

## Сравнителен анализ на резултатите от измервания на коефициента на топлопроводност на топлоизолационно покритие АКТЕМ

Пенка Златева, Росица Петкова-Слипец

**Comparative analysis of the results of measurements of the thermal conductivity of the insulating coating AKTERM:** In this paper is presented a comparative analysis of experimental results obtained in determining the thermal conductivity of the insulating material AKTERM. Measurements were made by the method of infinite flat layer and the modified method of transient plane source.

*Heat insulating coating AKTERM belongs to new energy efficient materials with energy-saving and anti-corrosion effect. It is acrylic water-based solution, an alternative to conventional decorative coating materials for wall surfaces. It has low heat penetrability due to its low thermal conductivity.*

**Key words:** Thermal conductivity, Insulating coating AKTERM, Method of infinite flat, Modified transient plane source (MTPS) method, Non-destructive thermal analysis.

### ВЪВЕДЕНИЕ

През последното десетилетие водещите световни фирми в строителния бранш започнаха производството на hi-tech термокерамични покрития, които се нанасят като боя и имат значителен енергоспестяващ ефект при отопление или охлаждане на сградите и помещенията. Този тип термопокрития, първоначално приложени в аерокосмическата индустрия, ни дават уникалния шанс заедно с боядисването да топлоизолираме жилищата си и по този начин да си осигурим оптимален температурен комфорт в тях. При вътрешно приложение на боята, изолационният микрофилм не позволява на топлината да напусне дома. При външно приложение покритието ограничава проникването на студа в сградата през зимата, и на топлината през лятото.

От изложеното до тук става ясно, че постоянно променящите се условия и изисквания на нормативната база налагат непрекъснато търсене на нови решения. Според различните производители на топлоизолационни покрития коефициентът на топлопроводност на предлаганите от тях продукти е в различни граници. Във връзка с очакваното масово навлизане в практиката на свръхтънките топлоизолационни покрития, очевидна е необходимостта от контрол на декларираните им параметри и най-вече на коефициента на топлопроводност [1, 4].

В настоящата работа е направен сравнителен анализ на експериментални резултати от измервания на коефициента на топлопроводност на топлоизолационно покритие АКТЕМ. При определянето на коефициента на топлопроводност са използвани метода на неограничения плосък слой и модифицирания метод на кратковременния равнинен топлинен източник.

Топлоизолационното покритие АКТЕМ е течна композиция на водна основа, състояща се от синтетичен каучук, акрилни полимери, диспергирани в тази композиция керамични и силиконови кухи сфери (с размери съответно 0.01mm и 0.02mm), а така също оксиди на титан, калций и цинк. След нанасяне, изсъхване и полимеризация се образува покритие, което изпълнява ролята на топлинно огледало и осигурява устойчива температурна бариера. Поради високата степен на запълване с микросфери, съдържащи разреден въздух, полученото покритие притежава изключително нисък коефициент на топлопроводност.

### ИЗЛОЖЕНИЕ

Формулираният по-горе проблем е решен чрез измервания на коефициента на топлопроводност на топлоизолационно покритие АКТЕМ по следния начин:

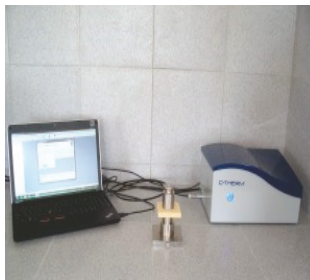
### 1. Метод на неограничения плосък слой

За целта е използвана апаратура (стенд), която работи по този метод, наречен още „Метод на Д-р Бок”. Той е показан на фиг.1. Стендът служи за определяне на коефициента на топлопроводност  $k$  в диапазона от 0,029 до 1,98 W/(m.K) ( $0.025 \div 1.7$  kcal/(m.h.grad)) на естествени и синтетични дребнопористи, пористи и влакнести материали.

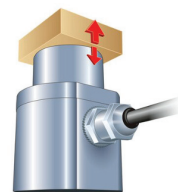
**Принцип на действие на стенда** – между две плоски плочи с различни температури се поставя опитния образец. Плочата с по-висока температура (горещата плоча) поддържа постоянна температура чрез подаване на електрическа енергия. Температурата на по-студената плоча (студената) се поддържа постоянна чрез отвеждане на топлина посредством вода. Горещата плоча се обхваща от предпазна плоча със същата температура, вследствие на което се предотвратяват загубите на топлина към околното пространство и топлинния поток се насочва към образеца. Така при квазистационарен режим подаваната електрическа мощност към горещата плоча е пропорционална на топлинния поток към образеца [1].



Фиг.1. Стенд „Д-р Бок”



Фиг.2. Анализатор за измерване на топлопроводност



### 2. Анализатор за безразрушително измерване на топлопроводност - TCi Mathis Thermal Conductivity Analyzer

Приборът има широк диапазон на измерване на коефициента на топлопроводност ( $k = 0-220$  W/(m.K)) в температурни граници ( $-50$  °C -  $200$  °C) и е показан на фиг.2. Позволява прецизно измерване на коефициента на топлопроводност с точност до  $\pm 1\%$ . Времето за извършване на тест е 5 секунди. Материалът на изследваните образци може да бъде под формата на твърди тела, течности, кремообразни или прахове.

**Принцип на действие на анализатора** – върху прибора се поставя изследвания образец. Към нагревателния елемент на сензора се подава ток, произвеждащ необходимото количество топлина. В резултат на произведената топлина, температурата на граничната повърхност между сензора и образеца се повишава. Това повишаване на температурата предизвиква промяна в спада на напрежението на сензора. Скоростта на нарастване на напрежението на сензора се използва за определяне на топлинните свойства на материала на изследвания образец. Теплофизичните свойства на материала на образеца са обратно пропорционални на скоростта на нарастване на напрежението на сензора. Резултатите от измерванията се обработват със специализиран софтуер към апарата (фиг.2), [5].

### 3. Обработка на получените резултати

Коефициентът на топлопроводност ( $k$ ) на топлоизолационното покритие

АКТЕРМ не може да бъде определен директно, тъй като стойността за  $k$  няма да е в интервала от 0,029 до 1,98 W/(m.K). За да се извърши експеримента е необходимо да се използва материал, на който топлофизичните характеристики са добре познати и върху него да се нанесе покритието АКТЕРМ. По този начин образецът става двуслоен и експериментално може да бъде определен еквивалентният коефициент на топлопроводност. Измерват се с достатъчна точност дебелините на основния слой материал и на слоя топлоизолационно покритие. Термичното съпротивление на образца е сума от термичните съпротивления на основната плоча и на нанесеното покритие [2], [3]:

$$\frac{\delta_{\Sigma}}{k_{\text{екв}}} = \frac{\delta_{\text{м}}}{k_{\text{м}}} + \frac{\delta_{\text{акт}}}{k_{\text{акт}}} \quad (1)$$

Коефициентът на топлопроводност на покритието се пресмята по зависимостта:

$$k_{\text{акт}} = \frac{\delta_{\text{акт}}}{\frac{\delta_{\Sigma}}{k_{\text{екв}}} - \frac{\delta_{\text{м}}}{k_{\text{м}}}} \quad (2)$$

където:  $k_{\text{акт}}$  - коефициент на топлопроводност на АКТЕРМ, W/(m.K);

$\delta_{\text{акт}}$  – дебелина на слоя АКТЕРМ, m;

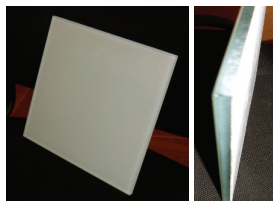
$\delta_{\Sigma}$  – сумата от дебелините на основната плоча и слоя АКТЕРМ, m;

$k_{\text{екв}}$  – еквивалентния коефициент на топлопроводност, който се измерва експериментално с помощта на стенда „Д-р Бок“, W/(m.K);

$\delta_{\text{м}}$  - дебелина на основната плоча, m;

$k_{\text{м}}$  - коефициент на топлопроводност на основната плоча, W/(m.K).

За определяне на коефициента на топлопроводност на топлоизолационното покритие АКТЕРМ е прието, то да бъде нанесено върху стъклена плоча с размери 0,22x0,22x0,008m, съответно фиг.3.



Фиг.3. Опитен образец с нанесен слой термоизолационно покритие АКТЕРМ върху стъкло

За да се получи коефициент на топлопроводност на топлоизолационното покритие АКТЕРМ с по-голяма точност е необходимо да се направи експеримент само със стъкло. По този начин се определя експериментално коефициента на топлопроводност на стъклото – величината  $k_{\text{м}}$  във формула (2).

#### 4. Експериментални резултати

На базата на описаните по-горе експериментални постановки на двата уреда са проведени 7 експеримента, които са представени по-долу.

##### Експеримент № 1

От таблица за топлофизичните характеристики на строителните материали е взета стойността за коефициента на топлопроводност на стъклото  $k_{\text{ст}} = 0,81$  W/(m.K),

която е необходима за определяне на диапазона на работа на стенда. От диаграмата на обхвата на използване на уреда се вижда, че дебелината на образеца не влиза в обхвата на използване на уреда [1]. За целта е необходимо да се използва образец от стъкло с по-голяма дебелина, а именно  $\delta_{\text{ст}} = 0,015\text{m}$ . По този начин е удовлетворено изискването за обхвата на уреда. От същата диаграмата е отчетено, че обхвата на стенда е на позиция №12.

Образецът е поставен между студената и топлата плоча, като предварително всички контактни повърхности са добре почистени. С микрометрите на уреда са измерени дебелините в четирите среди на стените на стъклото. След като е установено, че няма нужда от допълване на термостатите с дестилирана вода и електрическата мрежа е в изправност, стенда е включен чрез неговия захранващ по напрежение ключ. Позицията на стрелката, показваща стойността на консумираното напрежение, трябва да е в червения сектор на скалата, в противен случай е необходима корекция с 5-позиционния ключ на стенда. След достигане на установения режим на работа на уреда, са извършени отчитания на показанията на температурата на околния въздух, температурата на охлаждащата вода от водопровода, електромера на стенда и температурите на входа и изхода на студената и предпазната плоча, на всеки 30min в продължение на 2,5h.

Въз основа на получените стойности е изчислен коефициента на топлопроводност на стъклото и получената стойност е  $k_{\text{ст}}=0,748 \text{ W/(m.K)}$ .

#### *Експеримент №2*

По горепосочения начин са направени измервания на още един образец от стъкло и въз основа на получените стойности е изчислен коефициента на топлопроводност -  $k_{\text{ст}}=0,760 \text{ W/(m.K)}$ .

#### *Експеримент №3*

Използван е образец от стъкло с нанесено върху него покритие АКТЕРМ. С цел по-голяма точност на проведените експерименти, дебелината на стъклото, което се използва за основа, е измерена в лабораторни условия в 144 точки, с точност до 0,001mm. Взета е средната стойност от това измерване  $\delta_{\text{ст}}=0,007789 \text{ m}$ . Върху една от страните на стъклото е нанесено топлоизолационно покритие АКТЕРМ и отново е измерена дебелината в същите точки, при същите условия.

Нанасянето на покритието е извършено с разпръсквач (пистолет за боядисване) с дюза 1,5mm. След полимеризация на покритието е измерена дебелината на образеца от стъкло и АКТЕРМ. Нанесеният слой от топлоизолационното покритие АКТЕРМ е със средна дебелина  $\delta_{\text{акт}}=0,3647\text{mm}$ . Образецът е поставен в стенда с изолационното покритие към студената плоча на уреда. Изследването протича по аналогичен начин, както при стъклото, но въз основа на дебелината и очакваната стойност на еквивалентния коефициент на топлопроводност, обхвата на стенда се променя на позиция №5. След отчитане на стойностите от експеримента, се изчислява  $k_{\text{екв}}=0,05244 \text{ W/(m.K)}$ . По формула (2) се определя  $k_{\text{акт}}=0,002487 \text{ W/(m.K)}$ .

#### *Експеримент №4*

Към топлоизолационното покритие АКТЕРМ на образеца е нанесен допълнителен слой, увеличаващ дебелината му ( $\delta_{\text{акт}}=0,004125\text{m}$ ). Образецът е поставен в стенда с покритието АКТЕРМ към топлата плоча на уреда.

За сравнение на получените данни са проведени експерименти №5, №6 и №7 и резултатите от тях са дадени в табл. 1. При експ.№5 и експ.№6, опитите са направени с топлоизолационния слой към топлата плоча, а експ. №7 към студената плоча на стенда. Обхватът на стенда е променен в позиция №6.

На същите образци са направени аналогични изследвания с анализатора за

измерване на топлопроводност. При експ. №1 образец от стъкло с дебелина  $\delta_{\text{ст}} = 0,008 \text{ m}$  е поставен върху прибора, след което са спазени следните условия: в началния момент на провеждане на всеки от експериментите сензора и образеца се намират в топлинно равновесие, т.е имат една и съща начална температура; контактното съпротивление между сензора и образеца е нула. Измерванията са направени в 20 точки и след обработка със софтуера, получените резултати са усреднени. Стойността на коефициента на топлопроводност е  $k_{\text{ст}} = 0,828 \text{ W/(m.K)}$ . За сравнение при същите условия е направен експ. №2 отново върху стъкло и е получена стойност  $k_{\text{ст}} = 0,831 \text{ W/(m.K)}$ . При експерименти №3,4,5,6 и 7 са спазени същите условия както при опитите на стенда на „Д-р Бок“ и получените резултати са представени в табл. 1.

**Табл.1 Резултати получени от експериментите с топлоизолационно покритие АКТЕРМ**

Резултати от			Стенд на „Д-р Бок“			Анализатор за измерване на топлопроводност			
№	$\delta_{\text{ст}}$	$\delta_{\text{акт.}}$	$\delta_{\text{г}}$	$k_{\text{ст}}$	$k_{\text{акт.}}$	$k_{\text{екв}}$	$k_{\text{ст}}$	$k_{\text{акт.}}$	$k_{\text{екв}}$
	m	m	m	W/(m.K)	W/(m.K)	W/(m.K)	W/(m.K)	W/(m.K)	W/(m.K)
3	0,00787	0,00036	0,00823	0,748	<b>0,002487</b>	0,05244	0,828	<b>0,002985</b>	0,06253
4	0,00799	0,00041	0,00840	0,748	<b>0,002832</b>	0,05792	0,828	<b>0,003358</b>	0,06349
5	0,00778	0,00026	0,00805	0,760	<b>0,002334</b>	0,05599	0,831	<b>0,002636</b>	0,07331
6	0,00778	0,00023	0,00778	0,760	<b>0,002247</b>	0,05432	0,831	<b>0,002559</b>	0,07137
7	0,00778	0,00023	0,00778	0,760	<b>0,002233</b>	0,05387	0,831	<b>0,002541</b>	0,07089

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Въз основа на проведените по-горе експерименти и получените резултати за топлоизолационното покритие АКТЕРМ може да бъдат направени следните изводи:

1. Полученият резултат за стойността на коефициента на топлопроводност на топлоизолационното покритие АКТЕРМ, нанесен върху стъкло и изследван на стенда на „Д-р Бок“ е  $k=0,002427 \text{ W/(m.K)}$ .

2. Полученият резултат за стойността на коефициента на топлопроводност на топлоизолационното покритие АКТЕРМ, нанесен върху стъкло и изследван на анализатора за измерване на топлопроводност е  $k=0,002816 \text{ W/(m.K)}$ .

3. Сравнителният анализ от двата апарата показва, че се наблюдава добра повтаряемост на получените резултати за коефициента на топлопроводност и това е основание за потвърждаване на високите топлоизолационни качества на покритието АКТЕРМ.

Представените по-горе изводи за определеният чрез експериментални изследвания коефициент на топлопроводност са основание за потвърждаване възможностите за добри приложения на изследвания топлоизолационен материал АКТЕРМ на места, където съвременните топлоизолационни материали не са приложими.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Русев Д., П.Златева, А. Киров, Н. Тризлова, Определяне на коефициента на топлопроводност на топлоизолационен материал АКТЕРМ, МНК "Проектиране и строителство на сгради и съоръжения", изд. на НТС по строителство, София, 2012
- [2] Grigoriev, V.A., V.M. Zorin (ed.) Theoretical Foundations of Heat. Thermal experiment, Handbook, Energoatomizdat, 1988
- [3] Ohotin A. et al - Thermal conductivity of solids, Handbook, Moscow, Energoatomizdat, 1984

[4] [www.akterm.ru](http://www.akterm.ru)

[5] [www.ctherm.com](http://www.ctherm.com)

**За контакти:**

Доц. д-р инж. Пенка Златева, Катедра “Топлотехника”, ТУ-Варна, тел.: 052-383 341, e-mail: [pzlateva1@abv.bg](mailto:pzlateva1@abv.bg)

Доц. д-р инж. Росица Петкова-Слипец, Катедра “Строителство на сгради и съоръжения”, ВСУ “Черноризец Храбър”, тел.: 052-359 588, e-mail: [r\\_slipets@abv.bg](mailto:r_slipets@abv.bg)

*При подготовката на публикацията е използвано оборудване, закупено по проект BG161PO003-1.2.02-0039 “Създаване на нов офис за технологичен трансфер за енергийно ефективни материали и технологии на територията на ВСУ „Черноризец Храбър”, осъществяващ се с финансовата подкрепа на ОП „Развитие на конкурентоспособността на българската икономика” 2007-2013, съфинансирана от Европейския съюз чрез Европейски фонд за регионално развитие и от държавния бюджет на Р. България”.*

**Докладът е рецензиран.**