. Soc. A 368, 2010. – P. 4775–4806.
15. Dick G. Rubber technology: compounding and Testing // Saint Petersburg: Scientific foundations and technologies, 2010. – URL: <https://new.ibooks.ru/bookshelf/335576/reading>.
16. Autodesk : информационный портал. – URL: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview> (дата обращения: 13.10.2020).
17. Kmt-stanki : информационный портал. – URL: <https://kmt-stanki.ru/catalog/frezernyetanki> (дата обращения: 15.10.2020).
18. Mach3 : информационный портал. – URL: <https://ntma.com.ua/ru/mach3.html> (дата обращения: 15.10.2020).
19. Кабанов В. А. Энциклопедия полимеров. – М. : Советская энциклопедия, 1977. – Т. 3. П–Я. – 1152 с.

20. ГОСТ 50810–95. Пожарная безопасность текстильных материалов. Ткани декоративные. Метод испытания на воспламеняемость и классификация. – Введ. 1996-01-01. – М. : Изд-во стандартов, 1995. – 9 с.
21. Черунова И. В. Проектирование противотепловых костюмов : монография. – Шахты : Изд-во Южно-Российского гос. ун-та экономики и сервиса, 2007. – 151 с.

REFERENCES

1. Fomin B. M., Nikolaev S. D., Egorov N. V. Perspektivy vypuska ognезashchitnyh tkaney v Rossii // *Tekstil'naya promyshlennost'*. – 2011. – № 4. – S. 64–66.
2. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki : informacionnyj portal. – URL: <http://www.gks.ru> (data obrashcheniya: 15.10.2020).
3. American Welding Society : ofic. sajt. – URL: <https://www.aws.org> (data obrashcheniya: 15.10.2020).
4. Influence of textile parameters on the permeability of reinforcement textiles / R. Gunnar, J. Jinhua, D. Carsten [etc.] ; College of Textiles, Donghua University, № 2999, North Renmin Road. – Shanghai, China, 2013. – P. 89–98.
5. Hu J., Tsai H. L. Heat and mass transfer in gas metal arc welding. Part I: The arc // *Int. Journal of Heat and Mass Transfer*. – 2007. – No 50. – P. 833–846.
6. Korinteli A. M., Lesnikova T. Yu., Sirota E. N. Fiziko-tehnicheskie harakteristiki materialov dlya zashchitnoj specodezhdy ot vodnoj sredy // *Nauchnaya vesna* – 2019. – Shahty : ISOiP (filial) DGTU v g. Shahty, 2019. – S. 78–81.
7. Himiya i tekhnologiya sinteticheskogo kauchuka / L. A. Averko-Antonovich, Yu. O. Averko-Antonovich, I. M. Davletbaeva, P. A. Kirpichnikov. – M. : Himiya : KolosS, 2008. – 357 s.
8. Thermal degradation and flammability properties of poly(propylene)-carbon nanotube composites / T. Kashiwagi, E. Grulke, J. Hilding [etc.] // *Macromol. Rapid Commun*, 2002. – P. 761–765.
9. Sirota E. N., Cherunova I. V., Tihonova N. V. Issledovanie i uchet svojstv vspenennyh materialov odezhdy dlya ekspluatacii v usloviyah vysokogo rastyazheniya // *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*. – 2016. – T. 19. – № 18. – S. 85–87.
10. Patent № 2010/0098868 A1 SSHA B06D 3/02 (2006/01). Silikonovaya tkan' i metod : zayavl. 16.10.2008 : opubl. 22.04.2010, Byul. № 12/288,311 / Tao-Ming Tom King. – 2 s.
11. Patent № 5359735A SSHA. Process poverhnostnogo pokrytiya silikona : zayavl. 28.12.1992 : opubl. 01.11.1994 / Greg M. Stokvell. – 10 s.
12. Patent № 4725635 SSHA S08K 5/15. Otdelochnyj material na osnove silikona : zayavl. 12.05.1987 : opubl. 16.02.1988, Byul. № 48,695 / Fumio Okada, Masaki Tanaka, Hiroshi Ohashi. – 6 s.
13. Patent № 4478895 SSHA B05D 3/02. Sposob polucheniya tkani s silikonovym elastomernym pokrytiem : zayavl. 21.01.1984 : opubl. 23.10.1984, Byul. № 573 / Ruico Makami, Akito Nakamura. – 6 s.
14. Dean B., Bhushan B. Shark-skin surfaces for fluid-drag reduction in turbulent flow a review / *Phil. Trans. R. Soc. A* 368, 2010. – P. 4775–4806.
15. Dick G. Rubber technology: compounding and Testing // Saint Petersburg: Scientific foundations and technologies, 2010. – URL: <https://new.ibooks.ru/bookshelf/335576/reading>.
16. Autodesk : informacionnyj portal. – URL: <https://www.autodesk.com/products/fusion-360/overview> (data obrashcheniya: 13.10.2020).
17. Kmt-stanki : informacionnyj portal. – URL: <https://kmt-stanki.ru/catalog/frezernyetanki> (data obrashcheniya: 15.10.2020).
18. Mach3 : informacionnyj portal. – URL: <https://ntma.com.ua/ru/mach3.html> (data obrashcheniya: 15.10.2020).
19. Kabanov V. A. Enciklopediya polimerov . – M. : Sovetskaya enciklopediya, 1977. – T. 3. P–Ya. – 1152 s.
20. GOST 50810–95. Pozharnaya bezopasnost' tekstil'nyh materialov. Tkani dekorativnye. Metod ispytaniya na vosplamenaemost' i klassifikaciya. – Vved. 1996-01-01. – M. : Izd-vo standartov, 1995. – 9 с.
21. Cherunova I. V. Proektirovanie protivoteplovyh kostyumov : monografiya. – SHahty : Izd-vo Yuzhno-Rossijskogo gos. un-ta ekonomiki i servisa, 2007. – 151 s.