Саклантий А.Р.
ведущий эксперт
ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России,
кандидат технических наук

Таубкин И.С.
главный научный сотрудник
ФБУ РФЦСЭ при Минюсте России,
кандидат технических наук

ТЕМПЕРАТУРА ТЛЕНИЯ ТАБАЧНЫХ ИЗДЕЛИЙ. МЕТОД ЕЕ ИЗМЕРЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ МИКРОТЕРМОПАР ДЛЯ РЕШЕНИЯ ВОПРОСА О ПРИЧИНЕ ПОЖАРА

Предложен метод измерения температуры тления табачных изделий с использованием микротермопар, и определены ее значения для некоторых марок сигарет.

Ключевые слова: термопара, тление, пожарная опасность, зажигательная способность.

A. Saklantiy, I. Taubkin

THE TEMPERATURE OF SMOLDERING TOBACCO. THE METHOD OF ITS MEASUREMENT BY THERMOCOUPLES FOR THE SOLUTION OF THE QUESTION OF THE CAUSE OF THE FIRE

The method of measuring the temperature of smoldering tobacco by thermocouples and its values are given for some cigarette brands defined by this method.

Keywords: thermocouple, smoldering, fire danger, rincendiary capability.

Судебно-экспертная практика по делам о пожарах у нас в стране и за рубежом свидетельствует о том, что при установлении причины практически каждого пожара экспертам приходится решать вопрос о причастности к нему тлеющих табачных изделий (ТТИ). Высокую пожарную опасность ТТИ подтверждают статистические данные. Так, в 2014 году на территории Российской Федерации от неосторожного обращения с огнем произошло 46349 пожара, в которых погибло 6200 и пострадало 5582 человека (электронный ресурс: wiki-fire.org). Значительная часть пожаров в жилых зданиях была обусловлена контактом ТТИ с элементами мягкой мебели, а число погибших при этом составило ~25% от общего числа погибших людей при пожарах в жилых зданиях.

Как показал анализ отечественной судебно-экспертной практики, возможность возникновения пожара от ТТИ определяется экспертами, как правило, путем сопоставления

температуры их тления с температурными показателями пожарной опасности исследуемых материалов. При этом температура тления ТТИ принимается по литературным данным, а не определяется экспериментально. В связи с этим категоричность выводов о причастности табачных изделий к пожару во многих случаях не обоснована. **Вывод о возникновении пожара от ТТИ можно делать лишь по результатам исследования их зажигательной способности по отношению к веществам и материалам, находящимся в контакте с ТТИ.** При этом одним из главных факторов является время перехода тления материала в пламенное горение, его оценка и сопоставление с реальными обстоятельствами пожара.

В данной работе предложен метод измерения температуры тления табачных изделий с помощью микротермопар и определены значения этих температур для некоторых ТТИ[1].

Температуру тления табачных изделий измеряли с помощью микротер-мопар (рис. 1), конструкция которых была разработана ранее для исследования распределения температуры в волне горения твердых [1, 2] и жидких [3] взрывчатых веществ. Применение микротермопар данной конструкции позволяет достигнуть соответствия температуры спая и исследуемой среды, поскольку в ней учтены особенности, которые следует принимать во внимание при измерении температуры горючих конденсированных веществ, изложенные в работах [1–3].

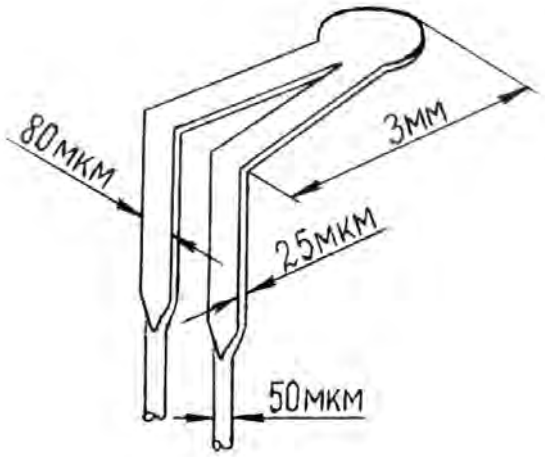

Рис. 1. Г-образная вольфрам-рениевая микротермопара.
Плечо термопары не менее 3 мм

Основное требование к термопаре при температурных измерениях – термоспай и плечи термопары (участки термоэлектродов, непосредственно примыкающие к спаю термопары) должны располагаться по изотерме. При таком расположении термопары компенсируются основные теплопотери из спая за счет резкого различия теплопроводности материала термоэлектродов и окружающей среды (тепло, поступающее к плечу термопары, отводится как в ее концы, так и в термоспай).

Микротермопары изготавливали сваркой искровым разрядом проволок диаметром 50 мкм из сплавов двух рецептур: 95% вольфрама и 5% рения (ВР-5); 80% вольфрама и 20% рения (ВР-20). После сварки участок термопар (~20 ÷ 30 мм от спая) прокатывался в специальных высокотвердых вальцах до толщины 20–25 мкм, при этом термопара приобретала форму ленты шириной 80–100 мкм (см. рис. 1). Перед помещением в сигарету термопаре с помощью скальпеля придавали Г-образную форму, при этом длина плеча составляла 3–4 мм, как это и требуется [3] для получения достоверных результатов.

Измерение температуры тления производили с помощью устройства, представленного на рис. 2.

[1] Авторы выражают признательность **А.В. Ахачинскому**, принявшему деятельное участие в проведении экспериментов и обсуждении их результатов.

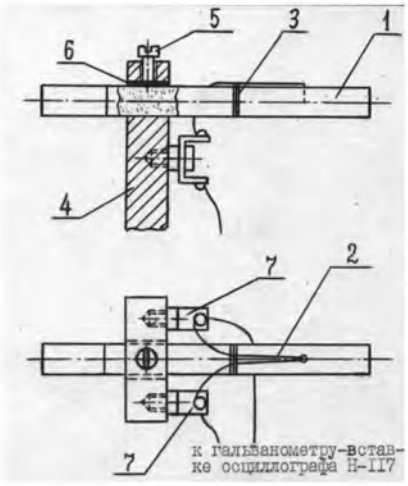

Рис. 2. Устройство для измерения температуры тления табачных изделий: 1 – сигарета; 2 – Г-образная микротермопара; 3 – нити крепления микротермопары к сигарете; 4 – текстолитовая державка; 5 – винт крепления сигареты к державке; 6 – прокладка; 7 – медные контакты

В сигарете (1) на расстоянии 20–25 мм от ее торца иглой диаметром ~1 мм делали отверстие приблизительно до центра сигареты. В отверстие погружали спай и плечи термопары (2), а термоэлектроды крепили к сигарете с помощью смоченной в силикатном клее хлопчатобумажной нити (3) на расстоянии 15–20 мм от отверстия. Для более плотного контакта табака со спаем термопары его слегка подпрессовывали пуансоном с торца сигареты. Сигарету с установленной в ней термопарой помещали в отверстие диаметром 10 мм текстолитовой державки (4) и крепили ее в державке с помощью винта (5) через прокладку (6). Концы термопары подпаивали к медным контактам (7). К этим же контактам были предварительно подведены (подпаяны) медные провода, связывающие термопару с гальванометром осциллографа Н-117. Для уменьшения влияния на результаты измерений сопротивления вольфрам-рениевой термопары ($R \approx 8$ Ом), увеличивающегося при росте ее температуры, в цепь термопары было последовательно включено сопротивление 150 Ом, а для градуировки измерительной линии в эту же цепь – последовательно хромель-копелевая термопара толщиной 0,5 мм (источник ЭДС) и милливольтметр.

Градуировку производили после проведения опыта, регистрируя отклонения луча гальванометра-вставки на экране осциллографа Н-117 от нулевой линии при прогреве хромель-копелевой термопары в специальном нагревателе до фиксированных значений ЭДС на милливольтметре.

Характерное распределение температуры (T) по длине (l) сигареты (1), регистрируемое с помощью Г-образной микротермопары (2), представлено на рис. 3.

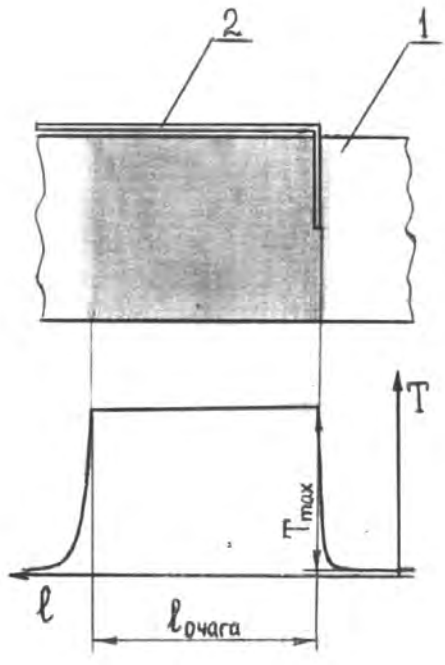

Рис. 3. Характерное распределение температуры (T) по длине (l) сигареты (1), регистрируемое микротермопарой (2)

По описанной выше методике были проведены 2 серии экспериментов, результаты которых приведены в представленной ниже таблице. В опытах 1, 2, 8, 9, 14 термопарные измерения производились в процессе выкуривания (затяжки) сигареты, а в опытах 3–7, 10–13 сигарету выкуривали до термопары (до достижения температуры $T_н$), а затем помещали ее на подложку из струганой сосновой доски и оставляли тлеть, при этом воздух в помещении был практически неподвижен.

Были проведены эксперименты с сигаретами следующих марок: «Стюардесса» (Болгария), «Столичные» (г. Москва, фабрика «Ява»), «Астра» (г. Усмань), «Стрела» (г. Ленинград). Скорость тления сигареты рассчитывали, зафиксировав предварительно с помощью секундомера время тления на измеренной базе в районе спая термопары. Характерные осциллограммы с записью температуры при тлении сигарет приведены на рис. 4 (при выкуривании) и рис. 5 (при тлении на деревянной подложке).

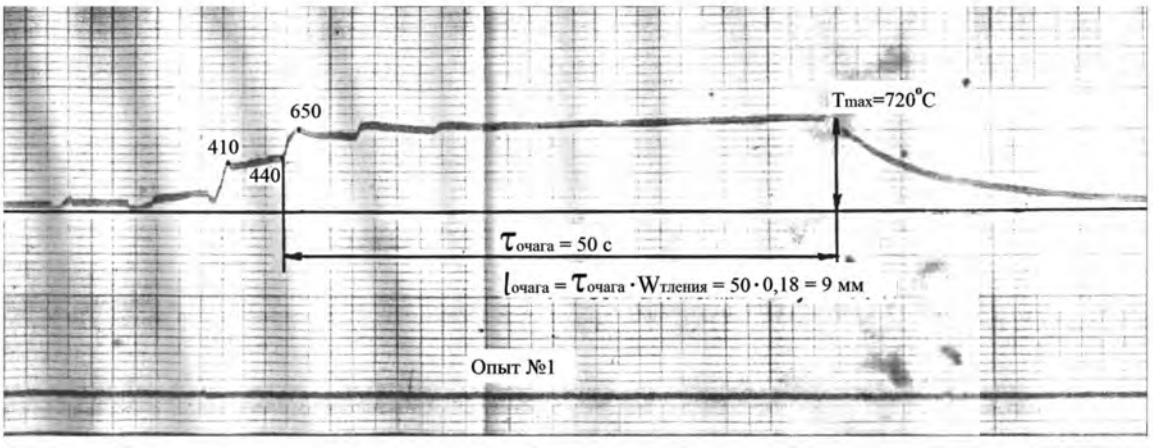

Рис. 4. Распределение температуры при тлении сигареты марки «Стюардесса» при ее выкуривании

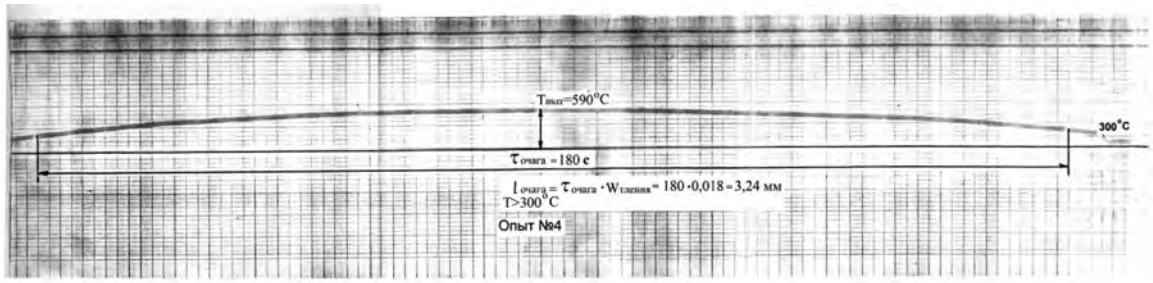

Рис. 5. Распределение температуры при тлении сигареты марки «Стюардесса» на деревянной подложке

Проведенные исследования показали, что температура тления сигареты при курении выше температуры тления самостоятельно тлеющей сигареты. Для сигарет марки «Стюардесса» эта разница составляет ~90 °С, а для сигарет марки «Столичные» достигает ~170 °С. Наиболее высокая температура тления развивается при курении сигарет «Столичные» – 820 °С, а у самостоятельно тлеющей (лежащей на деревянной подложке) сигареты марки «Астра» она составляет 720 °С.

Следует отметить, что кривые распределения температуры при курении (см. рис. 4) и самостоятельном тлении (см. рис. 5) сигарет существенным образом различаются.

При подходе фронта горения к термопаре при курении сигареты температура за 20–30 с возрастает от T_0 до температуры, близкой к максимальной, далее в течение 50–90 с она остается практически постоянной, может немного возрастать или уменьшаться, а затем экспоненциально уменьшаться до T_0, что свидетельствует об окончании процесса окисления в зоне термопары и остывании пепла. Время существования зоны с высокой температурой (близкой к T_{max}), фиксируемое термопарой, составляет 50 с (опыт № 1) – 90 с (опыт № 9), а протяженность очага соответственно 9,0–14,4 мм.

При тлении сигареты на деревянной подложке термопара регистрирует постепенное возрастание температуры от T_0 до T_{max} за 70–80 с, а затем ее уменьшение до T_0 за чуть больший промежуток времени, при этом участки кривой T( ) до и после сечения T_{max} практически симметричны (см. рис. 5). Учитывая вид кривой, можно утверждать, что после достижения T_{max} происходит не просто остывание продуктов тления – оно сопровождается химическими реакциями, протекающими с выделением тепла, которого, впрочем, недостаточно для компенсации отдачи тепла теплопроводностью и конвекцией. Протяженность очага тления, рассчитанная нами при условии, что на его границах температура выше 300 °С, не превышает 3,5 мм, что примерно втрое меньше протяженности зоны с температурой, близкой к T_{max}, при курении сигареты одноименной марки.

Результаты измерений температуры и скорости тления сигарет различных марок приведены в таблице.

Температура и скорость тления сигарет

Марка сигарет	№ опыта	$T^к_{max}$, °С	$T_{ср}$, °С	$V^к$, мм/с	$L^к$, мм	$T_н$, °С	$T^п_{max}$, °С	$V^п$, мм/с	$L^п$, мм	τ, мин.с
«Стюардесса»	1	720	690	0,18	9,0	…	…	…	…	…
«	2	740	720	0,19	11,4	…	…	…	…	…
«	3	…	…	…	…	390	690	0,018	3,35	14.00
«	4*	…	…	…	…	300	590	0,018	3,24	3.55
«	5*	…	…	…	…	650	600			3.15
«	6**	…	…	…	…	510	620	0,018	3,02	5.10
«	7**	…	…	…	…	540	690	0,018	3,06	5.15
«Столичные»	8	810	810	0,18	11,2	…	…	…	…	…
«	9	820	680	0,16	14,4	…	…	…	…	…
«	10	…	…	…	…	210	650	…	…	5.20
«	11	…	…	…	…	830	620	…	…	3.30
«	12	…	…	…	…	410	660	…	…	4.00
«Астра»	13	…	…	…	…	330	720	…	…	3.10
«Стрелка»	14	710	…	…	…	…	…	…	…	…

* Тление прекратилось в районе спая.

** Тление прекратилось за спаем.

Примечания к таблице

$T^к_{max}$ – максимальная температура, достигнутая при курении сигареты;

$T^п_{max}$ – максимальная температура тления сигареты на подложке;

$T_{ср}$ – средняя температура очага при курении;

$T_н$ – температура в момент прекращения курения перед размещением на подложке сигареты, продолжающей тлеть;

$V^к$ – скорость тления сигареты при курении;

$V^п$ – скорость самостоятельного тления сигареты на подложке;

$L^к$ – протяженность очага с температурой, близкой к $T_{ср}$ при курении;

$L^п$ – протяженность очага с границами $T \geq 300$ °С при тлении сигареты на подложке;

τ – время тления сигареты на подложке до затухания.

Отметим, что в ГОСТ 12.1.004-91* приведены значения температур тления сигарет и папирос, равные соответственно 420–460 °С и 320–410 °С [4], то есть величины более низкие, чем полученные в ходе экспериментов (см. таблицу). За время, прошедшее после их проведения, изменились номенклатура и материалы табачных изделий, а также технология их изготовления. Однако эксперименты по определению температур тления сигарет более новых марок и папирос марки «Беломорканал», проведенные с использованием тепловизора NEC-5104 (Япония) [5, 6], еще раз показали ошибочность значений температур ТТИ, приведенных в ГОСТ 12.1.004-91*. Ниже приведена максимальная температура тления некоторых современных табачных изделий, °С:

Winston Lights 530
Winston Classic 637
«Беломорканал» 502

Выводы

1. Предложен метод измерения температуры тлеющих табачных изделий с помощью микротермопар.

2. Измерена температура тления сигарет различных марок при курении и их «свободного» (без затяжки) тления на деревянной подложке.

3. Показано, что максимальная температура тления табака при курении достигает 820 °С (сигареты «Столичные»), при тлении на деревянной подложке – 720 °С (сигареты «Астра»), что существенно выше температур ТТИ, указанных в ГОСТ 12.1.004-91*.

4. Максимальная температура тления табака сигарет при курении превышает температуру его тления на деревянной подложке. Для сигарет марки «Стюардесса» эта разница составляет ~90 °С, а для сигарет марки «Столичные» достигает 160 °С.

5. Установлено, что протяженность зоны (9,0–11,4 мм) с температурой, близкой к T_{max}, при курении сигареты в 3 раза больше протяженности высокотемпературной зоны (очаг 3,02–3,35 мм с температурой более 300 °С) при тлении сигареты одноименной марки на деревянной подложке.

С учетом указанных размеров очага тления, предопределяющих значительный запас в нем тепла, а также большой температуры (более 600 °С), исследованные табачные изделия способны зажечь находящиеся с ними в контакте легкосгораемые материалы, способные к тлению (бумагу, хлопчатобумажные ткани, древесину), с последующим переходом их тления в пламенное горение.

Литература

1. Зенин А.А. Изучение распределений температуры при горении конденсированных веществ: дис. … канд. физ.-мат. наук / А.А. Зенин. – М.: ИХФ АН СССР, 1962. – 164 с.

2. Зенин А.А. Об ошибках показаний термопар, проходящих через пламя / А.А. Зенин // Инженерно-физический журнал. – 1962. – Т. 5, № 5. – 1962. – С. 67–74.

3. Канашин С.П. Исследование процесса горения некоторых органических азидов: дис. … канд. техн. наук / С.П. Канашин. – М.: МХТИ, 1979.

4. ГОСТ 12.1.004-91*. ССБТ. ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ. ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ.

5. Таубкин И.С., Рудакова, Т.А., Сухов А.В. О пожарной опасности табачных изделий // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций / ВИНИТИ РАН. – 2009. № 4. С. 45–48.

6. Таубкин И.С., Рудакова Т.А., Сухов А.В. К вопросу о пожарной опасности сигарет и папирос // Теория и практика судебной экспертизы. науч.-практ. журн. РФЦСЭ. – М., 2009, № 1 (13). С. 55–60.