

УДК 614.841

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЖАРООПАСНЫХ СВОЙСТВ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ СИНХРОННОГО ТЕРМИЧЕСКОГО АНАЛИЗА

Беззапонная Оксана Владимировна, Злобина Снежана Вадимовна,
Динисламов Марат Минирафитович, Выгузова Евгения Вячеславна

¹Уральский институт ГПС МЧС России, г. Екатеринбург, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье представлены результаты исследования полимерных материалов различной химической природы (древесина, полиэтилен, поливинилхлорид и пенополиуретан) методом синхронного термического анализа. Высокая информативность метода, позволяющего за одно испытание определить как минимум три показателя пожарной опасности, и высокая точность метода (погрешность не превышает 3 %) свидетельствуют о преимуществе метода синхронного термического анализа по сравнению с применяемыми в настоящее время стандартными методами определения показателей пожарной опасности веществ и материалов.

Рассмотрена методология определения таких показателей пожарной опасности, как температура воспламенения, температура самовоспламенения и теплота сгорания. В результате исследований установлено, что температуру воспламенения целесообразно определять по началу пика на дифференциальной термогравиметрической кривой, характеризующего процесс термоокислительной деструкции (горения) исследуемого материала. Температуру самовоспламенения определяли по температуре максимума первой производной кривой дифференциальной сканирующей калориметрии термоокислительной деструкции (горения) материала. Теплоту сгорания в среде воздуха определяли по интегральной интенсивности ДСК сигнала в температурном интервале термоокислительной деструкции исследуемых полимеров.

Анализ результатов исследований и сравнение их с данными из справочных и литературных источников свидетельствуют о возможности применения метода синхронного термического анализа для определения показателей пожарной опасности полимерных материалов.

Ключевые слова: термоокислительная деструкция полимеров, температура воспламенения, температура самовоспламенения, теплота сгорания, пожарно-техническая экспертиза

STUDY OF THE FIRE HAZARDOUS PROPERTIES OF POLYMER MATERIALS BY THE METHOD OF SYNCHRONOUS THERMAL ANALYSIS

Oksana V. Bezzaponnaya, Snezhana V. Zlobina,
Marat M. Dinislamov, Evgenia V. Vyguzova

Ural Institute of State Fire Service of EMERCOM of Russia, Yekaterinburg, Russian Federation

ABSTRACT

The article presents the results of a study of polymeric materials of various chemical nature (wood, polyethylene, polyvinyl chloride and polyurethane foam) by the method of synchronous thermal analysis. The high information content of the method, which makes it possible to determine at least three fire hazard indicators in one test, and the high accuracy of the method (the error does not exceed 3%) indicate the advantage of the synchronous thermal analysis method compared to the currently used standard methods for determining the fire hazard indicators of substances and materials.

The methodology for determining such indicators of fire hazard as the ignition temperature, autoignition temperature and combustion calorific value is considered. As a result of the research, it was found that it is advisable to determine the ignition temperature by the beginning of the peak on the differential thermogravimetric curve, which characterizes the process of thermo-oxidative destruction (combustion) of the material under study. The autoignition temperature was determined from the temperature of the maximum of the first derivative of the differential scanning calorimetry curve of the thermal-oxidative degradation (combustion) of the material. The heat of combustion in air was determined from the integral intensity of the DSC signal in the temperature range of thermal-oxidative degradation of the polymers under study. The analysis of the research results and their comparison with data from reference and literature sources indicates the possibility of using the method of synchronous thermal analysis to determine the fire hazard indicators of polymeric materials.

Keywords: thermal-oxidative destruction, ignition temperature, self-ignition temperature, combustion calorific value, fire-technical expertise

Введение

Известно, что возникновение и развитие пожара во многом определяются химической природой горючей нагрузки – горючих веществ и материалов, расположенных в помещении или на открытых площадках, а пожароопасные свойства веществ и материалов характеризуются значениями показателей их пожарной опасности. Для определения показателей пожарной опасности веществ и материалов в настоящее время в пожарно-технических исследованиях применяются методы стандартных испытаний в соответствии с ГОСТ 12.1.044–2018 «Межгосударственный стандарт. Система стандартов безопасности труда. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения». Каждый из применяемых стандартных методов испытаний позволяет определить

один показатель пожарной опасности вещества (материала). Многие из применяемых методов трудоемки, требуют продолжительного времени для их проведения, а также характеризуются низкой сходимостью и воспроизводимостью получаемых результатов испытаний и, как следствие, – высокой погрешностью (более 5 %, а зачастую и более 10 %), что недопустимо, особенно при проведении экспертных исследований при производстве пожарно-технической экспертизы.

Для оценки пожароопасных свойств различных веществ и материалов (характеристик процесса их термоокислительной деструкции) целесообразно применять метод синхронного термического анализа (СТА), что до настоящего времени практиковалось нечасто [1–3]. Применение метода СТА для решения данной задачи имеет ряд преимуществ перед другими

методами испытаний: метод СТА позволяет определить за одно испытание сразу несколько пожароопасных характеристик исследуемого материала; применение современного программного обеспечения позволяет быстро и качественно обрабатывать полученные результаты; метод характеризуется высокой сходимостью и точностью полученных результатов (погрешность не превышает 3 %). Также можно отметить высокий уровень автоматизации в управлении экспериментом и возможность накопления данных с последующим созданием банка данных информационной системы.

Несмотря на наличие достаточного объема преимуществ, метод СТА в недостаточной мере разработан: отсутствуют методики, позволяющие экспертам решать диагностические задачи при непосредственном производстве пожарно-технических экспертиз, в частности при оценке пожароопасных свойств материалов вещной обстановки пожара. В связи с этим разработка методологии оценки пожароопасных свойств материалов различной химической природы высокоточным и информативным методом СТА является актуальной задачей исследований. Безусловно, материалы различной химической природы характеризуются индивидуальными особенностями протекания процесса их термоокислительной деструкции, но общие принципы проведения испытаний материалов методом СТА и интерпретации результатов – едины.

Разработанные и действующие в настоящее время стандарты ASTM и ГОСТы для термического анализа регламентируют основные принципы проведения испытаний полимерных материалов, определение методами термического анализа таких характеристик, как температура плавления, температура кристаллизации, температура стеклования, потеря массы, теплоты плавления и кристаллизации, ки-

нетических параметров. При этом отсутствуют методики определения таких важных показателей пожарной опасности, как температура воспламенения, температура самовоспламенения, кислородный индекс, теплота горения, температура тления и другие.

В настоящее время накоплен уже значительный экспериментальный материал исследования данным методом процесса термоокислительной деструкции различных материалов [1–12], что весьма ценно как при проведении экспертизы пожаров, так и для научно-методологических разработок. В литературных источниках [2, 4, 6] рассмотрены различные подходы к определению термоаналитических параметров, характеризующих пожароопасные свойства веществ и материалов. В работах [5, 6, 8, 9, 12] рассмотрены примеры применения методов ТА для решения различных задач пожарно-технической экспертизы. Рассмотрим возможности метода СТА для определения таких важных показателей пожарной опасности как температура воспламенения, температура самовоспламенения и теплота сгорания полимерных материалов, которые в большей степени составляют горючую нагрузку в современных жилых зданиях и характеризуются высокой пожарной опасностью.

Материалы и методы

Объектами исследований выбраны твердые полимерные материалы природного и синтетического происхождения различной химической природы: древесина – один из самых распространенных строительных материалов; пенополиуретан (ППУ) или поролон, применяемый для набивки мягкой мебели; полиэтилен (ПЭ), из которого изготавливают трубы, поливинилхлорид, применяемый при производстве линолеума и изоляции электропроводки.

Исследования проводили методом синхронного термического анализа на приборе Netzsch STA 449 F5 Jupiter (рис. 1), прошедшего предварительно поверку.

Для испытаний готовились образцы полимерных материалов массой 6–7 мг. Испытания образцов полимерных материалов проводились при следующих условиях:



Рис. 1. Прибор синхронного термического анализа Netzsch STA 449 F5 Jupiter®
Fig. 1. Synchronous thermal analysis instrument Netzsch STA 449 F5 Jupiter®

– исходная температура: 25°C;
– конечная температура: 900°C;
– скорость нагрева: 20°C/мин;
– среда: воздух (20 % кислорода и 80 % азота);
– расход продувочного газа: 75 мл/мин;
– материал тигля: корунд (Al₂O₃).

При проведении испытаний фиксировались следующие термоаналитические зависимости: термогравиметрическая (ТГ) кривая; дифференциальная термогра-

виметрическая (ДТГ) кривая; дифференциально-сканирующая калориметрическая (ДСК) кривая.

Результаты исследований и их обсуждение

Термограмма древесины сосны в окислительной среде воздуха представлена на рис. 2.

На представленной термограмме по ТГ кривой наблюдается значительная потеря массы в интервале температур 240–530°C. Начало разложения материала обычно фиксируют по резкому снижению массы на ТГ кривой (по точке пересечения касательной, проведенной в точке

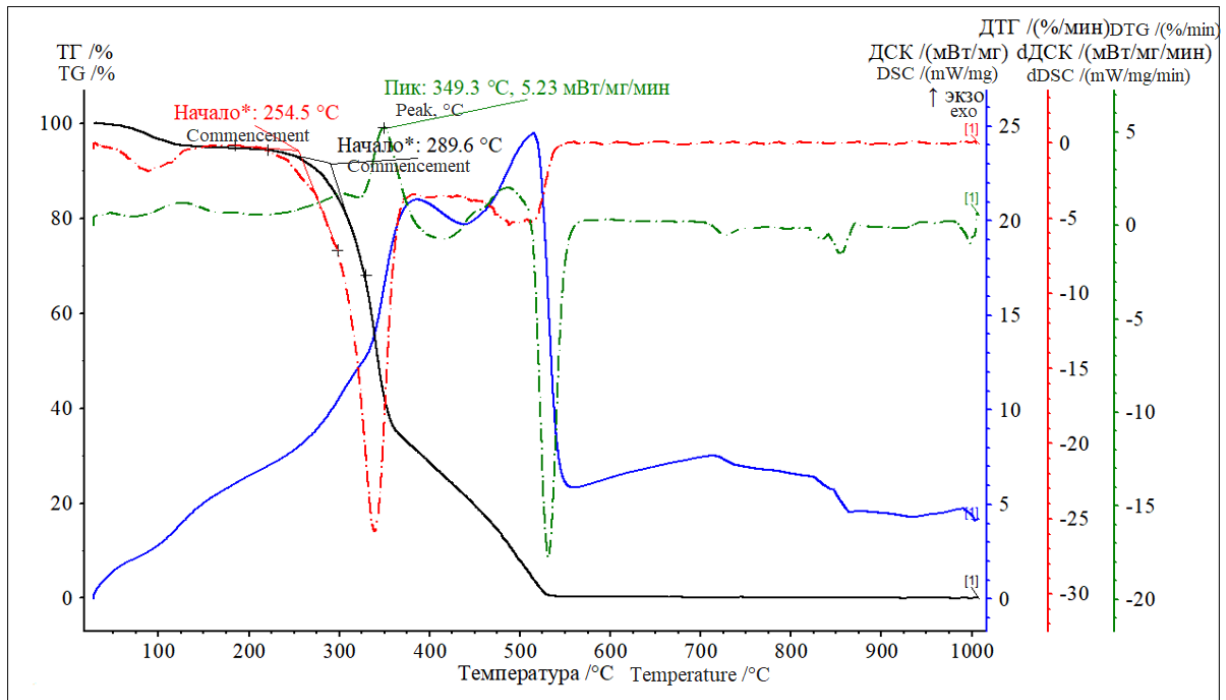


Рис. 2. Термограмма древесины сосны в окислительной среде воздуха

Fig. 2. Thermogram of pine wood in an oxidizing air environment

перегиба, характеризующей степень разложения, с горизонтальной нулевой линией на кривой ТГ). Данную температуру принимают за температуру воспламенения материала при условии наличия тепловыделения в рассматриваемом температурном интервале за счет термоокислительной деструкции материала. В случае древесины сосны эта температура составила 289,6°C. В соответствии с [13] температура воспламенения древесины сосны составляет 250°C. По мнению авторов статьи, ДТГ кривая (кривая первой производной ТГ кривой) более чувствительна к изменению массы и точнее фиксирует даже малейшие изменения, происходящие с испытуемым образцом материала при воздействии на него высоких температур, то есть обеспечивает объективное определение температуры начала разложения исследуемого материала. Анализ ДТГ кривой показал, что разложение древесины с выделением горючих и негорючих газов начинается уже при температуре 254,5°C (температуре начала пика на ДТГ

кривой). Сопоставление результатов термического анализа и результатов испытаний, представленных в справочной литературе [13], полученных стандартными методами, подтверждает гипотезу, что за температуру воспламенения целесообразно принимать температуру начала интенсивности потери массы на ДТГ кривой. Полученное значение температуры воспламенения древесины сосны составило 254,5 °С, что удовлетворительно согласуется со справочными данными [13], полученными стандартным методом.

Рассмотрим определение методом СТА такого важного показателя пожарной опасности веществ и материалов, как температура самовоспламенения. В литературных источниках [2] за температуру самовоспламенения исследуемых материалов принимают точку перегиба экзотермического пика на ДСК кривой, которую определяют с помощью проведения касательных к базовой линии и к стороне ДСК пика и нахождения середины отрезка, соединяющего точки пересечения касательных. Современное программное обеспечение

метода СТА (Proteus Thermal Analysis) позволяет более точно определить точку перегиба на ДСК кривой с использованием приема дифференцирования ДСК кривой. При этом температура самовоспламенения соответствует температуре максимума на кривой dДСК (производной ДСК сигнала). Прием дифференцирования кривой ДСК сигнала позволяет определить экстремум на кривой, характеризующий изменение теплового потока при исследовании самоподдерживающегося экзотермического процесса. Для древесины сосны температура самовоспламенения составила 349,3°C, что также удовлетворительно согласуется с данными из справочной литературы [13].

Теплоту сгорания древесины берёзы определяли по площади экзотермического пика на ДСК кривой. Учитывая, что данный экзотермический эффект отсутствует на ДСК кривой при испытаниях в инертной среде, можно утверждать, что

данный экзотермический эффект обусловлен именно процессом термоокислительной деструкции материала или горением. Теплота сгорания древесины сосны составила 11 177,0 Дж/г. Величина теплового эффекта выше 2000 Дж/г, что свидетельствует о достаточно высокой горючести исследуемого материала.

Аналогичным образом определялись значения показателей пожарной опасности синтетических полимеров: полиэтилена (ПЭ) высокого давления, характеризующегося высокой степенью кристалличности, поливинилхлорида (ПВХ) и пенополиуретана (ППУ). Термограммы полимеров, полученные в атмосфере воздуха при скорости нагрева 20°C/мин, представлены на рис. 3–5, а результаты, полученные после обработки термоаналитических кривых с помощью программного обеспечения Proteus Thermal Analysis, представлены в таблице 1.

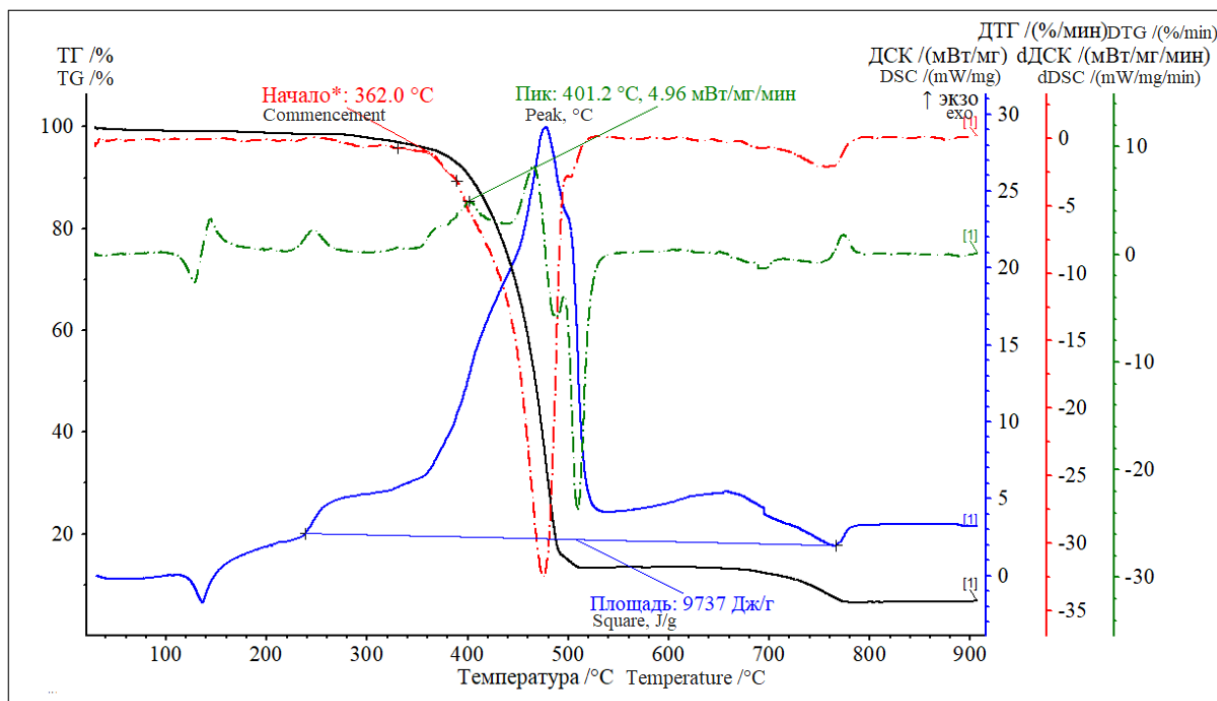


Рис. 3. Термограмма полиэтилена в окислительной среде воздуха

Fig. 3. Thermogram of polyethylene in an oxidizing air environment

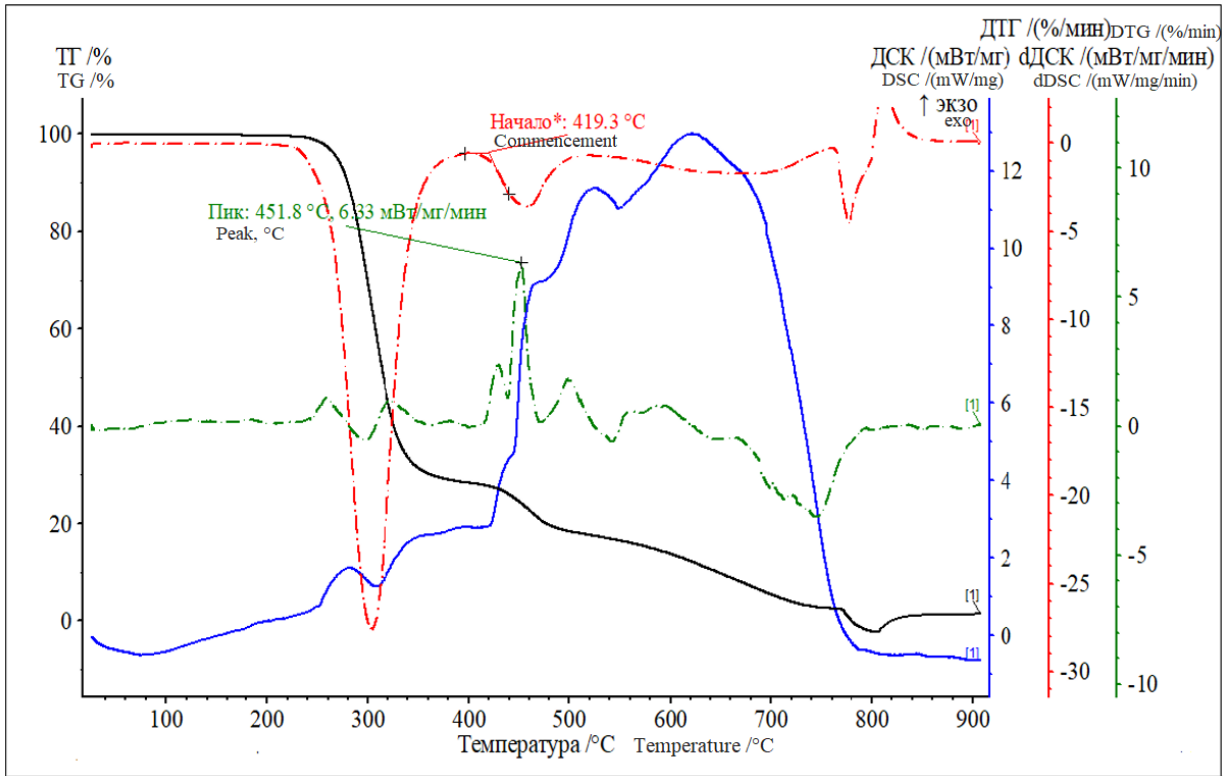


Рис. 4. Термограмма ПВХ в окислительной среде воздуха

Fig. 4. Thermogram of PVC in an oxidizing air environment

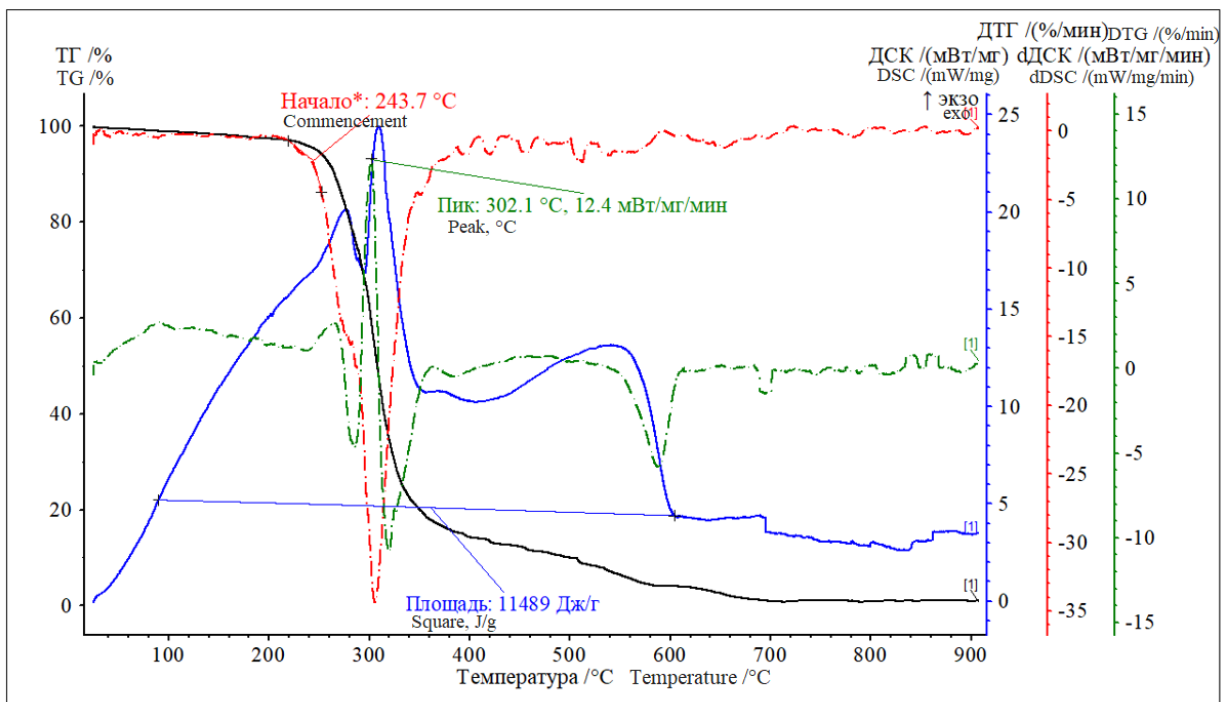


Рис. 5. Термограмма ППУ в окислительной среде воздуха

Fig. 5. PPU thermogram in an oxidizing air environment

Таблица 1.

Показатели пожарной опасности исследуемых полимерных материалов

Table 1.
Fire hazard indicators of the investigated polymeric materials

Исследуемый материал Material under study According to	Температура воспламенения, T_b , °C Ignition temperature, T_{ign} , °C		Температура самовоспламенения, $T_{свп}$, °C Autoignition temperature, T_{autign} , °C		Теплота сгорания в среде воздуха, Q , Дж/г The heat of combustion in air, Q , J/g	
	Эксперимент Experiment	По данным [13–15] According to [13–15]	Эксперимент Experiment	По данным [13–15] According to [13–15]	Эксперимент Experiment	По данным лит. ист According to [13–15]
Древесина сосны Pine wood	254,5	230–260	349,3	350–390	11 177	–
Полиэтилен Polyethylene	362,0	341–357	401,2	349–417	9 737	–
Поливинилхлорид PVC	419,3	355–391	451,8	440–454	8 595	–
Пенополиуретан PPU	243,7	225	302,1	390–450	11 489	–

Можно заметить, что в таблице не приведена теплота сгорания полимерных материалов из литературных источников. Это обусловлено тем, что определение теплоты сгорания проводится методом калориметрической кислородной бомбы в атмосфере чистого кислорода, в отличие от результатов исследований методом СТА, где теплота сгорания определялась в атмосфере воздуха, что наиболее приближено к реальным условиям пожара. Естественно, что значения теплоты сгорания, полученные в атмосфере кислорода, значительно выше, чем в атмосфере воздуха, и проводить сравнение этих значений не корректно. Также надо отметить широкий диапазон разброса значений температуры воспламенения и температуры самовоспламенения из литературных источников [13–15]. Причина столь широкого расхождения результатов обусловлена не только низкой воспроизводимостью результатов исследований, но и чистотой исследуемых полимерных

материалов, так как очень часто производители полимеров используют различные добавки и стабилизаторы, улучшающие эксплуатационные свойства полимеров, что и приводит к расхождениям в результатах испытаний. Ввиду очень широкого разброса данных из литературных источников оценить степень расхождения результатов исследований методом СТА и данных из литературных источников не представляется возможным.

Анализ полученных показателей пожарной опасности исследуемых материалов свидетельствует об их высокой пожарной опасности. По всем показателям наибольшей пожарной опасностью характеризуются ППУ и древесина. С учетом способности исследуемых термопластичных полимеров (ПЭ, ПВХ, ППУ) при воздействии высоких температур плавиться, растекаться, гореть и капать с формированием вторичных очагов пожара, а также выделять большое количество токсичных газов, пожарная опасность данных материалов еще более возрастает.

Выводы

Анализ полученных результатов и сравнение их со значениями, приводимыми в литературных источниках, позволил прийти к выводу:

– температуру воспламенения целесообразно определять по началу ДТГ пика, характеризующего процесс термоокислительной деструкции (горения) исследуемого материала;

– температуру самовоспламенения – по температуре максимума dДСК кривой термоокислительной деструкции (горения) материала;

– теплоту сгорания в среде воздуха – по интегральной интенсивности ДСК сигнала в температурном интервале термоокислительной деструкции исследуемого материала.

Полученные значения показателей пожарной опасности неплохо согласуются с данными из литературных источников, однако ввиду очень широкого разброса данных из литературных источников, оценить степень расхождения результатов исследований методом СТА и данных из литературных источников не представлялось возможным.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Смирнов Н. В. Прогнозирование пожарной опасности строительных материалов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. М., 2002. 39 с.
2. Мироньев А. В. Исследование пожарной опасности строительных материалов с помощью методов термического анализа: автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб, 2007. 22 с.
3. Молчадский О. И. Прогноз пожарной опасности строительных материалов при использовании методов термического анализа: автореф. дис. ... канд. техн. наук. М., 2001. 22 с.
4. Исследование пожарной опасности древесины различных пород методами термического анализа / О. В. Беззапонная и др. // Техносферная безопасность. 2021. № 3 (32). С. 43–50.
5. Применение термического анализа при исследовании и экспертизе пожаров: методическое пособие / Е. Д. Андреева и др. М., 2012. 60 с.
6. Беззапонная О. В., Лузина М. Д., Динисламов М. М. Применение метода синхронного термического анализа для оценки горючести веществ и материалов // Техносферная безопасность. 2022. № 4 (37). С. 127–140.
7. Fateh, T., Richard, F., Rogaume, T., Joseph, P. Experimental and modelling studies on the kinetics and mechanisms of thermal degradation of polymethyl methacrylate in nitrogen and air. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 120. 2016. P. 423-433. doi.org/10.1016/j.jaap.2016.06.014
8. Чешко И. Д., Принцева М. Ю., Лобанова О. В. Инструментальные методы в современной пожарно-технической экспертизе // Надзорная деятельность и судебная экспертиза в системе безопасности. 2020. № 4. С. 29–41.
9. Беззапонная О. В., Хабибова К. И. Применение метода термического анализа при идентификации термопластов и реактопластов в рамках пожарно-технической экспертизы // Техносферная безопасность. 2022. № 1 (34). С. 85–91.
10. D. Hohenwarter, H. Mattausch, C. Fischer, M. Berge, B. Haar Analysis of the Fire Behavior of Polymers (PP, PA 6 and PE-LD) and their Improvement Using Various Flame Retardants // *Materials* 2020, 13, 5756; doi:10.3390/ma13245756;
11. Представительство NETZSCH-GERAETEBAU GMBH в России. Применение методов термического анализа для прогнозирования с помощью специализированного программного обеспечения // Пластические массы. 2010. № 2. С. 2–6.
12. Беззапонная О. В. Изучение особенностей развития пожара с использованием метода синхронного термического анализа // *Пожаровзрывобезопасность*. 2022. Т. 31, № 5. С. 26–32.
13. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения. Справочник в 2 ч. М., 2004. Ч. 1. 713 с; Ч. 2. 774 с.
14. Абдулалиев Ф.А., Лебедев А.Ю., Цанг Д.А. Исследование пожарной опасности полимерных композиционных материалов // *Научно-аналитический журнал «Вестник Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС России им. Героя Российской Федерации генерала армии Е.Н. Зиничева*. 2015. №2. С. 38-48.

15. Q&As Concerning Fire of Flexible Polyurethane Foams: Hazards and Prevention «For Houses and Buildings» : Translation into English by JUII Technology and Safety Committee Fire Safety Working Group 2010 Japan Urethane Industries Institute May 2010 – 35 p.

REFERENCES

1. Smirnov N.V. Forecasting the fire hazard of building materials: Abstract of the thesis. ... doctor of tech. Sciences: 05.26.03 «Fire and industrial safety» (construction) / Vseros. scientific research in-t fire prevention. Defense Ministry of Internal Affairs of Russia. Moscow, 2002; 39. (rus).
2. Mironchev A.V. Investigation of the fire hazard of building materials using thermal analysis methods: Ph.D. dis. ... cand. those. Sciences: 05.26.03 / Mironchev Alexey Vladimirovich. St. Petersburg, 2007; 22. (rus).
3. Molchadsky O.I. Forecast of the fire hazard of building materials when using thermal analysis methods: Abstract of the thesis. ... candidate of technical sciences: 05.26.03 / Vseros. scientific research in-t fire prevention. Defense Ministry of Internal Affairs of Russia. Moscow, 2001; 22. (rus).
4. Bezzaponnaya O.V., Krasilnikova M.A., Evseenkova A.S., Glukhikh P.A., Makarkin S.V. Investigation of the fire hazard of wood of various breeds using thermal analysis methods. *Technosphere safety*. 2021; 3(32):43–50. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46710992> (rus).
5. Andreeva E.D., Princeva M.Yu., Kondratiev S.A., Cheshko I.D. The use of thermal analysis in the study and examination of fires: Methodological guide. Moscow, VNIPO, 2012; 60. (rus).
6. Bezzaponnaya O.V., Luzina M.D., Dinislamov M.M. Application of the method of synchronous thermal analysis to assess the combustibility of substances and materials. *Technosphere safety*. 2022; 4(37):127–140. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50105539> (rus).
7. Fateh T., Richard F., Rogaume T., Joseph P. Experimental and modelling studies on the kinetics and mechanisms of thermal degradation of polymethyl methacrylate in nitrogen and air. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 120. 2016; 423–433. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2016.06.014>
8. Cheshko I. D., Printseva M. Yu., Lobanova O. V. Instrumental methods in modern fire-technical expertise. Supervisory activity and forensic expertise in the security system. 2020; 4:29–41. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44430192> (rus).
9. Bezzaponnaya O.V., Khabibova K.I. Application of the thermal analysis method in the identification of thermoplastics and thermosets in the framework of fire-technical expertise // *Technosphere safety*. 2022; 1(34): 85–91. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48167930> (rus).
10. Hohenwarter D., Mattausch H., Fischer C., Berge M., Haar B. Analysis of the Fire Behavior of Polymers (PP, PA 6 and PE-LD) and their Improvement Using Various Flame Retardants. *Materials*. 2020; 13:5756; URL: DOI: 10.3390/ma13245756
11. Representative office of NETZSCH-GERAETEBAU GMBH in Russia. Application of thermal analysis methods for forecasting using specialized software. *Plastic masses*. 2010; 2:2–6. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13077944> (rus).
12. Bezzaponnaya O.V. Study of fire development features using the method of synchronous thermal analysis. *Pozharovzryvobezopasnost'/Fire and Explosion Safety*. 2022; 31(5):26–32. URL: <https://doi.org/10.22227/0869-7493.2022.31.05.26-32> (rus).
13. Korolchenko A.Ya., Korolchenko D.A. Fire and explosion hazard of substances and materials and means of extinguishing them. Reference book: in 2 parts. Moscow, Ass «Pozhnauka», 2004. (rus).
14. Abdulaliev F.A., Lebedev A.Yu., Tsang D.A. Study of the fire hazard of polymer composite materials. *Scientific and analytical journal "Bulletin of the St. Petersburg University of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia named after. Hero of the Russian Federation General of the Army E.N. Zinichev*. 2015; 2:38–48. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=ugydzb> (rus).
15. Q&As Concerning Fire of Flexible Polyurethane Foams: Hazards and Prevention «For Houses and Buildings»: Translation into English by JUII Technology and Safety Committee Fire Safety Working Group 2010 Japan Urethane Industries Institute. May 2010; 35. URL: <http://www.urethane-jp.org/topics/doc/QA>

Информация об авторах

Беззапонная Оксана Владимировна, кандидат технических наук, доцент, Почетный работник науки и высоких технологий РФ, профессор кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Уральского института ГПС МЧС России, Россия, 620062; г. Екатеринбург, улица Мира, 22. ORCID 0000-0001-6566-448X; WOS Research ID R-8727-2019; Scopus Author ID 6504618195; ID РИНЦ 119257;

e-mail: bezzaponnay@mail.ru

Злобина Снежана Вадимовна, студент факультета управления и комплексной безопасности Уральского института ГПС МЧС России, Россия, 620062; г. Екатеринбург, улица Мира, 22.

e-mail: snezhana.zlobina.18@mail.ru

Динисламов Марат Минирафитович, магистрант факультета заочного обучения и переподготовки кадров Уральского института ГПС МЧС России, Россия, 620062; г. Екатеринбург, улица Мира, 22.

e-mail: ogpn_salavat@mail.ru

Выгузова Евгения Вячеславна, кандидат педагогических наук, доцент, доцент кафедры криминалистики и инженерно-технических экспертиз Уральского института ГПС МЧС России, Россия, 620062; г. Екатеринбург, улица Мира, 22; AuthorID: 843290;

e-mail: e.wigusova@mail.ru

Information about the authors

Oksana V. Bezzaponnaya, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Honorary Worker of Science and High Technologies of the Russian Federation, Professor of the Department of Criminalistics and Engineering and Technical Expertise of the Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; ORCID 0000-0001-6566-448X; WOS Research ID R-8727-2019; Scopus Author ID 6504618195; ID RSCI 119257;

e-mail: bezzaponnay@mail.ru

Snezhana V. Zlobina, student of the Faculty of Management and Integrated Security of the Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation;

e-mail: snezhana.zlobina.18@mail.ru

Marat M. Dinislamov, master student of the Faculty of Correspondence Education and Retraining of Personnel of the Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation;

e-mail: ogpn_salavat@mail.ru

Evgenia V. Vyguzova, Cand. Sci (Pedagogical), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forensic Science and Engineering and Technical Expertise of the Ural Institute of the State Fire Service of the Ministry of Emergency Situations of Russia, Mira St., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation; AuthorID: 843290;

e-mail: e.wigusova@mail.ru