

В.С. Мельников¹, С.В. Кириллов¹, В.Г. Васильев², С.А. Ванин², М.В. Мельников¹
(¹ООО "Международный противопожарный центр",
²ЗАО "Ариада"; e-mail: melnikov@firecenter.ru)

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ОГНЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ИХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМУ СОПРОТИВЛЕНИЮ

*Предлагается метод оценки горючести теплоизоляционных строительных материалов из минеральной ваты и пенополиизоцианурата, повреждённых при огневых испытаниях.
Ключевые слова: электропроводность, пенополиизоцианурат, минеральная вата.*

V.S. Melnikov, S.V. Kirillov, V.G. Vasil'ev, S.A. Vanin, M.B. Melnikov
**EVALUATION OF THE RESULTS OF FIRE TESTS
OF HEAT INSULATING MATERIALS
BY THEIR ELECTRICAL RESISTANCE**

A method for evaluating the flammability of heat insulating building materials of mineral wool and foams, damaged during firing tests is offered.

Key words: electrical conductivity, polyisocyanurate, mineral wool.

Статья поступила в редакцию Интернет-журнала 13 декабря 2015 г.

Характеристики горючести строительных материалов и конструкций в соответствии с техническим регламентом и стандартами [1-6] устанавливаются по реакциям их образцов в ходе огневого воздействия и по его результатам. При этом оценку размеров повреждений образцов по длине и глубине эксперты выполняют визуально, т.е. измерения в значительной степени зависят от субъективных факторов.

Отсутствие средств объективного контроля приводит к неоднозначным выводам, например, о повреждениях остро конкурирующих строительных теплоизоляционных материалов из *минеральной ваты (МВ)* и *пенополиизоцианурата (ПИИР)* [7].

Цель проведённой авторами работы заключалась в проверке возможности инструментального определения границ повреждений строительных материалов при пожаре по электрическому сопротивлению повреждённых огнём образцов (такой метод используется при расследовании пожаров [8-10]).

Средства контроля и измерений

При выборе средств контроля (измерений) из имеющегося весьма широкого спектра приборов представляло интерес получить практический результат с использованием контактного и бесконтактного оборудования, а также тестера, функции которого при пожарно-технических испытаниях будут востребованы в комплексе (для измерения влажности материалов, влажности и температуры воздуха и т.д.). С учётом этого использовались приборы, представленные в табл. 1.

Характеристики средств контроля и измерений

Характеристики	Измеритель сопротивления изоляции UT502 (Uni-Trend International – China)	Прибор комбинированный Testo-606-2 (Testo AG)	Бесконтактный сканер MultiScanner OneStep 60040 (Zircon – США)
Средство	Контактного измерения	Контактного контроля	Бесконтактного контроля
Диапазон измерений (контроля)	Электрического сопротивления $0,003 \dots 20 \text{ ГОм}$	Электропроводности (влажности) материалов $5 \dots 95 \%$	Границ электропроводного материала на расстоянии до $19 \dots 38 \text{ мм}$
Погрешность	$3 \dots 10 \%$	$\pm 2,5 \%$	Не нормируется

Для контактных измерений прибором UT502 был разработан щуп с мягкими многожильными токосъёмными щётками из медной проволоки диаметром $0,2 \text{ мм}$. Расстояние между щётками составляло 7 мм . Щуп подвешивали шарнирно на механизме перемещения, и за счёт собственного веса он прижимался к исследуемому образцу. Такая конструкция исключала повреждение даже самых слабых поверхностей, а также обеспечивала необходимый электрический контакт по пятну каждой щётки на материале.

Многожильные щётки сравнивались с электродами в виде игл, игл с шариковыми головками диаметром 2 мм , а также круглыми опорами диаметром 5 мм , но альтернативные решения не обеспечили надёжного контакта и (или) повреждали материал образца.

Установлено, что контактные и бесконтактные средства позволяют определять положение границ электропроводных зон повреждённых образцов МВ и ПИР.

Принципиально то, что исследованные МВ и ПИР – отличные диэлектрики, а их повреждённые участки, как правило, проводят электрический ток и между электродами, расположенными на расстоянии 7 мм , здесь регистрируются электрические сопротивления в диапазоне $0,001 \dots 20 \text{ ГОм}$.

Среди рассматриваемых приборов наибольшую чувствительность и информативность обеспечивает измеритель сопротивления изоляции UT502.

Для оперативного применения весьма удобным оказался прибор Testo-606-2.

Применение прибора OneStep 60040 полностью исключает повреждение образца, но не позволяет находить границы при сканировании материалов по толщине, а также при сканировании повреждённых зон с электрическим сопротивлением более $20 \dots 30 \text{ МОм}$.

Результаты исследований

Измерения электрического сопротивления (R) были проведены для образцов ПИР и МВ, повреждённых в условиях стандартных и специальных испытаний при огневом и тепловом воздействии. При этом точки (места) измерений выбирались как по длине, так и по толщине (глубине) образцов.

Результаты представляли графиками изменений R по координатам (длине или глубине) точек измерений. На этих же графиках отмечали положение границы зоны изменений цвета.

Типичные графики для минеральной ваты (рис. 1) демонстрируют, что положение видимой границы (зоны изменения цвета) практически всегда совпадает с границей электропроводной зоны (разница не превышает 20 мм).

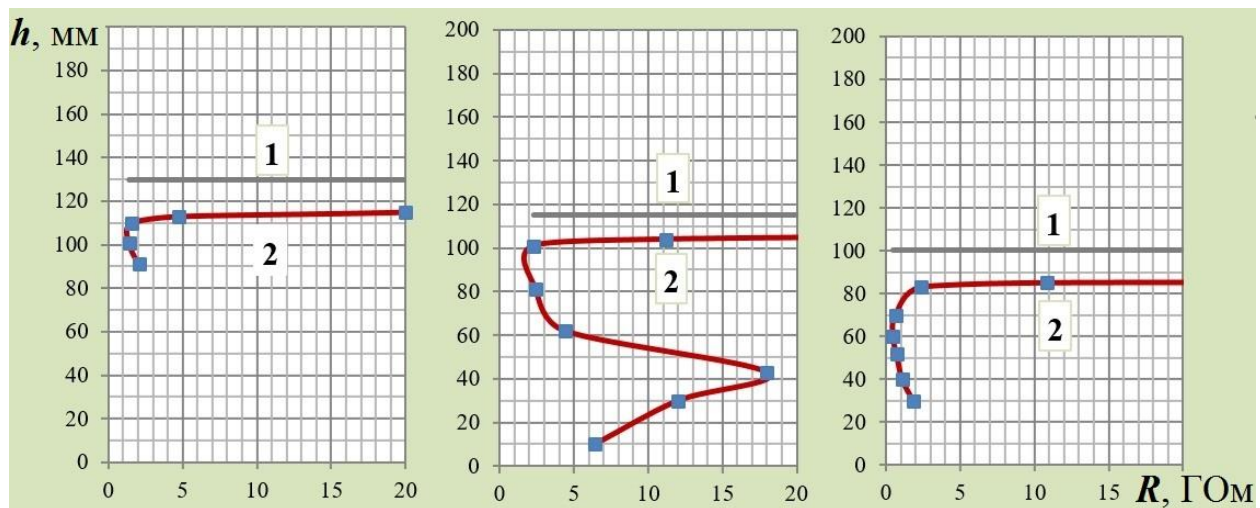


Рис. 1. Типичные графики изменений сопротивления (R) по высоте (h) повреждённого образца минеральной ваты:
1 – визуальная оценка положения границы зоны изменений цвета;
2 – линия тренда измеренного электросопротивления;
маркерами отмечены измеренные значения

По нашему мнению, изменение R связано с тем, что часть материалов минеральной ваты (связующих компонентов) выгорело, поэтому соответствующие зоны необходимо считать повреждёнными по п. 7.6.1 ГОСТ 30244-94 [2] и п. 9.15 ГОСТ 30403-2012 [4].

Корреляцию между экспертной (визуальной) оценкой положения границ и результатами измерений для минеральной ваты подтверждает диаграмма на рис. 2.

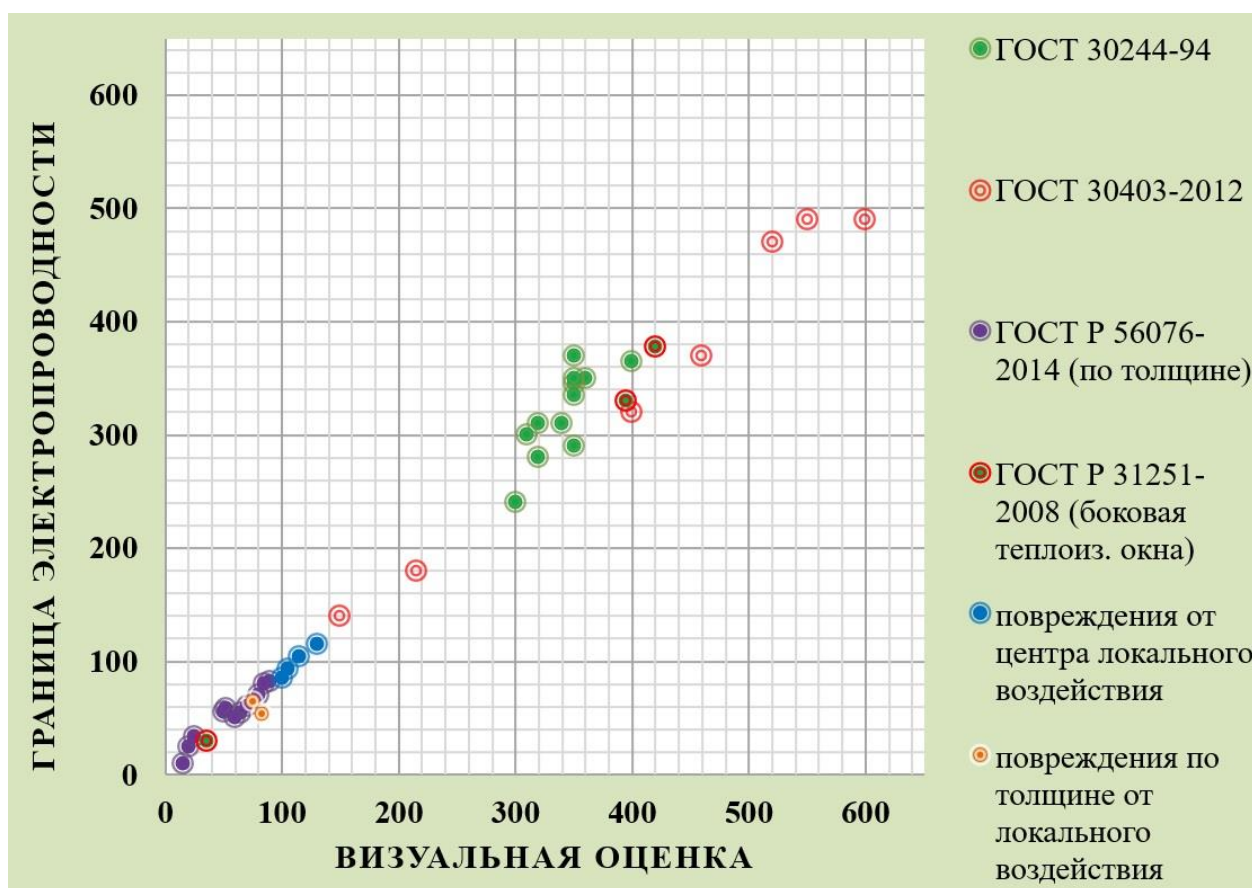


Рис. 2. Диаграмма рассеяния положений границ зон изменений цвета и границ изменений электропроводности для образцов минеральной ваты и минеральной ваты в составе сэндвич-панелей, испытанных различными методами на горючесть и огнестойкость

Известно, что определение электрического сопротивления обугленных остатков полимеров не рекомендуется для исследования повреждений ряда материалов, в частности, полиуретанов, из-за того, что твёрдый остаток образуется в очень незначительных количествах, а по своей структуре и свойствам он далёк от обычных углеродных коксовых остатков, последовательно меняющих электрическое сопротивление с ужесточением режима пиролиза [8].

Авторами также установлено, что для исследованных образцов ПИР положения видимых границ повреждений и электропроводных зон существенно отличаются (рис. 3). Вместе с тем и здесь имеется корреляция между визуальной оценкой и результатом измерения (рис. 4), также смещение видимой границы однонаправленно с изменением положения границы электропроводной зоны.

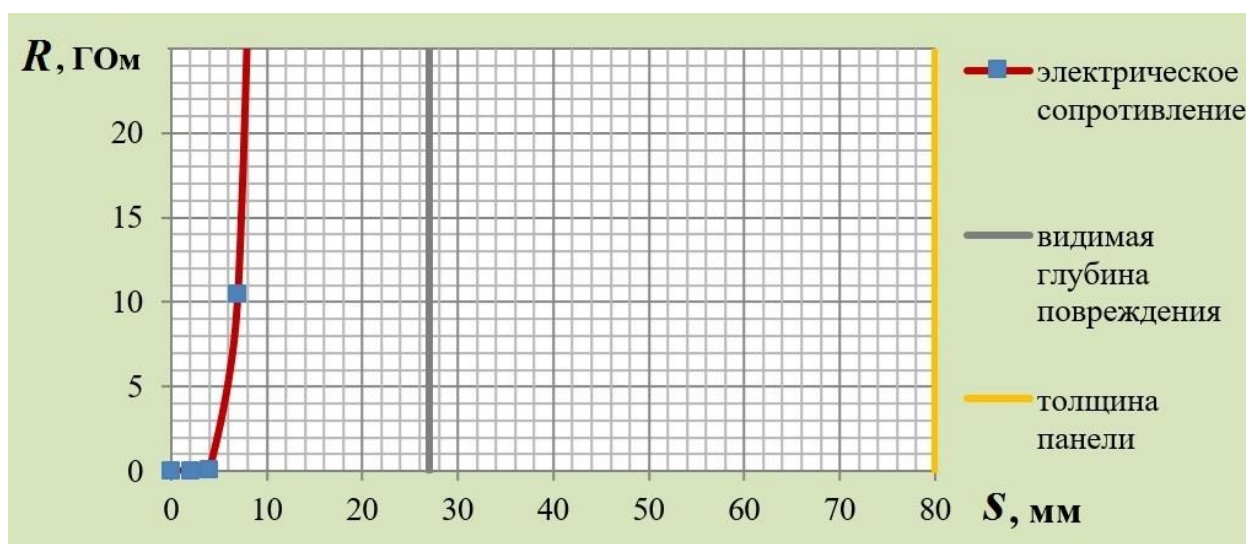


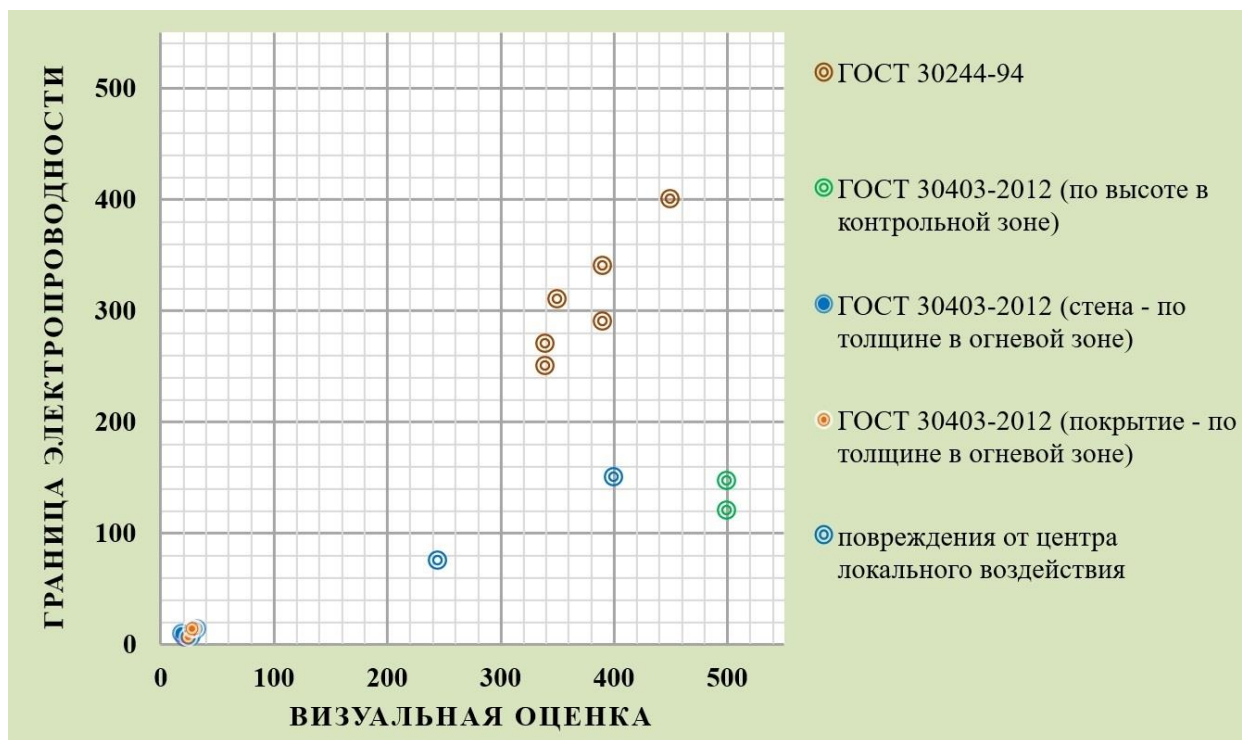
Рис. 3. Типичный график изменений сопротивления (R) по толщине (S) повреждённого ПИР в составе сэндвич-панели при испытании строительной конструкции на огнестойкость

Появление электропроводности исследованных модификаций ПИР замечено по длине и толщине повреждённых образцов только там, где имело место явное образование углеродных коксовых остатков, то есть химические реакции шли до конца и повреждения были наиболее существенными. В этом случае отсутствие электропроводности может свидетельствовать о том, что материал не распространял горения и самостоятельно затухал.

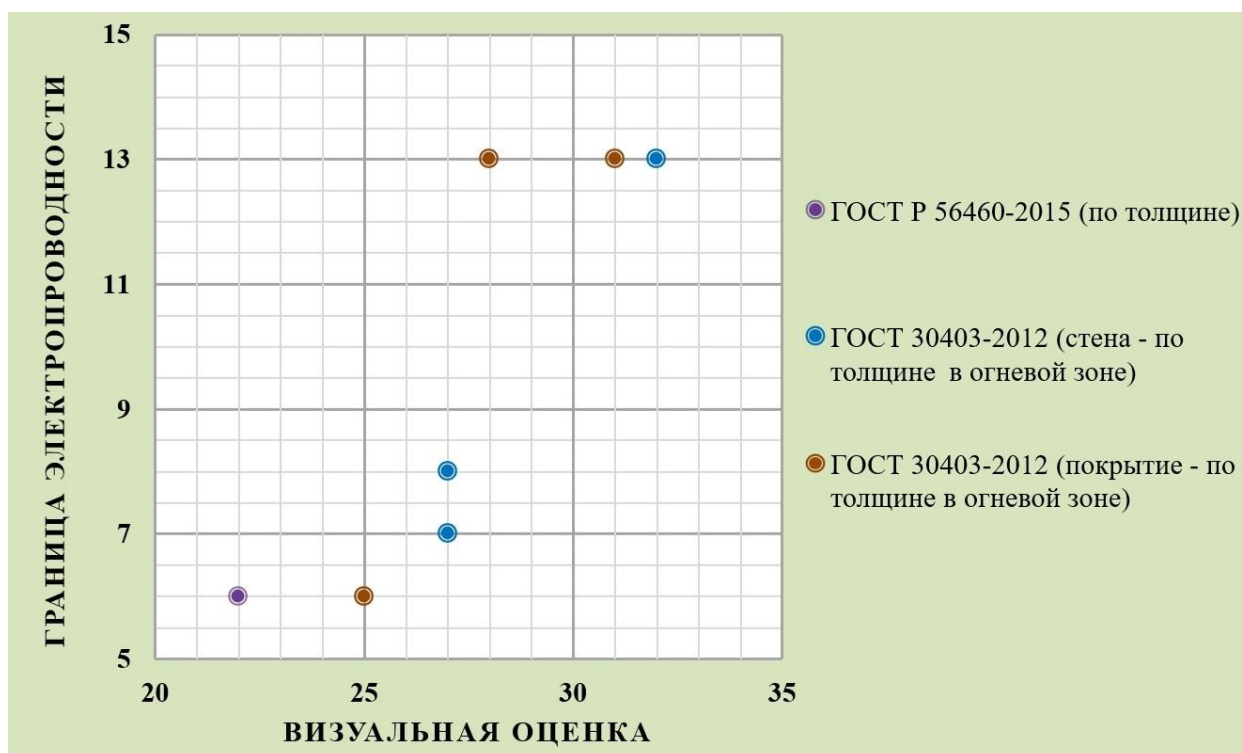
Авторами замечено, что некоторые ошибки измерений могут возникнуть из-за различной природы электропроводности. Полученные экспериментальные данные об отклонениях результатов измерений выделены и проиллюстрированы графиком на рис. 5.

На электропроводность повреждённой минеральной ваты влияет влажность окружающего воздуха. Просушка образца приводит к увеличению электрического сопротивления. Охлаждение обеспечивает адсорбция водяного пара и уменьшение R . При температуре выше $60...80\text{ }^{\circ}\text{C}$ минеральная основа с зольными остатками связующих веществ (обычно серого цвета) ведёт себя как диэлектрик.

Электропроводность углеродных коксовых остатков увеличивается с ростом температур, возможно, из-за улучшения контакта между частицами, поэтому сопротивление $R_{\text{пир}}$ на графике в средней части уменьшается. Аналогичная тенденция имеется и в начале графика $R_{\text{мв}}$: видимо, в случае минеральной ваты складываются эффекты от увеличения контакта между частицами золы и от уменьшения влажности.



a)



б)

Рис. 4. Диаграмма рассеяния положений видимых границ и границ электропроводности повреждений для образцов ПИР в составе сэндвич-панелей, испытанных различными методами:
a – все данные; *б* – при размере повреждений менее 35 мм

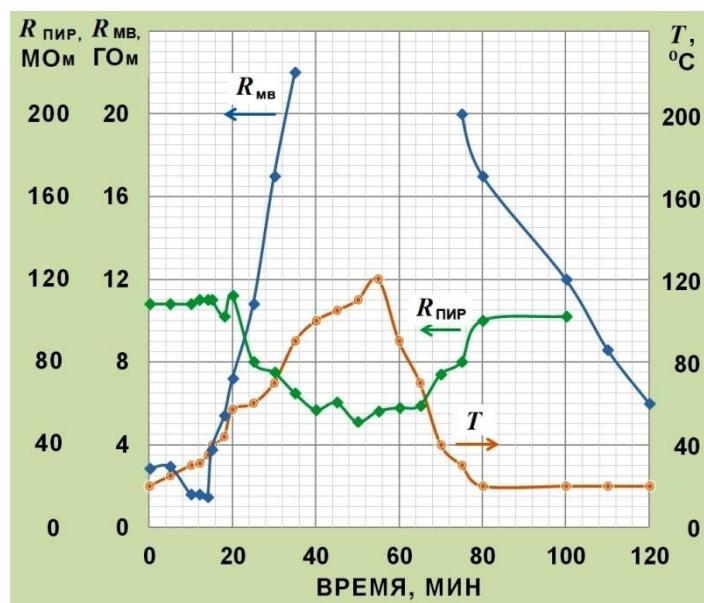


Рис. 5. Типичные изменения электросопротивлений повреждённых ПИР ($R_{\text{Пир}}$) и МВ ($R_{\text{Мв}}$) при изменениях температуры образцов T

Выводы

1. Контроль электропроводности апробирован в исследованиях образцов минеральной ваты, повреждённых при огневых испытаниях строительных конструкций и материалов. Метод рекомендуется для определения положения границ повреждений.

2. Измерение электрических сопротивлений повреждённых теплоизоляционных материалов из пенополиизоцианурата можно проводить для качественной оценки результатов огневых испытаний (распространения горения, самостоятельного затухания).

3. Показано, что контактные и бесконтактные приборы могут выполнять функции средств объективного контроля границ повреждений. Рекомендуется разработка специализированного оборудования для оценки результатов пожарно-технических испытаний теплоизоляционных строительных материалов и конструкций по их электрическому сопротивлению.

Литература

1. *Федеральный закон* от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности" (в редакции от 13 июля 2015 г.).
2. *ГОСТ* 30244-94. Материалы строительные. Методы испытаний на горючесть.
3. *ГОСТ Р* 31251-2008. Стены наружные с внешней стороны. Метод испытаний на пожарную опасность.
4. *ГОСТ* 30403-2012. Конструкции строительные. Метод испытания на пожарную опасность.
5. *ГОСТ Р* 56076-2014. Конструкции строительные. Конструкции из панелей с металлическими обшивками. Методы испытаний на огнестойкость и пожарную опасность.
6. *ГОСТ Р* 56460-2015. Конструкции строительные. Метод испытания покрытий на пожарную опасность с внешней стороны.
7. *ГОСТ* 31913-2011 (EN ISO 9229-2007). Материалы и изделия теплоизоляционные. Термины и определения.
8. *Чешко И.Д.* Экспертиза пожаров, СПб., 1997. 817 с.
9. *Чешко И.Д.* Технические основы расследования пожаров: методическое пособие, СПб., 2001. 254 с.
10. *Выявление* очаговых признаков и путей распространения горения методом исследования слоёв копоти на месте пожара: методические рекомендации // Согласованы с Департаментом надзорной деятельности МЧС России 09.06.2008 г., Утверждены ВНИИПО МЧС России 09.06.2008. <http://www.pr-soft.ru/e-lib/Data1/57/57679/index.htm#i48005>.