

УДК 677.077.625.16

**Е. В. Мацкевич, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, Н. М. Дмитракович**

НИЦ Витебского областного управления МЧС РБ

Витебский государственный технологический университет

Республика Беларусь, 210035, г. Витебск, Московский пр., 72

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ ОГНЕТЕРМОСТОЙКОГО МАТЕРИАЛА С ПОЛИМЕРНЫМ ПОКРЫТИЕМ

© Е. В. Мацкевич, С. В. Жерносек, В. И. Ольшанский, Н. М. Дмитракович, 2015

*В работе изложены результаты разработки и практической апробации технологии производства огнетермостойкого материала верха для специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа ■*

**Ключевые слова** ■ технология, текстильные материалы, полимерные материалы, огнетермостойкость, тепловое воздействие, защитная одежда, апробация

### Введение

Для защиты пожарных-спасателей от повышенных тепловых воздействий в подразделениях МЧС применяется дорогостоящая специальная защитная одежда от повышенных тепловых воздействий. К теплоотражательным костюмам тяжелого типа предъявляются наивысшие требования по обеспечению защиты пожарных-спасателей при ликвидации техногенных аварий в условиях воздействия повышенных тепловых потоков. Поэтому актуальной задачей является разработка технологии производства огнетермостойкого материала верха с полимерным покрытием для специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа и ее практическая апробация.

### Объекты и методы исследования

Для решения поставленной задачи в рамках задания «Обоснование оптимальных технических решений и разработка технологии производства огнетермостойкого материала верха для специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжёлого типа» государственной программы научных исследований «Информатика и космос, научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» выполнены следующие этапы [1]:

1) в результате комплексных исследований физико-механических, теплофизических и огнетермостойких свойств осуществлен выбор основы разрабатываемого материала верха;

2) выполнен научно обоснованный выбор компонентов полимерного покрытия;

3) проведены комплексные исследования физико-механических, теплофизических и огнетермостойких свойств компонентов полимерного покрытия;

4) разработан и исследован технологический процесс нанесения полимерного покрытия на тканевую основу;

5) выполнена промышленная апробация технологического процесса и определены рациональные режимные параметры технологического процесса;

б) проведены комплексные исследования полученного материала верха с полимерным покрытием для определения соответствия его свойств требованиям нормативных документов.

С учетом требований к стойкости разрабатываемого материала к воздействию открытого пламени и высоких температур [2] сравнивались следующие марки кремнеземных тканей производства ОАО «Полоцк-Стекловолокно» (г. Полоцк, Республика Беларусь): КТ-11п-30к, PS-600-L-S и PS-600-L-S-V. В результате исследований [1] установлено, что ткань PS-600-L-S не отвечает требованиям устойчивости материала верха одежды специальной защитной от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа к контакту с нагретыми до 400°C твердыми поверхностями, а ткань PS-600-L-S-V не соответствует требованиям морозостойкости материала верха. Ткань КТ-11п-30к полностью соответствует требованиям СТБ 1972–2009.

Таким образом, в качестве материала основы выбрана кремнеземная ткань КТ-11п-30к полотняного типа переплетения. В таблице 1 приведены обобщенные результаты исследований физико-механических и теплофизических свойств кремнеземной ткани КТ-11п-30к.

На материал основы наносится металлизированное полимерное покрытие для улучшения теплоотражательных свойств и защиты от неблагоприятных климатических воздействий, возникающих при проведении аварийно-спасательных работ. Для этих целей наиболее подходящими по характеристикам являются полиимид, полиамид, фторопласт и полиэтилентерефталат.

Исследования основных физико-механических и теплофизических свойств полимерных покрытий [1] показали, что покрытия из полиамида и полиэтилентерефталата не могут быть использованы при производстве одежды специальной защитной от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа, так как их температура плавления находится в диапазоне 255–265 °C и не соответствует требованиям СТБ 1972–2009 [2].

Как показали экспериментальные исследования [1], полиэтилентерефталатные покрытия об-

**Таблица. 1.** Характеристики кремнеземной ткани КТ-11п-30к

Параметр	Значение
Толщина материала, м	$3,6 \cdot 10^{-4}$
Масса на единицу площади, г/м <sup>2</sup>	306
Разрывная нагрузка, Н: — основа — уток	1250 1100
Сопротивление раздираанию, Н: — основа — уток	77 90
Кислородный индекс, % об.	более 40
Теплопроводность, Вт/(м·К)	0,037
Воздействие открытого пламени	не горит

ладают высокой горючестью и крайне неустойчивы при воздействии открытого пламени. Фторопласты имеют температуру плавления ниже, чем полиимиды, и более высокую плотность, что при использовании их в специальной защитной одежде против тепловых воздействий тяжелого типа в 1,6 раза увеличит массу по сравнению с остальными полимерами.

Установлено, что полиимидные покрытия отвечают требованиям СТБ 1972–2009 [1]: устойчивы к действию органических растворителей, инертны к действию масел и разбавленных кислот, отличаются высокой стабильностью размеров и низкой ползучестью при высоких температурах, низкой теплопроводностью.

В предложенном технологическом процессе производства одежды специальной защитной от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа применяется полимерное покрытие в виде полиимидной пленки ПМ-А-30 (производитель ООО «Эстроком», Россия). В таблице 2 приведены обобщенные результаты исследований физико-механических и теплофизических свойств полиимидной пленки ПМ-А-30.

Полиимидная пленка дублируется с материалом основы методом «мокрого» ламинирования с растворителем [1].

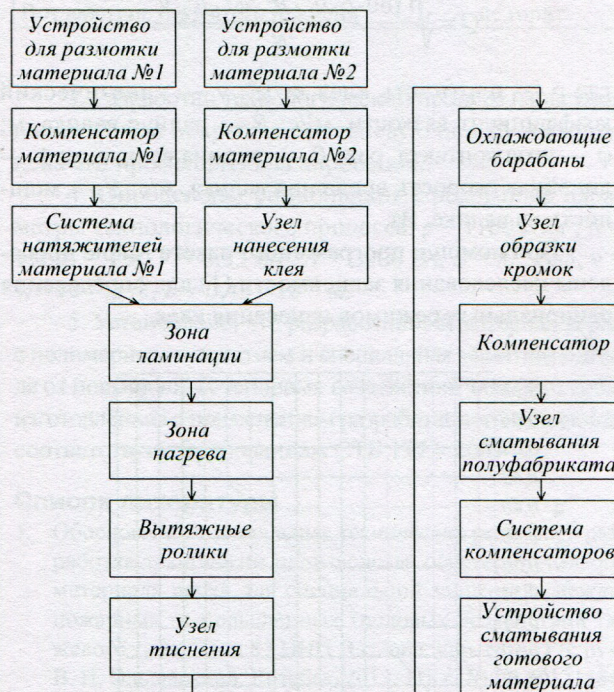
Структурная схема технологической линии для получения материала верха с полимерным покрытием специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа представлена на рисунке 1.

С устройств размотки материалы №1, №2 поступают на компенсаторы. После чего материал №2 поступает в узел нанесения клея, а материал №1 — в систему натяжителей. Затем материалы №1 и №2 поступают в зону ламинации, где происходит их соединение и получается комбинированный материал (далее ламинат). После зоны ламинации материал проходит через зону нагрева и поступает на вытяжные ролики. Затем ламинат через узел тиснения поступает на охлаждающие барабаны. Далее, через узел обрезки кромок, ламинат поступает в компенсатор, обеспечивающий непрерывность процесса производства при замене рулона с готовым материалом. Затем ламинат поступает в узел сматывания полуфабриката и через систему компенсаторов поступает в узел сматывания готового материала.

Параметры технологической линии для получения материала верха специальной защитной одежды

**Таблица. 2.** Характеристики полиимидной пленки ПМ-А-30

Параметр	Значение
Толщина материала, м	$3,0 \cdot 10^{-5}$
Плотность, кг/м <sup>3</sup>	1420
Разрывная нагрузка, Н: — продольное направление — поперечное направление	81 60
Кислородный индекс, % об.	37,5
Воздействие открытого пламени	не горит



**Рис. 1.** Структурная схема технологической линии для получения материала верха с полимерным покрытием специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа

пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа:

- максимальная ширина полотна — 1100 мм;
- максимальная ширина ламинации — 1050 мм;
- толщина ламинируемых материалов — от 12 до 100 мкм;
- максимальный диаметр рулона на размотке — 600 мм;
- максимальный диаметр рулона на намотке — 800 мм;
- максимальная скорость ламинации — 200 м/мин.

При дублировании материала основы с полимерной пленкой применяется клей полиуретановый 2-х компонентный «Adcote» 675A+675C (The Dow Chemical, USA).

Для определения рациональных режимных параметров нанесения клея при производстве материала верха с полимерным покрытием специальной защитной

одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа выполнены теоретические исследования валкового способа нанесения вязкотекучей жидкости на пленку [1].

На основании гипотезы о ламинарности движения жидких слоев при валковом нанесении получены аналитические зависимости толщины наносимого слоя как функции плотности, кинематической вязкости, скорости, и объемного расхода как функции толщины, скорости, ширины полотна соответственно:

$$\delta = \sqrt[3]{\frac{1160 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot R^2 \cdot \varphi^2 \cdot B \cdot V}{N}}, \quad (1)$$

$$Q = \sqrt[3]{\frac{1160 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot R^2 \cdot \varphi^2 \cdot B^3 \cdot V^3}{N}},$$

где  $\rho$  — плотность клея  $\text{кг/м}^3$ ;  $v$  — кинематический коэффициент вязкости,  $\text{м}^2/\text{с}$ ;  $R$  — радиус валика, м;  $\varphi$  — угол контакта, рад;  $B$  — ширина валика, м;  $V$  — линейная скорость вращения валика,  $\text{м/с}$ ;  $N$  — мощность на валике, Вт.

При помощи программного пакета Maple проведены исследования зависимости (1) для определения рациональных режимов нанесения клея.

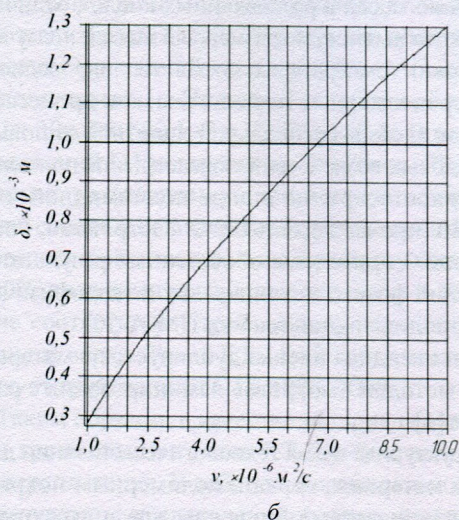
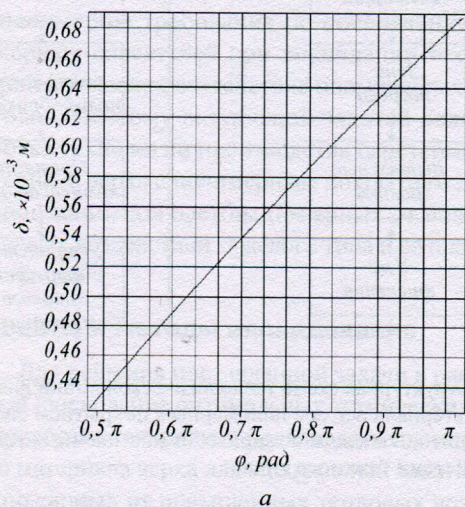


Рис. 2. Графические зависимости изменения толщины  $\delta$  от угла контакта  $\varphi$  (а) и кинематической вязкости  $v$  (б)

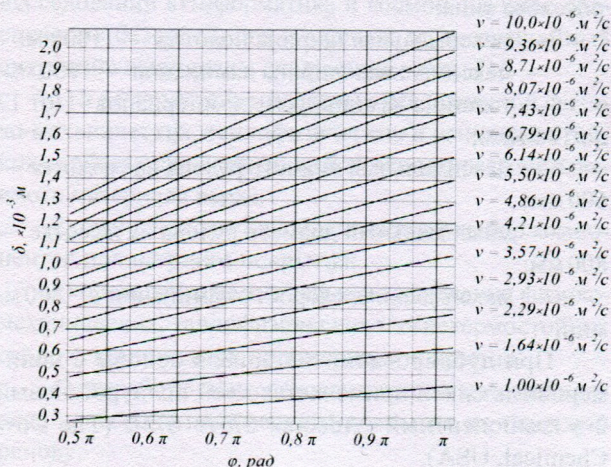


Рис. 3. Номограмма изменения толщины  $\delta$  наносимого слоя от изменения кинематической вязкости  $v$  и угла контакта  $\varphi$

Параметры технологического процесса (по данным предприятия ПУП «Гомельобои», г. Гомель, Республика Беларусь):  $\rho = 1160 \text{ кг/м}^3$ ;  $\varphi = \pi/2 \text{ рад}$ ;  $R = 1 \text{ м}$ ;  $B = 1 \text{ м}$ ;  $V = 0,33 \text{ м/с}$ ;  $N = 2000 \text{ Вт}$ .

Значение  $\varphi$  (рад), угол контакта варьируется в диапазоне:  $\pi/2 \leq \varphi \leq \pi$ .

Значение  $v$  ( $\text{м}^2/\text{с}$ ), кинематической вязкости варьируется в диапазоне:  $1 \cdot 10^{-6} \leq v \leq 1 \cdot 10^{-5}$ .

Полученные графические зависимости представлены на рисунке 2.

Для упрощения инженерных расчетов, позволяющих определить толщину клеевой пленки  $\delta$  при различных значениях кинематической вязкости  $v$  и степени погружения клеенамазного валика  $\varphi$ , построена номограмма, представленная на рисунке 3.

Номограмма позволяет при известных физико-механических свойствах наносимого полимера определять основные технологические параметры процесса получения материала верха с полимерным покрытием специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа.

На основании полученных зависимостей определены рациональные режимы нанесения клея при осуществлении выпуска партии материала верха с поли-

мерным покрытием специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа:  $\rho = 1160 \text{ кг/м}^3$ ,  $R = 1 \text{ м}$ ,  $B = 1 \text{ м}$ ,  $V = 0,33 \text{ м/с}$ ,  $N = 2000 \text{ Вт}$ ,  $\varphi = \pi/2 \text{ рад}$ ,  $v = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ , расчетное значение толщины наносимого слоя  $\delta = 0,431 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Фактическое значение толщины наносимого слоя  $\delta = 0,45 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ . Отклонение от расчетного значения составляет 4,4%, что позволяет говорить о достоверности полученных зависимостей.

Выпуск осуществлялся на оборудовании производственного унитарного предприятия «Гомельобои» (г. Гомель, Республика Беларусь), что подтверждается актом выпуска опытно-промышленной партии.

Республиканским производственным унитарным предприятием «Униформ» (г. Микашевичи, Республика Беларусь) выпущена опытная партия специальной защитной одежды от повышенных тепловых воздействий

тяжелого типа с применением полученного материала верха с полимерным покрытием.

Учреждением «Научно-исследовательский центр Витебского областного управления Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь» проведены лабораторные испытания материала верха с полимерным покрытием и эксплуатационные испытания специальной защитной одежды от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа для определения соответствия свойств требованиям нормативных документов. Некоторые результаты исследований физико-механических и теплофизических свойств материала верха с полимерным покрытием специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа приведены в таблице 3.

Установлено, что специальная защитная одежда от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа, изготовленная с применением разработанного материала верха с полимерным покрытием соответствует требованиям СТБ 1972–2009 [1] и не уступает лучшим мировым аналогам по показателям: сопротивление раздиранию, разрывная нагрузка, устойчивость к воздействию температуры 200 °С, устойчивость к контакту с нагретыми до 400 °С твердыми поверхностями, кислородный индекс, устойчивость к воздействию открытого пламени, морозостойкость.

#### Выводы

1. Проведены комплексные исследования физико-механических, теплофизических и огнестойких свойств. В качестве основы разрабатываемого материала верха выбрана кремнеземная ткань КТ-11п-30к.

2. Выполнен научно обоснованный выбор компонентов полимерного покрытия, в качестве которого применяется полиимидная пленка ПМ-А-30. Проведены комплексные исследования физико-механических, теплофизических и огнестойких свойств полимерного покрытия.

**Таблица 3.** Характеристики материала верха с полимерным покрытием специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа

Параметр	Значение
Толщина материала, м	$3,9 \cdot 10^{-4}$
Масса на единицу площади, г/м <sup>2</sup>	362
Разрывная нагрузка, Н:	
— основа	1238
— уток	1128
Сопротивление раздиранию, Н:	
— основа	82
— уток	94
Кислородный индекс, % об.	более 32
Коэффициент ослабления инфракрасного излучения, %	95
Воздействие открытого пламени	не горит

3. Разработан технологический процесс нанесения полимерного покрытия на тканевую основу и выполнена его промышленная апробация.

4. Определены рациональные режимные параметры технологического процесса:  $\rho = 1160 \text{ кг/м}^3$ ,  $R = 1 \text{ м}$ ,  $B = 1 \text{ м}$ ,  $V = 0,33 \text{ м/с}$ ,  $N = 2000 \text{ Вт}$ ,  $\varphi = \pi/2 \text{ рад}$ ,  $\nu = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ,  $\delta = 0,431 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ .

5. Установлено, что разработанный материал верха с полимерным покрытием и специальная защитная одежда от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа, изготовленная с применением разработанного материала, соответствуют требованиям СТБ 1972–2009 [2].

#### Список литературы

1. Обоснование оптимальных технических решений и разработка технологии производства огнестойкого материала верха для специальной защитной одежды пожарных от повышенных тепловых воздействий тяжелого типа: Этап 8 / НИЦ Вит. обл. упр. МЧС РБ; рук. В. И. Ольшанский. Витебск, 2013. 118 с. № ГР 20121584.
2. СТБ 1972–2009. Система стандартов безопасности труда. Одежда пожарных специальная защитная от повышенных тепловых воздействий. Общие технические условия: Введ. 01.01.2010. Минск: Госстандарт, НИЦ ВОУ МЧС г. Витебска, 2010. 46 с.

### E. V. Matskevich, S. V. Zhernosek, V. I. Olshanskiy, N. M. Dmitrakovich

Scientific Center of the Vitebsk Regional Directorate of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus  
Vitebsk State Technological University  
Belarus, 210035, Vitebsk, Moscow ave., 72

### THE TECHNOLOGY OF RECEIVING FIRE-HEATRESISTANT MATERIAL WITH A POLYMER COATING

*The paper describes the development and field-testing technology of fire-heat resistant material the top layer of special protective clothing for firefighters from of thermal influences increased heavy type ■*

**Keywords** ■ technology, textile materials, polymeric materials, fire-heat resistance, thermal influence, protective clothing, testing

#### References

1. Obosnovanie optimal'nyh tehnikeskikh reshenij i razrabotka tehnologii proizvodstva ognetermostojkogo materiala verha dlja special'noj zashhitnoj odezhdy pozharных ot povyshennyh teplovyh vozdeystvij tzhazhelogo tipa: Jetap 8. NIC Vit. obl. upr. MChS RB [Justification of optimal technical solutions and the development of production technology heat resistant material for the top special protective clothing firefighters from the

- thermal effects of elevated heavy type: Stage 8 / SIC Vit. region. Ex. Ministry of Emergency Situations of Belarus] director V. I. Ol'shanskij. Vitebsk, 2013. No GR 20121584. 118 p.
2. STB 1972–2009. Sistema standartov bezopasnosti truda. Odezhda pozharных speci-al'naja zashhitnaja ot povyshennyh teplovyh vozdeystvij. [Occupational safety standards system. Clothing fire SPECIAL cial protection from the high heat. General specifications] 01.01.2010. Minsk State Standard, SIC HEU MOE. Vitebsk, 2010. 46 p.