

**Горин Максим Сергеевич** – e-mail: gorin@energocontract.ru; тел.: 89175944679; химик-технолог отдела новых технологий.

**Нагановский Юрий Кузьмич** – ФГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны» МЧС России; e-mail: reut11731@mail.ru; 143903, Московская область, г. Балашиха, жилой микрорайон ВНИИПО, 12; тел.: 89067512676; ведущий научный сотрудник.

**Zubkova Nina Sergeevna** – Energocontract JSC FPG; e-mail: zubkova@energocontract.ru; 9, Karmanitsky per. of. 707, Moscow, 119002, Russia; phone: +79165134053; deputy director for science; professor.

**Timagina Nina Vladimirovna** – e-mail: timagina@energocontract.ru; phone: +79175944845; engineer of the new technologies.

**Gorin Maksim Sergeevich** – e-mail: gorin@energocontract.ru; phone: +79175944679; chemical engineer of the new technologies.

**Naganovsky Yuri Kuz'mich** – VNIPO of EMERCOM of Russia; e-mail: reut11731@mail.ru; 143903, Moscow region, Balashikha, residential micro district VNIPO, 12; phone: +79067512676; leading researcher.

УДК 677.027.625(043.3)

**Н.С. Зубкова, Ю.К. Нагановский**

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ТОКСИЧНОСТИ ПРОДУКТОВ ГОРЕНИЯ ТКАНЕЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОЙ СПЕЦОДЕЖДЫ**

*Важным показателем пожарной опасности материалов является токсичность продуктов горения. Определены показатели токсичности и состава продуктов горения текстильных материалов, используемых для изготовления спецодежды рабочих пожароопасных производств – ткани из огнезащитного хлопка, смеси хлопка с полиэфиром и из термостойкого волокна номекс. С использованием совмещенного анализа, включающего термогравиметрию, дифференциально-сканирующую калориметрию, ИК-спектроскопию с Фурье-преобразованием были проанализированы описанные выше материалы. Состав выделяющихся при пиролизе газов анализировался хромато-масс-спектроскопическим методом. Показано, что температурный интервал выделения основного количества газообразных соединений в процессе пиролиза в значительной степени зависит от способа огнезащитной обработки и состава материала. При пиролизе целлюлозосодержащих тканей основное количество газообразных, в том числе таких токсичных соединений, как монооксид углерода, ацетальдегид, выделяется в температурном интервале 300–350 °С. Ткань из термостойкого волокна номекс менее опасна при указанном тепловом воздействии, так как основное количество газообразных соединений выделяется при температуре 600 °С. Следовательно, при создании огнезащитной спецодежды следует учитывать возможность термического воздействия на материал, величину теплового потока, длительность воздействия, приводящего к термолизу полимера, сопровождающегося выделением токсичных продуктов разложения. Нормирование показателя токсичности продуктов пиролиза материалов в зависимости от действующего на спецодежду теплового потока позволит создать экологически безопасную спецодежду.*

*Токсичность продуктов горения; термоокислительная деструкция; пиролиз; огнезащитная система.*

N.S. Zubkova, Yu.K. Naganovsky

## RESEARCH ON THE TOXICITY OF PRODUCTS OF BURNING FABRICS USED FOR THE MANUFACTURING OF FIREPROOF PROTECTIVE CLOTHING

*An important indicator of the fire hazards of materials is the toxicity of combustion products. The paper identifies indicators of toxicity and composition of combustion products of textile materials used for the manufacture of clothing workers of fire facilities – woven fabrics of nonflammable cotton, cotton blend with polyester and heat-resistant fibers Nomex. Using combined the analysis including thermogravimetry, differential scanning calorimetric, IR-spectroscopy Fourier transform was analyzed the above materials. The composition of the emitted during the pyrolysis gases has been analyzed by gas chromatography-mass-spectroscopic method. It is shown that the temperature interval highlight the main quantity of gaseous compounds in the pyrolysis process largely depends on how fireproof processing and composition of the material. During the pyrolysis of cellulose-containing tissues main quantity of gaseous, including such toxic compounds like carbon monoxide, acetaldehyde, stands out in the temperature range of 300–350 °C. Fabric made of heat-resistant fibers Nomex less dangerous at the specified thermal influence, as the majority of gaseous compounds stands out at a temperature of 600 °C. It is shown that when creating flame retardant clothing should consider the possibility of thermal effects on the material, the amount of heat flux, the duration of exposure leading to thermalizes polymer, accompanied by the emission of toxic decomposition products. Rationing index of toxicity of the products of pyrolysis of materials depending on the uniforms of the heat flow, will create environmentally friendly clothing.*

*Toxicity of combustion products; thermal-oxidative destruction; pyrolysis; fire retardant system.*

Ткани для изготовления спецодежды пожароопасных предприятий должны соответствовать нормативным требованиям по устойчивости к воздействию открытого пламени, тепловому потоку, сопротивляться каплям расплавленного металла, воздействию электрической дуги и т.д.

Важным показателем пожарной опасности материалов является токсичность продуктов горения. В настоящее время этот показатель для текстильных материалов, используемых для изготовления спецодежды, не нормируется. Однако в процессе эксплуатации материал, из которого изготовлена спецодежда, подвергается тепловому воздействию, в результате чего может протекать термоокислительная деструкция, сопровождающаяся выделением соединений различного состава. Указанные соединения могут характеризоваться различной токсичностью и оказывать как рефлекторное, так и резорбтивное влияние на организм человека, поступая ингаляционным путем или через кожу, оказывая влияние на внутренние органы, сердечно-сосудистую и центральную нервную систему.

В зависимости от химического состава полимера, из которого изготовлен материал, в процессе пиролиза могут выделяться различные по составу и количеству соединения. Обработка материалов огнезамедлительными системами с целью снижения их горючести может привести к изменению динамики и состава продуктов разложения и не всегда в лучшую сторону.

Анализ токсичности продуктов разложения материалов, используемых для изготовления пожаробезопасной спецодежды, температурных интервалов их выделения, позволит учесть их неблагоприятное воздействие на организм человека.

В настоящее время токсичность продуктов горения материалов определяется в соответствии с ГОСТ 12.1.044-89 (п.4.20) [2]. Сущность метода определения токсичности заключается в сжигании исследуемого образца в камере сгорания при заданной плотности теплового потока и выявлении зависимости летального эффекта газообразных продуктов горения от массы материала, отнесенной к единице

объема экспозиционной камеры. В зависимости от полученного значения показателя токсичности продуктов горения ( $\text{HCl}_{50}$ ,  $\text{г/м}^3$ ) при времени экспозиции 30 минут материалы подразделяются на 4 класса опасности:

	$\text{HCl}_{50}$ , $\text{г/м}^3$
чрезвычайно опасные	до 13
высокоопасные	13–40
умеренноопасные	40–120
малоопасные	свыше 120

В соответствии с указанным методом были определены показатели токсичности продуктов горения текстильных материалов, используемых для изготовления спецодежды рабочих пожароопасных производств. Исследования проводились в режиме термоокислительного разложения (тления) при продолжительности экспозиции животных – 30 минут. Состав исследованных материалов и полученные данные приведены в табл. 1.

Из полученных данных следует, что огнезащищенные хлопчатобумажные ткани, обработанные составами Пробан и Пироватекс, характеризуются одним классом токсичности. Однако показатели токсичности материалов отличаются.

Хлопчатобумажная ткань (№ 2), обработанная составом Пробан, находится на границе перехода в менее опасный класс умеренноопасных материалов. Ткань из смеси волокон хлопка и полиэфира (№ 3) относится к классу умеренноопасных материалов.

Таблица 1

**Показатели токсичности продуктов горения материалов, используемых для изготовления спецодежды**

Наименование ткани, состав	Состав, используемый для обработки	Поверхностная плотность $\text{кг/м}^2$	$\text{HCl}_{50}$ , $\text{г/м}^3$	Класс токсичности по ГОСТ 112.1.044-89	Группа токсичности по СНиП 21-01.97
№ 1 – Хлопок 100 %	Пироватекс	0,35	23,4±0,5	Высокоопасный материал	Т-3
№ 2 – Хлопок 100 %	Пробан	0,33	37,9±0,8	Высокоопасный материал	Т-3
№ 3 – 60 % хлопок, 40 % полиэфир	Пробан	0,31	48,0±1,2	Умеренноопасный материал	Т-2
Номекс-комфорт 93 % номекс, 5 % кевлар, 2 % Р 140	-	0,22	13,8±0,3	Высокоопасный материал	Т-3

Немаловажным при определении токсичности продуктов горения материалов спецодежды является температурный интервал выделения, их состав и количество. С использованием совмещенного анализа, включающего термогравиметрию, дифференциально-сканирующую калориметрию, ИК-спектроскопию с Фурье-преобразованием, были проанализированы описанные выше материалы. Состав выделяющихся при пиролизе газов анализировался хромато-масс-спектроскопическим методом.

Результаты анализа показали, что в интервале температур 100–600 °С суммарное количество выделяющихся газообразных соединений  $\text{CO}$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  составляет 27–35 % от общей потери массы в данном температурном интервале (табл. 2).

Таблица 2

**Количество выделившихся газообразных соединений при пиролизе тканей  
разного состава (температурный интервал 100–600 °С)**

Наименование ткани	Количество выделившихся соединений от общей потери массы, %	Количество выделившихся соединений, %		
		СО	СО <sub>2</sub>	Н <sub>2</sub> О
№ 1	35	8	11	16
№ 2	31	8	8	14
№ 3	27	3	10	14
Номекс	30	11	9	10

При пиролизе ткани Номекс выделяется 11 % монооксида углерода, несколько меньше (8 %) выделяется при пиролизе хлопчатобумажных тканей, обработанных составами Пироватекс и Пробан. В продуктах пиролиза ткани, состоящей из смеси хлопчатобумажной ткани и полиэфирного волокна (№ 3), меньше всего выделяется токсичного монооксида углерода. Полученные данные согласуются с данными по определению класса токсичности в соответствии с ГОСТ 12.1.044-89.

Однако температурный интервал выделения основного количества газообразных соединений в процессе пиролиза в значительной степени зависит от способа огнезащитной обработки и состава материала (табл. 3).

При пиролизе целлюлозосодержащих тканей основное количество газообразных, в том числе таких токсичных соединений, как монооксид углерода, ацетальдегид, выделяется в температурном интервале 300–350 °С. Расчет показывает, что из одного квадратного метра огнезащитной хлопчатобумажной ткани, обработанной составом Пироватекс (№ 1) в указанном температурном интервале, выделяется 2390 мг монооксида углерода, аналогичный показатель для ткани, обработанной составом Пробан (№ 2) составляет 2160 мг. Учитывая, что предельно допустимая концентрация в воздухе рабочей зоны (ПДК<sub>р.з.</sub>) монооксида углерода 20,0 мг/м<sup>3</sup>, содержание указанного токсиканта может превышать установленный норматив. Поэтому при воздействии на спецодежду, изготовленную из указанных тканей, теплового потока, соответствующего температурам 300–350 °С, возможно выделение соединений, способных вызвать токсическое воздействие на организм человека.

Ткань из термостойкого волокна Номекс менее опасна при указанном тепловом воздействии, так как основное количество газообразных соединений выделяется при температуре 600 °С.

Анализ полученных данных показывает, что при создании пожаробезопасной спецодежды необходимо учитывать возможность теплового воздействия на материал, приводящего к термолизу полимера, сопровождающегося выделением токсичных продуктов разложения. Нормирование показателя токсичности продуктов пиролиза материалов в зависимости от действующего на спецодежду теплового потока позволит создавать экологически безопасную спецодежду.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Зубкова Н.С., Константинова Н.И.* Огнезащита текстильных материалов. – М.: Институт информационных технологий, 2008. – 228 с.
2. ГОСТ 12.1.044-89 "Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения" (п.4.20).

Статью рекомендовал к опубликованию д.т.н., профессор О.В. Попова.

**Зубкова Нина Сергеевна** – ЗАО «ФПГ Энергоконтракт»; e-mail: zubkova@energocontract.ru; 119002, г. Москва, пер. Карманицкий, 9, оф. 707; тел.: 89165134053; профессор; заместитель директора по науке.

**Нагановский Юрий Кузьмич** – ФГУ «Всероссийский научно-исследовательский институт противопожарной обороны» МЧС России; e-mail: reut11731@mail.ru; 143903, Московская область, г. Балашиха, жилой микрорайон ВНИИПО, 12; тел.: 89067512676; в.н.с.

**Zubkova Nina Sergeevna** – Energocontract JSC FPG; e-mail: zubkova@energocontract.ru; 9, Karmanitsky per. of. 707, Moscow, 119002, Russia; phone: +79165134053; professor; deputy director for science.

**Naganovsky Yuri Kuz'mich** – VNIPO of EMERCOM of Russia; e-mail: reut11731@mail.ru; 143903, Moscow region, Balashikha, residential micro district VNIPO, 12; phone: +79067512676; leading researcher.