

С. Л. БАРБОТЬКО, канд. техн. наук, начальник лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17; e-mail: slbarbotko@yandex.ru)

О. С. ВОЛЬНЫЙ, ведущий инженер лаборатории "Исследование неметаллических материалов на климатическую, микробиологическую стойкость и пожаробезопасность", Всероссийский научно-исследовательский институт авиационных материалов (ВИАМ), ГНЦ РФ (Россия, 105005, г. Москва, ул. Радио, 17)

УДК 641.841

ОЦЕНКА ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ПРИ ГОРЕНИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ

Проанализированы методы оценки тепловыделения при горении полимерных материалов; выбран метод испытаний. Определены характеристики тепловыделения при горении различных типов электрических проводов. В качестве испытательного оборудования выбран проточный калориметр типа OSU (ASTM E906), используемый при оценке пожарной опасности материалов авиационного назначения. Представлены результаты испытаний. Показано влияние различных составляющих на регистрируемые показатели. Описаны подходы к возможной оценке пожарной опасности электрических проводов и кабелей по характеристикам тепловыделения.

Ключевые слова: тепловыделение; провод; пожарная безопасность; проточный калориметр; кабель.

DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.35-44

Введение

Исследование пожарной опасности материалов является важнейшей задачей в области обеспечения безопасности людей. С этой целью разработана специальная программа создания новых материалов и развития технологий [1–3].

Одним из показателей пожарной опасности, наряду с характеристиками воспламеняемости, распространения пламени, дымообразующей способности и токсичности продуктов горения, является тепловыделение при горении. За последние три десятилетия исследованию выделения тепла при горении полимерных материалов посвящено немало работ, как зарубежных, так и отечественных, например [4–35].

Характеристики тепловыделения включены в качестве нормируемых показателей в ряд стандартов на материалы и элементы конструкций для различных отраслей промышленности (ASTM E906M-10, ASTM E1354-11b, ISO 13927:2003, ASTM D7309-11, ASTM E1474-10, ASTM E1740-10, ASTM E1623-11, ISO/TR 14696:1999, ASTM E2067-08, MIL-STD-2202). Оценка интенсивности выделения тепла проводится и при горении электрических проводов [36].

Однако в России характеристики тепловыделения материалов включены в качестве обязательных

в нормативные документы только в сфере авиационного назначения [37], для других отраслей оценка кинетики тепловыделения в настоящее время не нормируется.

Показатели тепловыделения при заданной величине внешнего падающего теплового потока (максимальная интенсивность выделения тепла, общее количество выделившегося тепла за заданный интервал времени, время начала положительного выделения тепла, время наступления максимума тепловыделения и др.) позволяют получать большой объем информации о процессе горения испытываемого образца.

Материалы, оборудование и методика проведения испытаний

Оценка количества выделяющегося при горении тепла может быть выполнена различными методами. Так как характеристика тепловыделения при горении не является фундаментальной физической величиной, ее значение зависит от метода определения. Сопоставление различных методов оценки выделения тепла при горении приведено, например, в [38].

Во-первых, теплоту сгорания можно определить экспериментально (например, методом бомбовой калориметрии по ГОСТ 147–2013, ISO 1716:2002, NF P92-510) или рассчитать исходя из химического

состава (на основании закона Гесса, формул Менделеева или Коновалова–Хандрика [39, 40]). Однако метод бомбовой калориметрии предусматривает полное (100 %) сгорание материала до стандартных продуктов — полных оксидов (H_2O , CO_2), азота, галогенводородов; после испытания не должно оставаться коксового слоя или сажевых частиц. Кроме того, этот метод не позволяет определять кинетику скорости выделения тепла при заданной интенсивности теплового потока.

Для практической оценки пожарной опасности материалов и элементов изделий, позволяющей оценивать и прогнозировать скорость развития очага пожара, наибольший интерес представляют методы измерения кинетики тепловыделения при их горении под воздействием внешнего теплового потока.

Для оценки кинетики выделения тепла при горении в настоящее время наиболее широко используются три типа приборов: конусный калориметр, работающий по принципу потребления кислорода (cone-calorimeter) (ASTM E1354); проточный калориметр, работающий по термопарному методу (OSU-calorimeter) (ASTM E906); микрокалориметр сжигания (Microscale Combustion Calorimetry) (ASTM D7309). Последний используется для оценки характеристик микронавесок материалов (не более 500 мг), но не позволяет исследовать влияние структуры материала или элемента изделия на кинетику процессов горения и тепловыделения.

В последние годы в научной практике наиболее широко используется конусный калориметр, однако исследователи при сопоставлении результатов не всегда отдают себе отчет в том, что при этом возможны погрешности определения теплоты горения, обусловленные используемым принципом определения количества выделившегося тепла. Принцип потребления кислорода основан на предположении о выделении одинакового количества тепла при известном потреблении кислорода. Так как измерить количество атомов (молей) кислорода до процесса горения и после него в настоящее время невозможно, концентрацию кислорода определяют в отходящих дымовых газах. Поскольку изначально прибор при оценке даже чистых полимеров давал большие ошибки, с целью снижения этих погрешностей в его конструкцию дополнительно вносятся изменения: либо устанавливаются датчики измерения концентраций воды, углекислого и угарного газов (которые учитываются при расчете количества выделившегося тепла), либо перед анализатором кислорода отбираемая газовая проба очищается от указанных газов. Данный тип прибора не может учитывать тепловые эффекты в материале, которые не сопровождаются изменением концентрации кислорода. Принцип потребления кислорода неприменим в случае исполь-

зования веществ, изменяющих полноту сгорания, теплоту прогрева или термодеструкции полимеров (эндо- или экзотермические реакции термодеструкции или изменения агрегатного состояния). Если состав газообразных продуктов горения отличается от эталонного, то при горении выделяются в газовую фазу вещества, приводящие к резкому уменьшению концентрации кислорода (разбавители газовой смеси) либо увеличению концентрации воды или углекислого газа, которые образовались не в результате реакций горения (потребления кислорода). Таким образом, при испытании, например, воды прибор, работающий по методу потребления кислорода, покажет не отрицательное тепловыделение (эндотермическая реакция изменения агрегатного состояния — переход воды из жидкого состояния в пар), а положительное (так как происходит снижение концентрации кислорода за счет разбавления проходящего воздуха парами воды) или нулевое. Аналогичные ошибки могут быть и при использовании в качестве антипиренов гидроксидов или карбонатов металлов ($\text{Al}(\text{OH})_3$, $\text{Mg}(\text{OH})_2$, NaHCO_3 и др.).

Применяемый термопарный метод является более старым и тоже не лишен недостатков (тепловая инерция оборудования; отличие теплоемкости дымовых газов, образующихся при горении исследуемого материала, от теплоемкости дымовых газов, образующихся при калибровке оборудования). Вследствие этого прибор не дает абсолютно правильных значений интенсивности выделения тепла, но позволяет адекватно сравнивать между собой материалы различной химической природы, в том числе имеющие в своем составе любые антипирены. Именно этот тип прибора включен в авиационные нормы для квалификационных испытаний материалов авиационного назначения [37].

Проточный калориметр, работающий по термопарному методу (типа OSU), в течение 20 лет используется в ФГУП ВИАМ для проведения исследований материалов и квалификационной оценки типовых элементов конструкций отделки интерьера пассажирских кабин авиационной техники. За этот период сотрудниками накоплен большой опыт проведения испытаний, поэтому при оценке тепловыделения при горении образцов электрокабельной промышленности было решено использовать этот тип испытательного оборудования. Подробное описание оборудования, применяемого в испытаниях, и процедур их проведения дано в [37].

В зависимости от условий испытаний, размеров очага пожара, типа горючего материала могут создаваться различные по величине тепловые потоки [41, 42]. Считается, что тепловой поток, падающий на образец при среднем пожаре, составляет 35 кВт/м^2 , поэтому именно это значение принято в качестве

Данные по тепловыделению при горении электрических кабелей с изоляцией различного химического состава

Марка	ПВС (ПК)	ПВС (МКМ)	АВВГ (ож)	ВВГ	ВВГнг-П (ож)	ВВГнг-LS	SiHF
Количество жил и их сечение	2×1,5	3×2,5	2×6	3×4	3×1,5	3×2,5	2×2,5
Диаметр кабеля, мм	7,8	10,1	6	10,6	5,5	10,2	9,1
Цвет оболочки кабеля	Белый	Белый	Черный	Черный	Черный	Черный	Красный
Страна-изготовитель	Россия	Россия	Россия	Россия	Россия	Россия	Германия
Масса образца до испытания, г	125	238,55	138,06	292,05	201,45	258,62	206,09
Масса образца после испытания, г	56,5	139,73	69,91	201,83	131,37	182,58	187,53
Тепловыделение:							
<i>Экспериментальные данные:</i>							
MHRR, кВт/м ²	116	138	131	141	95	125	67
Время достижения максимума тепловыделения, с	146	234	167	211	191	276	300
THR1, кВт·мин/м ²	35,1	36,2	28,8	37,4	16,5	9,3	–6,2
THR2, кВт·мин/м ²	121,8	126	101,5	126,4	72,1	62,6	–11,8
THR5, кВт·мин/м ²	401,5	472,8	392,6	467,8	306,7	329,6	50,8
<i>Рассчитанные значения:</i>							
Максимальная интенсивность (пик), кВт/100 м	174	207	197	212	143	188	101
Максимальная интенсивность (пик), кВт/м ²	71	65	104	64	83	59	35
Максимальная интенсивность (пик), кВт/кг кабеля	20,9	13,0	21,3	10,9	10,6	10,9	7,3
Общее тепловыделение за 1 мин, МДж/100 м	3,2	3,3	2,6	3,4	1,5	0,8	–0,6
Общее тепловыделение за 2 мин, МДж/100 м	11,0	11,3	9,1	11,4	6,5	5,6	–1,1
Общее тепловыделение за 5 мин, МДж/100 м	36,1	42,6	35,3	42,1	27,6	29,7	4,6

величины стандартного теплового потока при проведении испытаний материалов авиационного назначения.

При проведении стандартных испытаний на проточном OSU-калориметре используются держатели, обеспечивающие экспозицию образцов размером 150×150 мм. С помощью программного обеспечения оборудования производится автоматический расчет интенсивности выделения тепла и общего количества выделившегося тепла, приходящегося на 1 м² поверхности испытываемого материала.

В настоящей работе с целью обеспечения сопоставимости результатов для испытаний были изготовлены образцы, представляющие собой 10 отрезков провода длиной по 150 мм, т. е. каждый испытуемый образец имел общую длину 1,5 м. Таким образом, полученные результаты испытаний относятся к пожарной нагрузке, равной 66,6 м кабеля на 1 м² поверхности, и в дальнейшем могут быть пересчитаны на другие величины.

Согласно требованиям нормативных документов для авиационной промышленности [37] при прове-

дении испытаний определяются следующие параметры: максимальная скорость (интенсивность) выделения тепла за 5-минутный период испытания (пик, MHRR) (кВт/м²) и общее количество тепла, выделившегося при горении за первые 2 мин испытания (THR2) (кВт·мин/м² *). При необходимости продолжительность эксперимента может быть изменена и определено общее количество тепла, выделившегося за любой заданный промежуток времени, например за 1, 3 или 5 мин (THR1, THR3, THR5).

В качестве образцов для исследований были выбраны марки электрических проводов, имеющих оболочки и изоляцию различных видов: на основе ПВХ-пластиков, поливинилового и кремнийорганического полимера (см. таблицу).

Испытания проводили при следующих условиях:

- падающий на образец тепловой поток — 35 кВт/м²;
- продолжительность эксперимента — 5 мин;
- размер (длина) образца — 1,5 м (10×0,15 м);

* 1 кВт·мин/м² = 0,06 МДж/м².

- осуществление первоначального воспламенения образцов от пламени пилотной горелки.

Результаты и их обсуждение

Внешний вид образцов электрокабелей в исходном состоянии и после испытания на тепловыделение представлен на рис. 1–7. Обобщенные результаты испытаний приведены в таблице. Так как полученные экспериментальные данные относятся к условной площади образца (1 м^2 поверхности, на которой расположено 66,6 м кабеля), результаты пересчитывали на тепловыделение кабелем длиной 100 м (максимальная интенсивность и общее количество

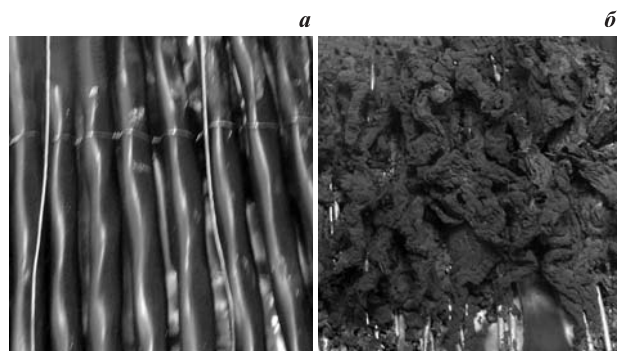


Рис. 1. Внешний вид образцов электрокабеля ВВГ 3×4 до испытаний на тепловыделение (а) и после них (б)

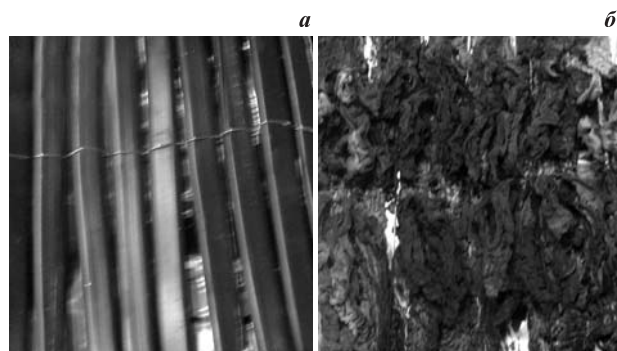


Рис. 2. Внешний вид образцов электрокабеля ВВГнг-П (ож) до испытаний на тепловыделение (а) и после них (б)

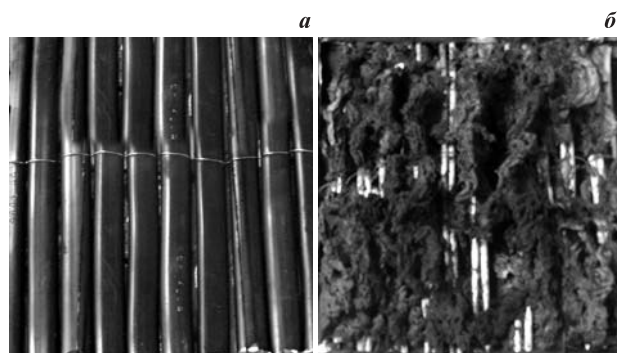


Рис. 3. Внешний вид образцов электрокабеля АВВГ (ож) до испытаний на тепловыделение (а) и после них (б)

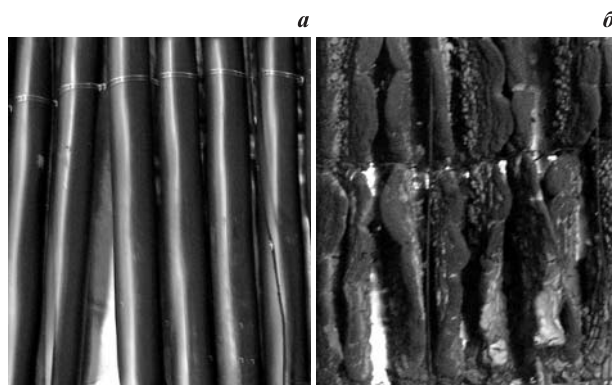


Рис. 4. Внешний вид образцов электрокабеля ВВГнг-LS до испытаний на тепловыделение (а) и после них (б)

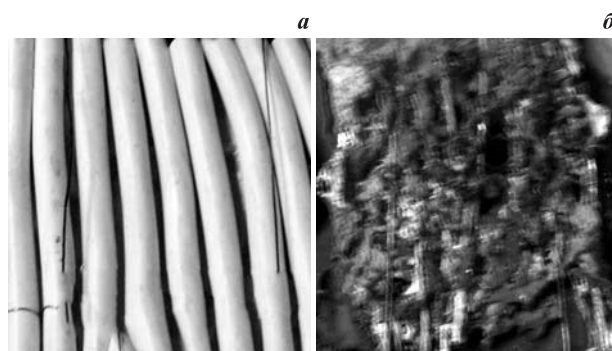


Рис. 5. Внешний вид образцов электрокабеля ПВХ (ПК) до испытаний на тепловыделение (а) и после них (б)

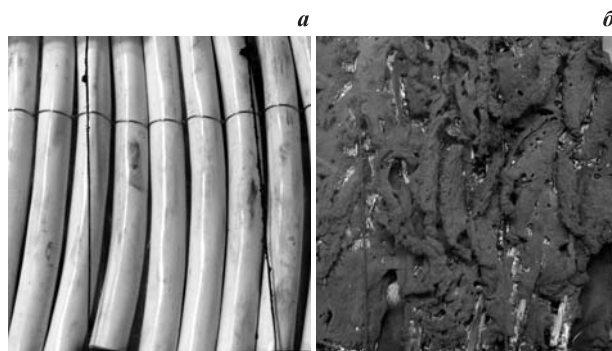


Рис. 6. Внешний вид образцов электрокабеля ПВХ (МКМ) до испытаний на тепловыделение (а) и после них (б)

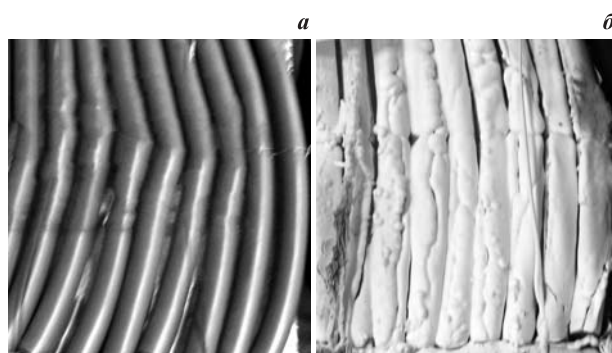


Рис. 7. Внешний вид образцов электрокабеля SiHF до испытаний на тепловыделение (а) и после них (б)

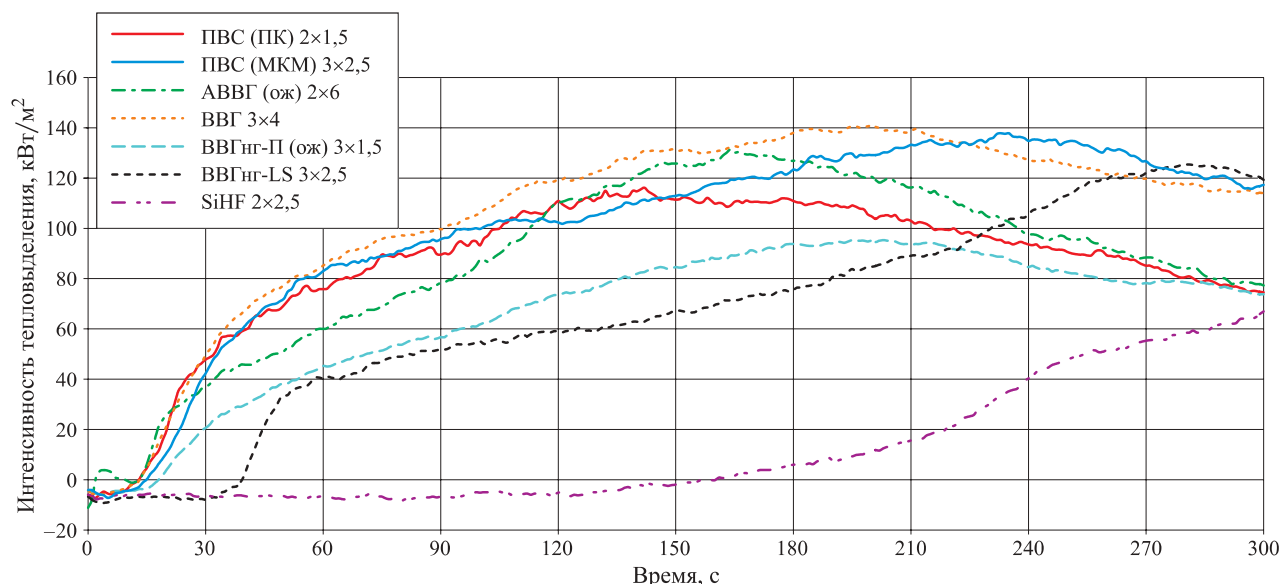


Рис. 8. Графики кинетики выделения тепла при горении образцов электрических кабелей ($1,5 \text{ м} = 0,0225 \text{ м}^2$) при испытании в проточном калориметре OSU при величине теплового потока 35 кВт/м^2

тепла, выделившегося за 1, 2 и 5 мин), а также на тепловыделение кабелем массой 1 кг и площадью поверхности 1 м^2 (максимальная интенсивность тепловыделения).

Графики выделения тепла приведены на рис. 8. За время испытания под действием теплового потока происходит термодеструкция и горение полимерных оболочек электрических кабелей. В зависимости от химического состава оболочки, площади сечения и количества электропроводящих жил могут быть зафиксированы существенные различия в кинетике тепловыделения, максимальной интенсивности выделения тепла, общем количестве тепла, выделившегося за заданный интервал времени. При этом в зависимости от выбранной системы отсчета расположение испытанных образцов в порядке снижения тепловыделения различно, за исключением последней графы: наименьшим тепловыделением

из испытанных образцов во всех случаях обладал электрический кабель с силиконовой оболочкой.

Так как в последнее время набирают популярность кабели с безгалогенными оболочками и изоляцией токоведущих жил, позиционируемые как имеющие большую пожарную безопасность, в дальнейшем планируется продолжить работы и провести исследования образцов, имеющих более широкий спектр химического состава оболочек.

Выводы

Проведены испытания на тепловыделение при горении семи марок электрических проводов. Показано существенное влияние вида использованной полимерной оболочки, количества и площади сечения токоведущих жил на кинетику и максимальную интенсивность выделения тепла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. История авиационного материаловедения. ВИАМ — 80 лет: годы и люди / Под общ. ред. Е. Н. Каблова. — М. : ВИАМ, 2012. — С. 391–396.
2. Каблов Е. Н. ВИАМ: продолжение пути // Наука в России. — 2012. — № 3. — С. 36–44.
3. Каблов Е. Н. Стратегические направления развития материалов и технологий их переработки на период до 2030 года // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 5. — С. 7–17.
4. Smith E. E. Measuring rate of heat, smoke and toxic gas release // Fire Technology. — 1972. — Vol. 8, Issue 3. — P. 237–245. DOI: 10.1007/bf02590547.
5. Tewarson A. Heat release rate in fires // Fire and Materials. — 1980. — Vol. 4, Issue 4. — P. 185–191. DOI: 10.1002/fam.810040405.
6. Krause R. F., Gann R. G. Rate of heat release measurements using oxygen consumption // Journal of Fire and Flammability. — 1980. — Vol. 12, No. 2. — P. 117–130.
7. Babrauskas V. Performance of the Ohio State University rate of heat release apparatus using polymethylmethacrylate and gaseous fuels // Fire Safety Journal. — 1982. — Vol. 5, Issue 1. — P. 9–20. DOI: 10.1016/0379-7112(82)90003-0.

8. *Tsuchiya Y.* Methods of determining heat release rate: State-of-the-art // *Fire Safety Journal*. — 1982. — Vol. 5, Issue 1. — P. 49–57. DOI: 10.1016/0379-7112(82)90006-6.
9. *Babrauskas V.* Comparative rates of heat release from five different types of test apparatuses // *Journal of Fire Sciences*. — 1986. — Vol. 4, No. 2. — P. 148–159. DOI: 10.1177/073490418600400208.
10. *Östman B. A.-L., Tsantaridis L. D.* Heat release and classification of fire retardant wood products // *Fire and Materials*. — 1995. — Vol. 19, Issue 6. — P. 253–258. DOI: 10.1002/fam.810190603.
11. *Fritz T. W., Hunsberger P. L.* Testing of mattress composites in the cone calorimeter // *Fire and Materials*. — 1997. — Vol. 21, Issue 1. — P. 17–22. DOI: 10.1002/(sici)1099-1018(199701)21:1<17::aid-fam590>3.0.co;2-g.
12. *Барботько С. Л.* Тепловыделение при горении полимерных материалов авиационного назначения : автореф. дис. ... канд. техн. наук. — М. : ВИАМ, 1999. — 23 с.
13. *Barbotko S. L., Vorobyov V. N.* Influence of air flow in the OSU calorimeter on test results // *Third International Aircraft Fire & Cabin Research Conference, October 22–25, 2001*. URL: <http://www.fire.tc.faa.gov/2001Conference/files/TAInsulationSeatFlammability/BarbotkoPAPER.PDF> (дата обращения: 05.07.2016).
14. *Marker T.* Heat release and flammability testing of surrogate panels // *Technical Report DOT/FAA/AR-TN01/112*. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2001. — 26 p.
15. *Huiqing Zhang.* Fire-Safe Polymers and Polymer Composites // *Technical Report DOT/FAA/AR-04/11*. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2004. — 209 p.
16. *Lyon R. E., Blake D.* Heat release rate of objects burning in cargo compartments // *Technical Report DOT/FAA/AR-TN05/9*. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2005. — 11 p.
17. *Xin Liu, Quintiere J. G.* Flammability properties of clay-nylon nanocomposites // *Technical Report DOT/FAA/AR-07/29*. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2007. — 154 p.
18. *Quintiere J. G., Walters R. N., Crowley S.* Flammability properties of aircraft carbon-fiber structural composite // *Technical Report DOT/FAA/AR-07/57*. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2007. — 49 p.
19. *Барботько С. Л.* Моделирование процесса горения материалов при испытаниях по оценке тепловыделения // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2007. — Т. 16, № 3. — С. 10–24.
20. *Барботько С. Л.* Прогнозирование на основе математической модели изменения кинетики тепловыделения при горении стеклопластика // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2008. — Т. 17, № 5. — С. 23–28.
21. *Walters R. N., Lyon R. E.* Flammability of polymer composites // *Technical Report DOT/FAA/AR-08/18*. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2008. — 22 p.
22. *Барботько С. Л.* Влияние толщины металлической подложки на кинетику тепловыделения при горении тонкослойных полимерных материалов // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2009. — Т. 18, № 7. — С. 45–50.
23. *Stoliarov S. I., Crowley S., Lyon R. E.* Predicting the burning rates of noncharring polymers // *Technical Report DOT/FAA/AR-TN09/16*. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2009. — 41 p.
24. *Stoliarov S. I., Crowley S., Walters R. N., Lyon R. E.* Prediction of the burning rates of charring polymers // *Technical Report DOT/FAA/AR-TN09/59*. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2009. — 29 p.
25. *Барботько С. Л., Асеева П. М., Серков Б. Б., Сивенков А. Б., Круглов Е. Ю.* Об определении теплот сгорания и тепловыделения при горении полимерных материалов // *Пожаровзрывобезопасность*. — 2012. — Т. 21, № 5. — С. 25–34.
26. *Walters R. N., Lyon R. E.* Microscale combustion calorimeter: interlaboratory study of precision and bias // *Technical Report DOT/FAA/TC-12/39*. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2012. — 29 p.
27. *Шуркова Е. Н., Вольный О. С., Изотова Т. Ф., Барботько С. Л.* Исследование возможности снижения тепловыделения при горении композиционного материала путем изменения его структуры // *Авиационные материалы и технологии*. — 2012. — № 1(22). — С. 27–30.

28. Барботько С. Л., Кириллов В. Н., Шуркова Е. Н. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов авиационного назначения // Авиационные материалы и технологии. — 2012. — № 3(24). — С. 56–63.
29. Lyon R. E., Safronava N. A probabilistic analysis of pass/fail fire tests // Technical Report DOT/FAA/TC-12/13. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2013. — 36 p.
30. Барботько С. Л., Швеиц Н. И., Застрогина О. Б., Изотова Т. Ф. Исследование влияния толщины стеклопластиков на характеристики тепловыделения при горении // Пожаровзрывобезопасность. — 2013. — Т. 22, № 7. — С. 30–36.
31. Скрылев Н. С., Вольный О. С., Постнов В. И., Барботько С. Л. Исследование влияния тепловых факторов климата на изменение характеристик пожаробезопасности полимерных композиционных материалов // Труды ВИАМ. — 2013. — № 9, ст. 5. — С. 23–28. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 23.06.2016).
32. Lyon R. E., Walters R. N., Stoliarov S. I., Safronava N. Principles and practice of microscale combustion calorimetry // Technical Report DOT/FAA/TC-12/53, R1. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2014. — 95 p.
33. Скрылев Н. С., Вольный О. С., Абрамов Д. В., Шуркова Е. Н. Исследование влияния тепловлажностных факторов на изменение характеристик пожарной безопасности ПКМ, подверженных климатическим воздействиям // Труды ВИАМ. — 2014. — № 7, ст. 12. URL: <http://www.viam-works.ru> (дата обращения: 23.06.2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-12-12.
34. Safronava N., Lyon R. E., Crowley S., Stoliarov S. I. Effect of moisture on ignition time of polymers // Technical Report DOT/FAA/TC-TN14/53. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2015. — 29 p.
35. Lyon R. E., Fulmer M., Walters R., Crowley S. Effect of airflow and measurement method on the heat release rate of aircraft cabin materials in the Ohio State University apparatus // Technical Report DOT/FAA/TC-TN15/34. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2016. — 20 p.
36. Reinhardt J. W. Development of an improved fire test method and criteria for aircraft electrical wiring // Technical Report DOT/FAA/AR-10/2. — Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2010. — 95 p.
37. Авиационные правила. Часть 25. Самолеты транспортной категории. 3-я ред. с попр. 1–7 / Межгосударственный авиационный комитет. — М. : ОАО “Авиаиздат”, 2014. — 278 с.
38. Lyon R. E. Fire Calorimetry (Technical Report DOT/FAA/CT-95/46). — NJ : Federal Aviation Administration, Atlantic City Intl. Airport, 1995. — 200 p.
39. Перельман В. И. Краткий справочник химика. — М. : Химия, 1951. — 326 с.
40. Корольченко А. Я., Корольченко Д. А. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения : справочник: в 2 ч. — 2-е изд. — М. : Пожнаука, 2004. — Ч. I. — С. 98–105.
41. Mouritz A. P., Gibson A. G. Fire properties of polymer composite materials. — Dordrecht, Netherlands : Springer, 2006. — 398 p.
42. Барботько С. Л., Шуркова Е. Н., Вольный О. С., Скрылёв Н. С. Оценка пожарной безопасности полимерных композиционных материалов для внешнего контура авиационной техники // Авиационные материалы и технологии. — 2013. — № 1(26). — С. 56–59.

Материал поступил в редакцию 11 июля 2016 г.

Для цитирования: Барботько С. Л., Вольный О. С. Оценка тепловыделения при горении электрических кабелей // Пожаровзрывобезопасность. — 2016. — Т. 25, № 11. — С. 35–44. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.35-44.

English

HEAT RELEASE ASSESSMENT AT BURNING ELECTRIC CABLES

BARBOTKO S. L., Candidate of Technical Sciences, Head of Laboratory “Research of Non-Metallic Materials on Climatic, Microbiological Firmness and Fire Safety”, All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials (VIAM), State Scientific Center of Russian Federation (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation; e-mail address: slbarbotko@yandex.ru)

VOLNYY O. S., Leading Engineer of Laboratory "Research of Non-Metallic Materials on Climatic, Microbiological Firmness and Fire Safety", All-Russian Scientific-Research Institute of Aviation Materials (VIAM), State Scientific Center of Russian Federation (Radio St., 17, Moscow, 105005, Russian Federation)

ABSTRACT

Available cases of emergence and development of fires with participation of products show need of assessment of heat release when burning electric isolation of wires and comparisons according to this characteristic the electrocable products of different types. Definition of these characteristics possibly using different types of test equipment. Use of rated methods of determination of combustion heat or its direct definition by means of adiabatic bomb calorimeter is recognized inexpedient as in the conditions of fire there is no complete combustion of combustible component. Besides, these methods does not allow to receive information on kinetics of process of heat production. The cone-calorimeter widely applied abroad in different industries and working with using principle of oxygen consumption can give essential mistake depending on types of used fire retardants. In the aircraft manufacturing industry for heat release assessment at burning is used the OSU calorimeter (ASTM E906, type A) working with using the thermopair method. At carrying out researches the decision to use this type of the equipment and test method is made.

Seven brands of the electricity cables differing both by structure of outer jacket, and the size of cross-section and quantity of current carrying veins have been tested. Tests of samples are carried out at heat flux on the sample of equal 35 kW/m^2 . The standard defined characteristic (the maximum intensity of heat release rate (kW/m^2)) has been counted for comparison not only the conditional square of sample, but also at wire length, the area of exterior surface, mass of cable. The total quantity of heat release has been defined for different intervals of time (1, 2 and 5 minutes) as in standard form for aircraft ($\text{kW} \cdot \text{min/m}^2$), and in metric system of measures ($\text{MJ}/100 \text{ m}$).

Essential influence of structure and cable size on registered characteristics of heat release and prospects of use of this method for assessment of fire safety of electricity cables is shown.

Keywords: heat release; wire; fire safety; OSU calorimeter; electric cable.

REFERENCE

1. Kablov E. N. (ed.). *History of aviation materials science. VIAM — 80 years: Years and people*. Moscow, VIAM Publ., 2012, pp. 391–396 (in Russian).
2. Kablov E. N. VIAM: Way continuation. *Nauka v Rossii (Science in the Russia)*, 2012, no. 3, pp. 36–44 (in Russian).
3. Kablov E. N. Strategical areas of developing materials and their processing technologies for the period up to 2030. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii (Aviation Materials and Technologies)*, 2012, no. S, pp. 7–17 (in Russian).
4. Smith E. E. Measuring rate of heat, smoke and toxic gas release. *Fire Technology*, 1972, vol. 8, issue 3, pp. 237–245. DOI: 10.1007/bf02590547.
5. Tewarson A. Heat release rate in fires. *Fire and Materials*, 1980, vol. 4, issue 4, pp. 185–191. DOI: 10.1002/fam.810040405.
6. Krause R. F., Gann R. G. Rate of heat release measurements using oxygen consumption. *Journal of Fire and Flammability*, 1980, vol. 12, no. 2, pp. 117–130.
7. Babrauskas V. Performance of the Ohio State University rate of heat release apparatus using polymethylmethacrylate and gaseous fuels. *Fire Safety Journal*, 1982, vol. 5, issue 1, pp. 9–20. DOI: 10.1016/0379-7112(82)90003-0.
8. Tsuchiya Y. Methods of determining heat release rate: State-of-the-art. *Fire Safety Journal*, 1982, vol. 5, issue 1, pp. 49–57. DOI: 10.1016/0379-7112(82)90006-6.
9. Babrauskas V. Comparative rates of heat release from five different types of test apparatuses. *Journal of Fire Sciences*, 1986, vol. 4, no. 2, pp. 148–159. DOI: 10.1177/073490418600400208.
10. Östman B. A.-L., Tsantaridis L. D. Heat release and classification of fire retardant wood products. *Fire and Materials*, 1995, vol. 19, issue 6, pp. 253–258. DOI: 10.1002/fam.810190603.
11. Fritz T. W., Hunsberger P. L. Testing of mattress composites in the cone calorimeter. *Fire and Materials*, 1997, vol. 21, issue 1, pp. 17–22. DOI: 10.1002/(sici)1099-1018(199701)21:1<17::aid-fam590>3.0.co;2-g.

12. Barbotko S. L. *Heat release at burning polymeric materials of aviation assignment*. Abstr. cand. tech. sci. diss. Moscow, 1999. 23 p. (in Russian).
13. Barbotko S. L., Vorobyov V. N. Influence of air flow in the OSU calorimeter on test results. *Third International Aircraft Fire & Cabin Research Conference*, October 22–25, 2001. Available at: <http://www.fire.tc.faa.gov/2001Conference/files/TAInsulationSeatFlammability/BarbotkoPAPER.PDF> (Accessed 5 July 2016).
14. Marker T. Heat release and flammability testing of surrogate panels. In: *Technical Report DOT/FAA/AR-TN01/112*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2001. 26 p.
15. Huiqing Zhang. Fire-safe polymers and polymer composites. In: *Technical Report DOT/FAA/AR-04/11*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2004. 209 p.
16. Lyon R. E., Blake D. Heat release rate of objects burning in cargo compartments. In: *Technical Report DOT/FAA/AR-TN05/9*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2005. 11 p.
17. Xin Liu, Quintiere J. G. Flammability properties of clay-nylon nanocomposites. In: *Technical Report DOT/FAA/AR-07/29*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2007. 154 p.
18. Quintiere J. G., Walters R. N., Crowley S. Flammability properties of aircraft carbon-fiber structural composite. In: *Technical Report DOT/FAA/AR-07/57*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2007. 49 p.
19. Barbotko S. L. Modeling of process of burning of materials at tests according to heat release. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2007, vol. 16, no. 3, pp. 10–24 (in Russian).
20. Barbotko S. L. Forecasting on the basis of mathematical model of change of kinetics of heat release at burning fibreglass. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2008, vol. 17, no. 5, pp. 23–28 (in Russian).
21. Walters R. N., Lyon R. E. Flammability of polymer composites. In: *Technical Report DOT/FAA/AR-08/18*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2008. 22 p.
22. Barbotko S. L. Influence of thickness of metal padding on kinetics of heat emission by burning of thin-layer polymeric materials. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2009, vol. 18, no. 7, pp. 45–50 (in Russian).
23. Stoliarov S. I., Crowley S., Lyon R. E. Predicting the burning rates of noncharring polymers. In: *Technical Report DOT/FAA/AR-TN09/16*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2009. 41 p.
24. Stoliarov S. I., Crowley S., Walters R. N., Lyon R. E. Prediction of the burning rates of charring polymers. In: *Technical Report DOT/FAA/AR-TN09/59*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2009. 29 p.
25. Barbotko S. L., Aseeva R. M., Serkov B. B., Sivenkov A. B., Kruglov E. Yu. About definition of warmth of combustion and the thermal emission at burning of polymeric materials. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2012, vol. 21, no. 5, pp. 25–34 (in Russian).
26. Walters R. N., Lyon R. E. Microscale combustion calorimeter: interlaboratory study of precision and bias. In: *Technical Report DOT/FAA/TC-12/39*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2012. 29 p.
27. Shurkova E. N., Volnyy O. S., Izotova T. F., Barbotko S. L. Study of the possibility for reducing the heat release by changing the composite structure during the burning process. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii (Aviation Materials and Technologies)*, 2012, no. 1(22), pp. 27–30 (in Russian).
28. Barbotko S. L., Kirillov V. N., Shurkova E. N. Test methods and the calculative determination of fatigue limit for the horizontal fatigue curve area. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii (Aviation Materials and Technologies)*, 2012, no. 3(24), pp. 56–63 (in Russian).
29. Lyon R. E., Safronova N. A probabilistic analysis of pass/fail fire tests. In: *Technical Report DOT/FAA/TC-12/13*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2013. 36 p.
30. Barbotko S. L., Shvets N. I., Zastrogina O. B., Izotova T. F. The influence of fibreglasses thickness on heat release characteristics at burning. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2013, vol. 22, no. 7, pp. 30–36 (in Russian).

31. Skrylev N. S., Volnyy O. S., Postnov V. I., Barbotko S. L. Research of influence of thermal factors of climate on change of characteristics of fire safety of polymeric composite materials. *Trudy VIAM (Proceedings of VIAM)*, 2013, no. 9, art. 5, pp. 23–28 (in Russian). Available at: <http://www.viam-works.ru> (Accessed 23 June 2016).
32. Lyon R. E., Walters R. N., Stoliarov S. I., Safronava N. Principles and practice of microscale combustion calorimetry. In: *Technical Report DOT/FAA/TC-12/53, R1*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2014. 95 p.
33. Skrylev N. S., Volnyy O. S., Abramov D. V., Shurkova E. N. Research the influence of temperature and humidity factors on change of fire safety characteristics for polymeric composite materials which are subject to climatic aging. *Trudy VIAM (Proceedings of VIAM)*, 2014, no. 7, art. 12. Available at: <http://www.viam-works.ru> (Accessed 23 June 2016). DOI: 10.18577/2307-6046-2014-0-7-12-12.
34. Safronava N., Lyon R. E., Crowley S., Stoliarov S. I. Effect of moisture on ignition time of polymers. In: *Technical Report DOT/FAA/TC-TN14/53*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2015. 29 p.
35. Lyon R. E., Fulmer M., Walters R., Crowley S. Effect of airflow and measurement method on the heat release rate of aircraft cabin materials in the Ohio State University Apparatus. In: *Technical Report DOT/FAA/TC-TN15/34*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2016. 20 p.
36. Reinhardt J. W. Development of an improved fire test method and criteria for aircraft electrical wiring. In: *Technical Report DOT/FAA/AR-10/2*. Federal Aviation Administration, William J. Hughes Technical Center Airport and Aircraft Safety, 2010. 95 p.
37. *Aviation rules*. Part 25. Airplanes of transport category. Edition 3 with corrections 1–7. Interstate Aviation Committee. Moscow, JSC “Aviaizdat” Publ., 2014. 278 p. (in Russian).
38. Lyon R. E. *Fire Calorimetry (Technical Report DOT/FAA/CT-95/46)*. NJ, Federal Aviation Administration, Atlantic City Intl. Airport, 1995. 200 p.
39. Perelman V. I. *Short directory of the chemistry*. Moscow, Khimiya Publ., 1951. 326 p. (in Russian).
40. Korolchenko A. Ya., Korolchenko D. A. *Fire and explosion hazard of substances and materials and their means of fighting*. Reference book. 2nd ed. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004, part I, pp. 98–105 (in Russian).
41. Mouritz A. P., Gibson A. G. *Fire properties of polymer composite materials*. Dordrecht, Netherlands, Springer, 2006. 398 p.
42. Barbotko S. L., Shurkova E. N., Volnyy O. S., Skrylyov N. S. Evaluation of polymer composite fire-safety for the outer contour of aeronautical engineering. *Aviatsionnyye materialy i tekhnologii (Aviation Materials and Technologies)*, 2013, no. 1(26), pp. 56–59 (in Russian).

For citation: Barbotko S. L., Volnyy O. S. Heat release assessment at burning electric cables. *Pozharovzryvbezopasnost — Fire and Explosion Safety*, 2016, vol. 25, no. 11, pp. 35–44. DOI: 10.18322/PVB.2016.25.11.35-44.