

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДОВ ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА  
ДЛЯ ОЦЕНКИ ПОЖАРООПАСНЫХ СВОЙСТВ  
ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ ВОЛОКОН**

**USING THERMAL ANALYSIS METHODS  
TO ASSESS THE FIRE HAZARD PROPERTIES  
OF TEXTILE MATERIALS MADE OF CELLULOSE FIBERS**

*В.Г. СПИРИДОНОВА, О.Г. ЦИРКИНА, А.В. ПЕТРОВ, А.Л. НИКИФОРОВ, С.Н. УЛЬЕВА*

*V.G. SPIRIDONOVA, O.G. TSIRKINA, A.V. PETROV, A.L. NIKIFOROV, S.N. ULIEVA*

**(Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России,  
Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева)**

**(Ivanovo Fire and Rescue Academy of the State Fire Service of the Ministry of the Russian Federation for  
Civil Defense, Emergencies and Elimination of Consequences of Natural Disasters,  
Ivanovo State Agricultural Academy named after D.K. Belyaev)**

E-mail: nika.spiridonowa@yandex.ru; ogtsirkina@mail.ru; avp75@inbox.ru;  
anikiforoff@list.ru; jivotyagina@mail.ru

*Представленная работа посвящена изучению пожароопасных свойств хлопка и хлопчатобумажных тканей различной поверхностной плотности с использованием современных методов исследования. Получены и проанализированы термогравиметрические зависимости и определен кислородный индекс для указанных материалов. Показано, что толщина и поверхностная плотность хлопчатобумажного полотна оказывает непосредственное влияние на скорость его термической деструкции, значение кислородного индекса и скорость выгорания материала.*

*This paper is devoted to the study of fire-hazardous properties of cotton and cotton fabrics of various surface densities using modern research methods. Thermogravimetric dependences were obtained and analyzed, and the oxygen index for these materials was determined. It is shown that the thickness and surface density of cotton fabric directly affects the rate of its thermal destruction, the value of the oxygen.*

**Ключевые слова:** пожарная опасность, хлопок, хлопчатобумажная ткань, термический анализ, кислородный индекс.

**Keywords:** fire hazard, cotton, cotton fabric, thermal analysis, oxygen index.

Одним из важнейших критериев, определяющих возможность применения текстиля во многих отраслях промышленности, является его горючесть. Известно, что текстильные материалы чрезвычайно пожароопасны. Большинство традиционно используемых и крупнотоннажно выпускаемых материалов характеризуются легкой воспламеняемостью и высокой скоростью распространения пламени, а также токсичностью продуктов горения.

Изучение показателей пожарной опасности любого текстильного материала, с учетом их свойств и структурных особенностей, является сегодня актуальной задачей, направленной на разработку мероприятий по снижению риска возникновения пожара на предприятиях текстильного производства.

Цель работы заключалась в выявлении особенностей поведения хлопковых материалов в зависимости от степени их меха-

нической переработки – от ровницы до текстильных полотен с различной поверхностной плотностью – при термической деструкции и в процессе их пламенного горения.

В качестве объектов исследования были выбраны хлопковая ровница и суровые об-

разцы хлопчатобумажных тканей – миткаль, бязь, авизент. Основные характеристики текстильных материалов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Ткань	Основа		Уток		Поверхностная плотность ткани, г/м <sup>2</sup>	Показатель пожарной опасности
	линейная плотность пряжи, текс	волокнистый состав	линейная плотность пряжи, текс	волокнистый состав		
Миткаль	20	ХВ	20	ХВ	103	Горючий. Группа горючести ГЗ
Бязь	25	ХВ	29	ХВ	140	Горючий. Данные отсутствуют
Авизент	50	ХВ	81,3 x 3	ХВ	393	Горючий. Данные отсутствуют

Поверхностная плотность готовой ткани прямо пропорциональна линейной плотности пряжи. Наибольшую поверхностную плотность имеет авизент, а наименьшую – миткаль. Все исследованные ткани имеют одинаковый способ плетения. В соответствии со справочными данными миткаль относится к группе горючести ГЗ [1], по остальным тканям информация отсутствует.

При проведении термогравиметрического анализа (ТГА) использовались хлопчатобумажная ровница и хлопчатобумажные ткани. Экспериментально получаемая кривая зависимости изменения массы от температуры позволяет судить о термостабильности и составе образца в начальном состоянии, о характере и свойствах веществ, образующихся на промежуточных стадиях процесса, и о составе остатка [2].

Для определения кислородного индекса (КИ) использовались хлопчатобумажные ткани. Сущность метода определения кислородного индекса (КИ) заключается в нахождении минимальной концентрации кислорода в потоке кислородно-азотной смеси, при которой вертикально расположенный образец, зажигаемый сверху, способен самостоятельно гореть [3].

Использование совокупности представленных методов позволит детально изучить пожароопасные свойства материалов из

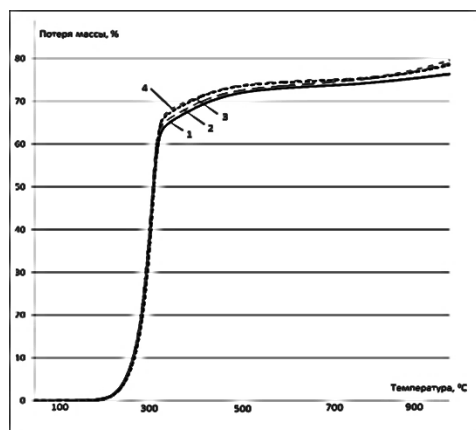
хлопковых волокон, спрогнозировать на основании полученных температурных переходов и показателей кислородного индекса поведение исследованных материалов в условиях пожара в зависимости от такого показателя, как поверхностная плотность и, соответственно, плотность материала в "пакровке" – кипе или рулоне. Полученные результаты могут быть положены в основу для создания базы данных, позволяющих оценить риски возникновения, возможные сценарии развития пожара и вероятность повторного возгорания на предприятиях текстильной и швейной промышленности, торговых площадках, а также складских комплексах хранения сырья и готовой продукции.

Исследования термического разложения хлопчатобумажных тканей миткаль, бязь, авизент проводили с использованием термического анализатора SETSYS Evolution. О термоустойчивости и составе в начальном состоянии, на промежуточных стадиях процесса и о составе остатка вещества позволяет судить термогравиметрическая зависимость. Данный метод является эффективным в том случае, если образец выделяет летучие вещества в результате протекающих в нем химико-физических процессов.

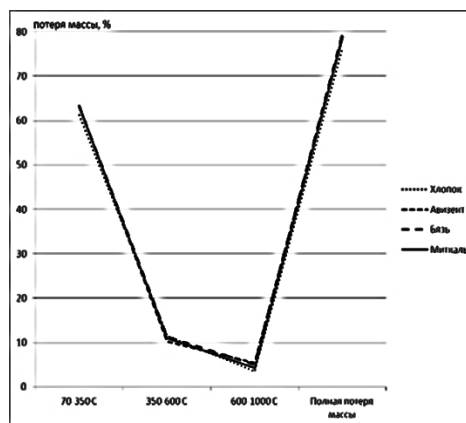
Полученные результаты по потере массы образцов (в %) в зависимости от тем-

пературы представлены на рис. 1-а, где 1 – хлопок; 2 – авизент; 3 – бязь; 4 – миткаль. На рис. 1-б представлена зависимость по-

тери массы образцов материалов в диапазонах: 70...350°C; 350...600°C; 600...1000°C до полной потери массы (в %).



а)

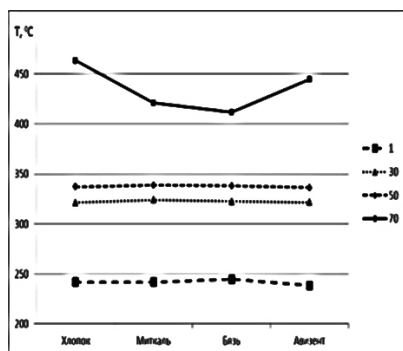


б)

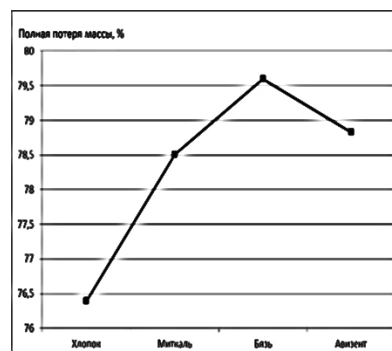
Рис. 1

Из характера кривых видно, что вне зависимости от того, волокно это или ткань, потеря массы практически одинакова для всех выбранных объектов. Точка перегиба на термогравиметрической кривой для хлопка, миткаля и авизента, наблюдается при 350°C, для бязи – при 357°C.

Из анализа хода кривых, представленных на рис. 1-а и 1-б, можно сделать вывод, что поверхностная плотность и толщина текстильного полотна не играет существенной роли при выявлении температурных переходов в полимере.



а)



б)

Рис. 2

На рис. 2-а представлены данные по температурам потери массы образцов в 1, 30, 50 и 70% для всех исследуемых видов материалов. Кривая полной потери массы (в %) в зависимости от вида материала изображена на рис. 2-б. Представленные зависимости свидетельствуют о том, что поверхностная плотность и толщина ткани играют роль при 70%-ной потере массы: чем больше толщина ткани и ее поверхностная

плотность, тем выше температура, при которой происходит 70%-ная потеря. Механическое сочетание волокнообразующего полимера и воздуха, а также массообъемные характеристики полотен – толщина и плотность – оказывают влияние на значение полной потери массы образцов.

На рис. 3 представлена зависимость температуры максимальной скорости убыли массы образцов для различных тка-

ней, отличающихся поверхностной плотностью и толщиной.

Полученные данные также свидетельствуют о том, что чем выше поверхностная плотность ткани, тем при более высоких температурах наблюдается максимальная степень деструкции хлопкового волокна. Данный факт, вероятно, может быть объяснен особенностями теплообменных процессов, протекающих в материалах, имеющих одинаковое химическое строение, но отличающихся по структуре и плотности. Тепловые эффекты, полученные в процессе термодеструкции материалов из природной целлюлозы, приведены в табл. 2.

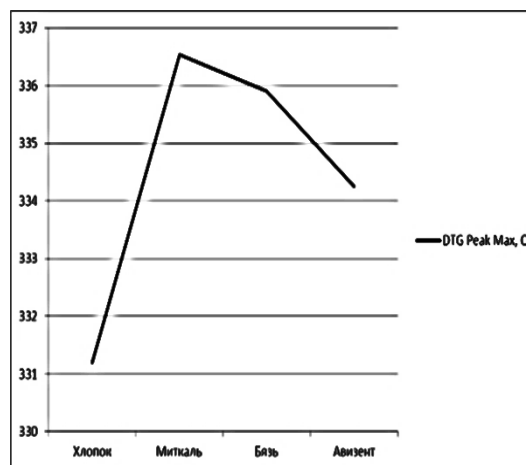


Рис. 3

Таблица 2

Число пиков	Heat, Дж/г	Peak Max	Heat, Дж/г	Peak Max
Хлопок 2	322,987 (130-355 °С)	230,224 (130-355 °С)	139,412 (355-460 °С)	379,554 (355-460 °С)
Авицент1	19,046 (300-350 °С)	331,691 (300-350 °С)		
Бязь 1	29,608 (300-350 °С)	336,695 (300-350 °С)		
Миткаль 1	29,952 (300-360 °С)	337,415 (300-360 °С)		

Испытания на определение кислородного индекса проводились в соответствии с требованиями ГОСТ 12.1.044–2018 "Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материа-

лов. Номенклатура показателей и методы их определения" [4]. В табл. 3 приведены результаты определения кислородного индекса образцов тканей.

Таблица 3

Название ткани	Значение КИ, %	Время горения после зажигания, с	Длина сгоревшей части образца, мм	Процессы, сопровождающие горение
Миткаль	18,0	90	100	Полное сгорание, падение частиц, тление
Бязь	20,4	58	100	Тление, полное сгорание, без опадения частиц
Авицент	22,0	167	100	Пламенное горение, полное сгорание, отсутствие тления и опадения частиц

По результатам исследования образцов на кислородный индекс, можно сделать вывод, что авицент является более устойчивой к действию открытого пламени тканью, так как ее кислородный индекс имеет более высокий показатель и составляет 22%. Данное явление может быть объяснено тем, что плотность крутки нитей у авицента существенно выше, чем у миткаля. Это означает, что механическая структура единичного объема рассмотренных тканей существ-

венно различается по пропорции "волоконно-образующий полимер : воздух". Объемная плотность "миткаля" при всех равных условиях будет ниже, чем у "авицента", следовательно, в структуре ткани содержится больше свободного пространства, занятого воздухом. Именно этим может быть объяснено различие в показателях КИ для тканей с различной поверхностной плотностью и одинаковым видом ткацкого переплетения.

Исходя из полученных данных, были рассчитаны скорости выгорания тканей при различных величинах кислородного индекса, приведенные в табл. 4.

Приведенная на рис. 4 гистограмма характеризует скорости выгорания материалов в зависимости от значения КИ.

Т а б л и ц а 4

Название ткани	Значение КИ, %	Количество слоев ткани	Скорость выгорания, м/с (мм/с)
Миткаль	18,0	1	0,00111 (1,11)
Бязь	20,4	1	0,00172414 (1,72)
Авизент	22,0	1	0,0005988 (0,59)



Рис. 4

В ходе проведения работы выявлено, что поверхностная плотность и толщина текстильного хлопчатобумажного материала напрямую влияет на значение кислородного индекса: чем больше поверхностная плотность и толщина, тем выше значение КИ, что можно объяснить наличием меньшего количества содержащегося в порах волокна и межволоконном пространстве воздуха. В свою очередь скорость выгорания материала аналогичным образом будет зависеть от объемных характеристик текстильных материалов, выработанных из хлопка.

## ВЫВОДЫ

1. Получены и проанализированы термодинамические зависимости и определен кислородный индекс для хлопчатобумажных тканей различной толщины и поверхностной плотности.

2. Полученные данные свидетельствуют о том, что на результаты ТГА влияет исключительно природа и состав волокнообразующего полимера. В то же время тол-

щина и поверхностная плотность каждого конкретного хлопчатобумажного полотна оказывает непосредственное влияние на скорость его термической деструкции, значение его кислородного индекса и скорость выгорания материала.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Отделка хлопчатобумажных тканей. Ч. 1. Технология и ассортимент хлопчатобумажных тканей / Под ред. Б.Н. Мельникова. – М.: Легпромбытиздат, 1991.
2. Шаталова Т.Б., Шляхтин О.А., Веряева Е. Методы термического анализа: методическая разработка. – М.: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2011.
3. Терминологический словарь одежды: ок. 2000 слов / Л.В. Орленко. – М.: Легпромбытиздат, 1996.
4. Межгосударственный стандарт ГОСТ 12.1.044–2018. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения (введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 5 октября 2018 г., № 717-ст). URL: <https://base.garant.ru/72189494/> (дата обращения 22.04.2020).

## REFERENCES

1. Otdelka khlopchatobumazhnykh tkaney. Ch. 1. Tekhnologiya i assortiment khlopchatobumazhnykh tkaney / Pod red. B.N. Mel'nikova. – M.: Legprombytizdat, 1991.
2. Shatalova T.B., Shlyakhtin O.A., Veryaeva E. Metody termicheskogo analiza: metodicheskaya razrabotka. – M.: MGU im. M.V. Lomonosova, 2011.
3. Terminologicheskiy slovar' odezhdy: ok. 2000 slov / L.V. Orlenko. – M.: Legprombytizdat, 1996.
4. Mezhgosudarstvennyy standart GOST 12.1.044–2018. Sistema standartov bezopasnosti truda. Pozharo-

vzryvoopasnost' veshchestv i materialov. Nomenklatura pokazateley i metody ikh opredeleniya (vveden v deystvie prikazom Federal'nogo agentstva po tekhnicheskomu regulirovaniyu i metrologii ot 5 oktyabrya 2018 g., № 717-st). URL: <https://base.garant.ru/72189494/> (data obrashcheniya 22.04.2020).

Рекомендована кафедрой пожарной безопасности объектов защиты Ивановской пожарно-спасательной академии ГПС МЧС России. Поступила 01.06.20.

---