

## Исследование теплоизоляционных свойств пенополиизоциануратных (ПИР) сэндвич-панелей при пониженных температурах.

*Евгений Стукань*  
*кандидат химических наук,*  
*заведующий лабораторией научно-технического центра*  
*ООО “Эластокам” – совместное предприятие ПАО Нижнекамскнефтехим и*  
*BASF Polyurethanes GmbH, Санкт-Петербург, Россия*

### **Введение**

Полиизоциануратные (ПИР) панели широко используются в строительстве в качестве теплоизоляционного материала с пониженной горючестью по сравнению с обычным пенополиуретаном. Повышенная огнестойкость ПИР панелей объясняется наличием в полимерной матрице полиизоциануратных структур, образование которых требует специального состава полиольного компонента (компонент А), значительного избытка изоцианата (компонент Б) и особых условий переработки.

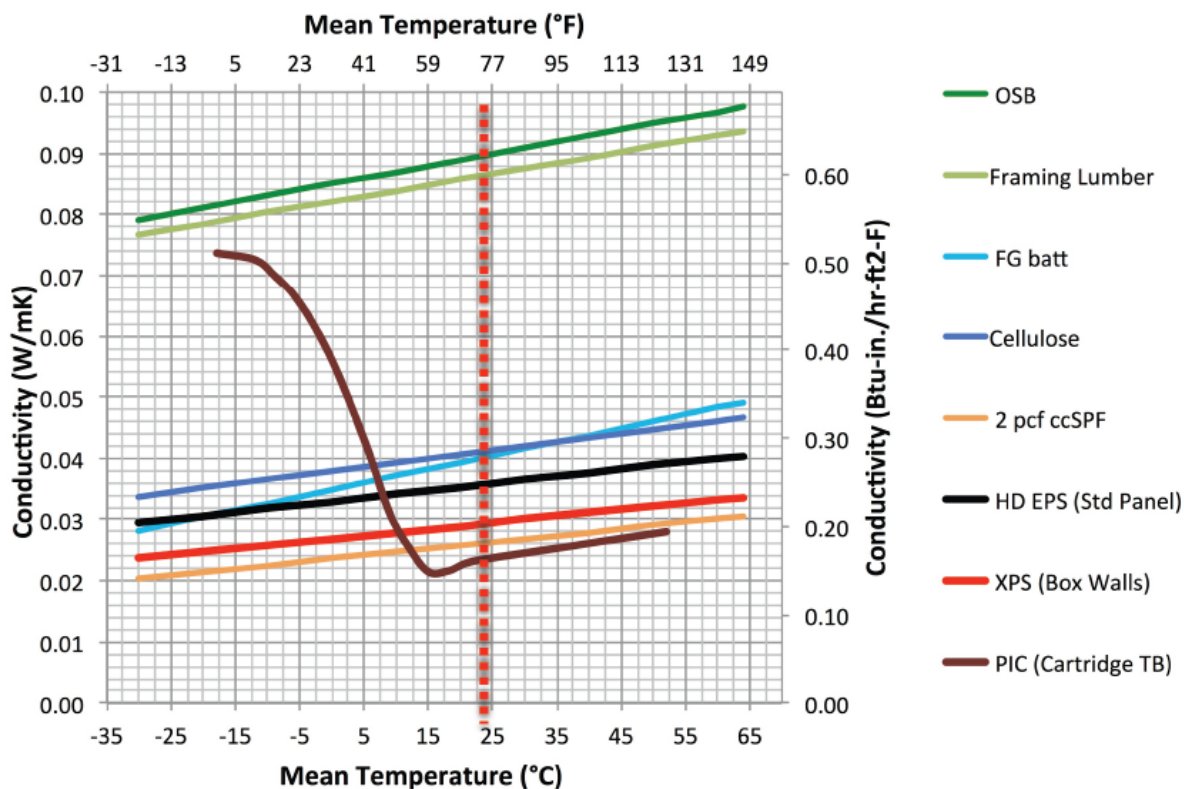
На сегодняшний день, пенополиуретан (ППУ), а также его менее горючий аналог - полиизоцианурат (ПИР) являются наиболее эффективными материалами для теплоизоляции среди всех существующих на сегодняшний день теплоизоляционных материалов.

Следует отметить, что величина коэффициента теплопроводности (Лямбда) материала складывается из нескольких факторов, но наибольший вклад в ее значение вносит газ, содержащийся в ячейках полимера [1], образование которого является следствием использования соответствующего вспенивающего агента. Можно выделить две группы вспенивающих агентов: химические (вода, муравьиная кислота) и физические (фреоны, пентаны, метилаль, т.е. низкокипящие инертные органические вещества). Химические вспениватели реагируют с изоцианатным компонентом, что в итоге приводит к образованию углекислого газа. В случае физических вспенивателей образование газа происходит за счет перехода вспенивающего агента из жидкого в газообразное состояние в условиях экзотермической реакции компонента А и Б.

Теплопроводность материалов обычно измеряют при средней температуре 10°C (Европа) или 23,9°C (США) [2], однако, иногда используют и другие значения. При этом, величина теплопроводности пенополиуретана и пенополиизоцианурата обычно имеет линейную зависимость от средней температуры.

### **Обсуждение**

Недавно, американская компания Building Science Corporation опубликовала результаты своего исследования [3], наиболее интересной частью которого стало наблюдаемое авторами необычное поведение теплоизолирующей способности ПИР панелей. Так, в отличие от других исследуемых материалов, чья величина теплопроводности имела линейную зависимость от средней температуры, теплопроводность ПИР панелей резко ухудшалась при понижении средней температуры ниже +15°C (Рис. 1), при этом никаких научных обоснований наблюдаемых результатов эксперимента, к сожалению, не приводилось.



**Рис. 1. Резкое увеличение коэффициента теплопроводности ПИР панели при уменьшении средней температуры ниже 15°C, согласно исследованию Building Science Corporation [3].**

Интересно, что авторы работы [4], также ссылающиеся на исследование Building Science Corporation [3] объясняют наблюдаемое резкое ухудшение теплопроводности ПИР панелей возможной конденсацией вспенивающего агента, находящегося в ячейках материала при понижении температуры. Таким образом, согласно авторам работы [4], наблюдаемые теплоизоляционные свойства, в первую очередь, зависят от типа и количества вспенивающего агента, где главную роль играет его температура кипения.

В этой связи, существенным недостатком американского исследования [3] является не только лишь констатация наблюдаемых фактов без какого-либо глубокого научного объяснения, а также отсутствие данных о химическом составе используемых полиуретановых и полиизоциануратных панелей (типе и количестве вспенивающего агента), осложняющее интерпретацию довольно интересных с научной точки зрения результатов. Также, в дополнение к проведенным авторами [3] исследованиям сборных стеновых конструкций, для выявления истинных причин наблюдаемых результатов, логично было бы произвести оценку теплопроводности непосредственно материала теплоизоляционного слоя, что, к сожалению, сделано не было.

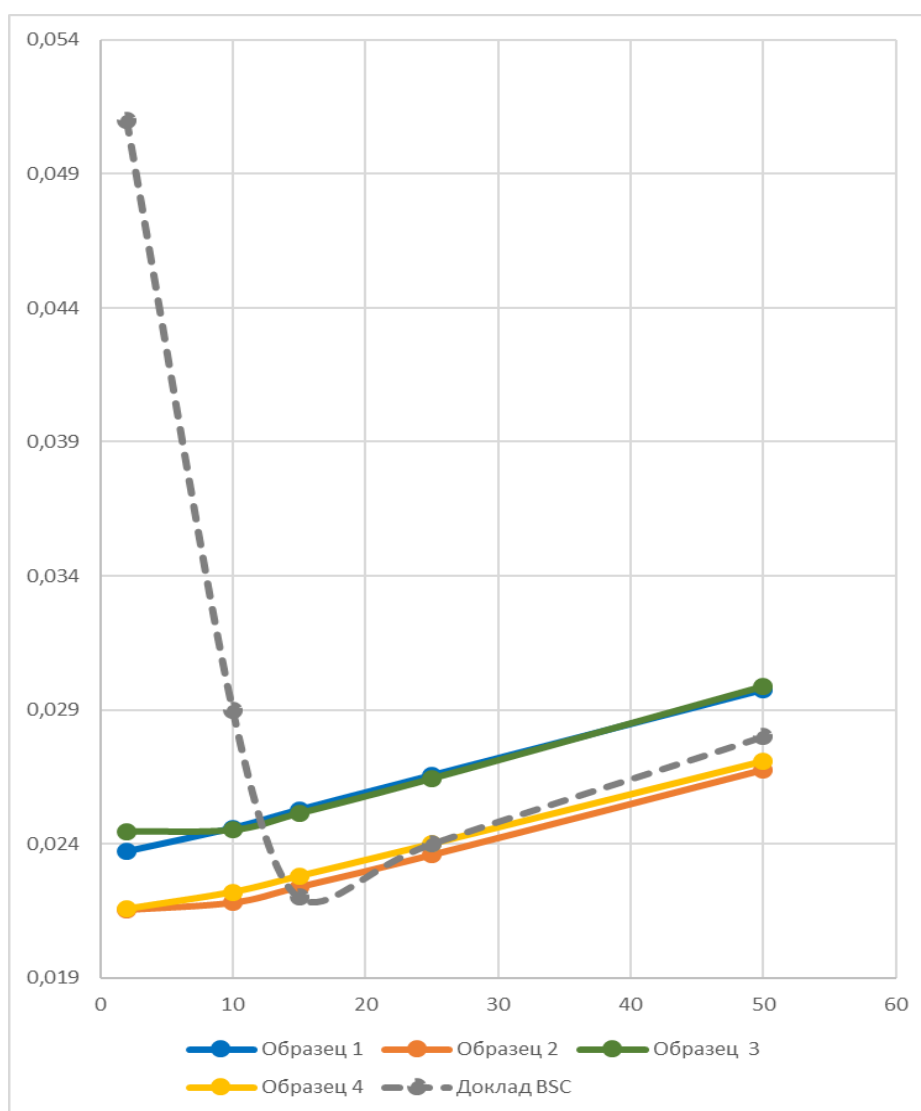
В настоящей работе, для проверки достоверности полученных ранее американскими исследователями данных и выявления причин весьма необычного поведения теплоизолирующей способности ПИР панелей при пониженных средних температурах, мы попробовали осуществить аналогичный эксперимент на собственном исследовательском оборудовании.

С этой целью нами был осуществлен анализ теплопроводности ПИР панелей четырех отечественных производителей.

Измерение теплопроводности осуществляли с использованием прибора Taugus TCA 300 DTX (производитель: Taugus GmbH, Германия) последовательно при пяти различных средних температурах (2, 10, 15, 25, 50 °С) в одном цикле измерений с градиентом 5°С (разница температур 10°С).

Образцы для испытаний изготавливались из ядра фрагментов четырех сэндвич панелей с облицовкой из металла и представляли собой панели из пенополиизоцианурата (ПИР) размером 300×300×25 мм. Измерение начального значения теплопроводности осуществляли при средней температуре 10°С спустя 24 часа после изготовления образцов и их кондиционирования при комнатной температуре (Таблица 1). Измерение теплопроводности в ряду средних температур 2, 10, 15, 25, 50°С осуществляли 90 дней спустя изготовления образцов.

В соответствии с опубликованным в работе [3] графиком изменения величины теплопроводности в зависимости от средней температуры (Рис 1), логично было ожидать скачка теплопроводности более чем в два раза от 0,021 до 0,051 Вт/м\*К при понижении средней температуры от 15°С до 2°С. Однако, при исследовании четырех образцов ПИР сэндвич-панелей увеличения коэффициента теплопроводности нами зафиксировано не было (Рис.2, Таблица 1).



**Рис. 2. Теплопроводность четырех ПИР сэндвич-панелей различных производителей в интервале средних температур от 2 до 50°С девяносто дней спустя изготовления образцов в сравнении с ранее опубликованными данными Building Science Corporation [3] (пунктирная линия).**

<b>Таблица 1. Результаты измерения теплопроводности четырех ПИР сэндвич-панелей различных производителей в интервале средних температур от 2 до 50°C</b>					
Средняя температура, °C	Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Доклад BSC [3] (приблизительные значения)
<b>Начальное значение коэффициента теплопроводности, Вт/м*К</b>					
10	0,01998	0,01978	0,02068	0,01994	
<b>Коэффициент теплопроводности спустя 90 дней после изготовления образцов, Вт/м*К</b>					
2	0,02371	0,02153	0,02446	0,02157	0,051
10	0,02459	0,0218	0,02452	0,0222	0,029
15	0,02527	0,02238	0,02514	0,02279	0,022
25	0,02656	0,02358	0,02644	0,02399	0,024
50	0,02977	0,02675	0,02989	0,02706	0,028

Как видно из Рисунка 2 и Таблицы 1, начальное значение коэффициента теплопроводности практически всех исследуемых образцов соответствует обычно декларируемой для ПИР панелей величине 0,022 Вт/м\*К. Увеличение коэффициента теплопроводности спустя 90 дней после изготовления образцов связано с протеканием процесса диффузии газов, находящихся в ячейках материала и внешней среде, и считается нормальным явлением для пенополиуретана или пенополиизоцианурата с отсутствующим покровным материалом и деформированными (в данном случае в процессе распилки) ячейками верхнего слоя.

В случае образцов 2 и 3 величины коэффициентов теплопроводности при средних температурах 2 и 10°C имеют небольшую разницу и их кривые в этом диапазоне приобретают более пологий вид. Вместе с тем, следует отметить, что коэффициент теплопроводности для всех исследованных образцов имеет линейную зависимость от средней температуры, как и для других материалов, указанных в докладе BSC [3].

### **Заключение**

Таким образом, на реальных промышленных образцах ПИР сэндвич-панелей Российских производителей экспериментальным путем было показано, что тенденция к резкому увеличению коэффициента теплопроводности при понижении средней температуры ниже 15°C отсутствует, а результаты ранее опубликованной работы Building Science Corporation [3] не соответствуют действительности и вызывают большие сомнения. По крайней мере, их нельзя рассматривать в отношении Российских производителей, для которых типичным вспенивающим агентом является н-пентан, либо его смеси с изо-пентаном в различных соотношениях (80:20, 70:30), в отличие от Американской полиуретановой отрасли, где также используется циклопентан, имеющий более высокую температуру кипения и, как следствие, более высокую склонность к возможной конденсации в ячейках полимера при пониженных температурах.

### **Использованные источники:**

1. Leppkes R. Polyurethans A versatile specialty plastic. Sixth edition. Verlag Moderne Industrie. 2012. 70 P
2. Randall D., Lee S. The polyurethanes book. John Wiley & Sons, LTD. 2002. 477 P.
3. Building Science Corporation RR-0002: The Thermal Metric Project - Summary Report: <https://buildingscience.com/documents/special/thermal-metric-documents/thermal-metric-summary-report>
4. Owens Corning Technical Bulletin Capturing the Thermal Performance of FOAMULAR® Extruded Polystyrene (XPS) vs. Polyisocyanurate: <http://www.owenscorning.com/NetworkShare/EIS/10019949-FOAMULAR-XPS-vs-Polyiso-Tech-Bulletin.pdf>

# Investigation of thermal isolation properties of polyisocyanurate (PIR) sandwich-panels at decreased mean temperatures.

*Dr. Evgeny Stukan*

*Head of Laboratory / Development & Product Testing*

*OOO "Elastokam" – joint venture between PAO Nizhnekamskneftechim and BASF Polyurethanes GmbH, St.Petersburg, Russia*

## **Introduction**

Polyisocyanurate (PIR) panels are widely used in the construction industry as a thermal insulation with decreased flammability in contrast to conventional PUR foam. The improved fire behavior of PIR panels is a result of polyisocyanurate moieties presence in polymer matrix that can be formed in special conditions including polyol composition (Component A), considerable excess of isocyanate (Component B) and particular production line parameters.

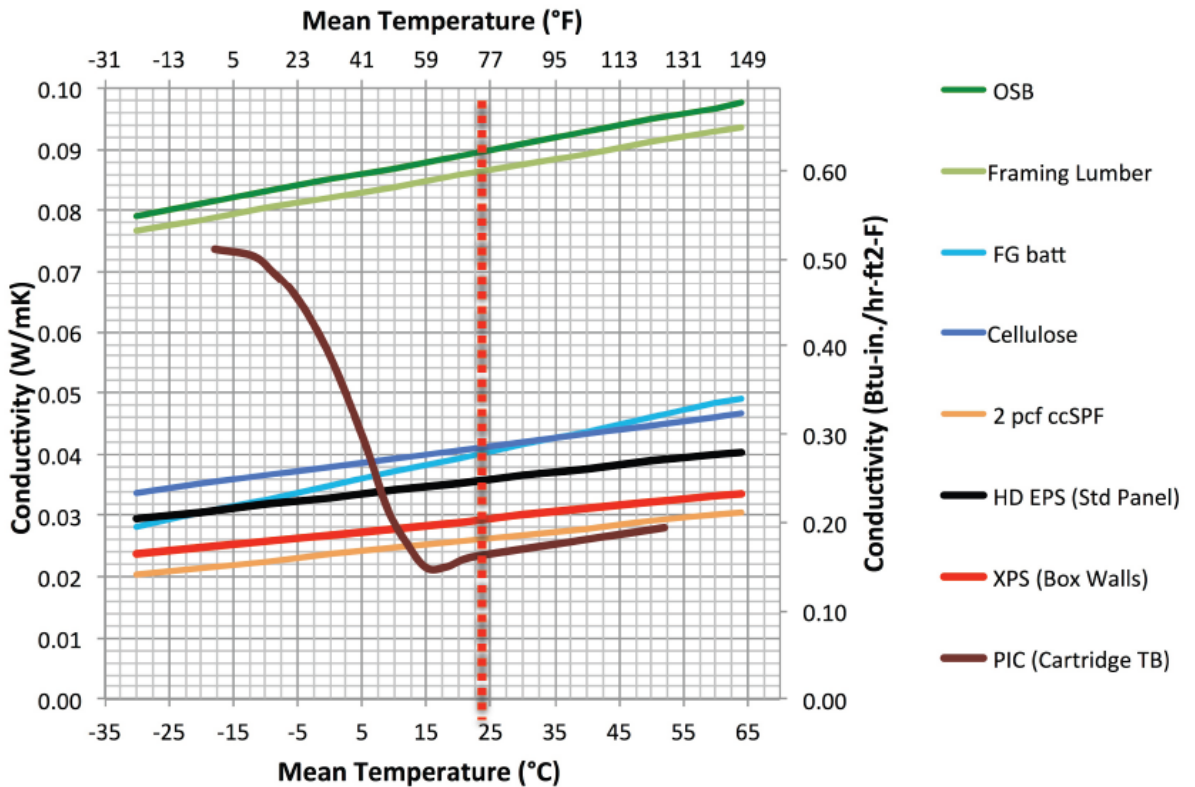
Today polyurethane (PU) and its less flammable brother polyisocyanurate (PIR) are the most effective thermal insulation.

It should be noted that the thermal conductivity value ( $\lambda$ ) is affected by several factors and the cell gas that originates from the use of a particular blowing agent has the highest impact [1]. Blowing agents can be divided into two groups: chemical (water, formic acid) and physical blowing agents (CFCs, HFCs, HCFCs, pentanes, methylal – inert organic substances with low boiling point). Chemical blowing agents react with isocyanates and one of the products of such interaction is carbon dioxide. Cell gas formation in case of physical blowing agent is a result of boiling of a liquid during the exothermic reaction of A and B components.

The thermal conductivity of different materials is usually measured at mean temperature of 10°C (Europe) or 23,9°C (USA) [2], but the other values also used if required. The thermal conductivity of PU and PIR foams usually has linear dependence from the mean temperature.

## **Discussion**

Recently, American Building Science Corporation (BSC) published the results of its research [3] that revealed unusual performance of polyisocyanurate (PIR) thermal insulation panels. According to the report, in contrast to the other investigated materials that showed linear dependence of thermal conductivity from the mean temperature, PIR panel  $\lambda$  has increased dramatically with the drop of mean temperature below +15°C (Fig. 1) but no scientific proof was provided to explain the results.



**Fig. 1. Dramatic increase of Lambda of PIR panel with the drop of mean temperature below 15°C, according to Building Science Corporation [3].**

It is interesting that the paper [4] citing the research of Building Science Corporation [3] suggests that the increasing of PIR Lambda can be the result of blowing agent condensation in the cells at decreased temperatures. Thus, according paper [4], the observed thermal insulation properties mostly depends on the type and quantity of blowing agent where the most critical is its boiling point.

Thus, the great disadvantage of BSC report [3] is not only providing the results without any scientific explanation but also the absence of data concerning the chemical composition of investigated polyurethane and polyisocyanurate panels (type and quantity of blowing agent) that makes the interpretation of observed results very difficult. In addition to the investigation of thermal conductivity of wall constructions [3], in order to establish the real reasons of the observed results it would have been logically to investigate the thermal conductivity of the insulation layer material but has not been done.

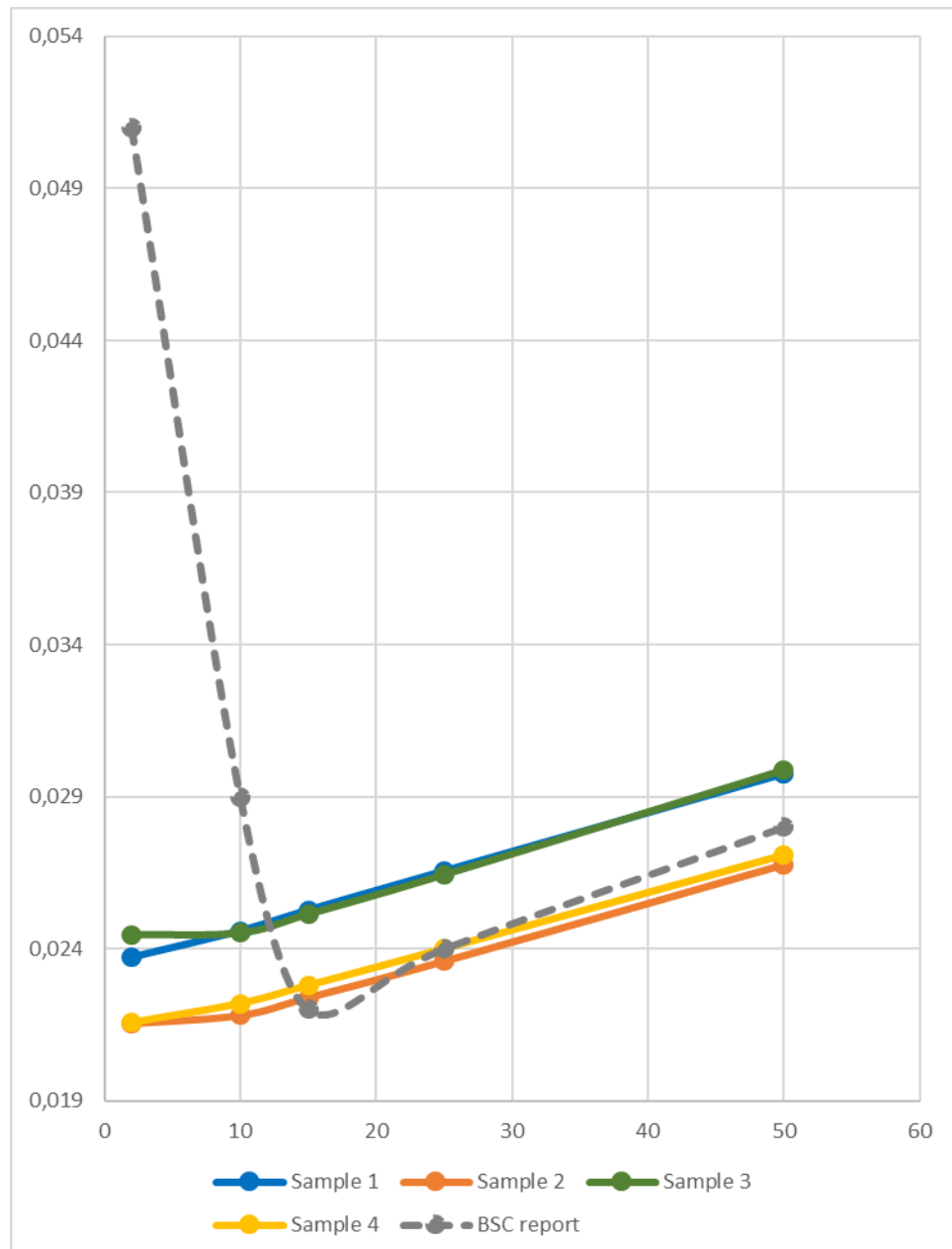
In the present work in order to check the reliability of BSC report data and establish the reasons of such unusual thermal insulation behavior of PIR panels at decreased temperatures we tried to perform the same experiment using own research equipment.

With this purpose we investigated the thermal conductivity of PIR panels produced by four Russian manufacturers.

The thermal conductivity measurement was performed using Taurus TCA 300 DTX (manufacturer: Taurus GmbH, Germany) consequentially at five different mean temperatures (2, 10, 15, 25, 50°C) in one measurement cycle with a gradient of 5°C (temperature difference 10°C).

The samples for testing 300×300×25 mm were cut out from the core of sandwich-panel pieces with metal facers. The initial Lambda was measured at 10°C mean temperature 24 hours after the sample preparation (Table 1). The thermal conductivity measurement at five mean temperatures 2, 10, 15, 25, 50°C was performed 90 days after the sample preparation.

According to the graph published in BSC report [3] (Fig. 1) that shows the dependence of thermal conductivity value from the mean temperature of different materials it was logically to observe the same strong increase in Lambda from 0,021 up to 0,051 W/m\*K during the decrease of the mean temperature from 15°C to 2°C. However, we didn't observe any increase of Lambda in our research (Fig. 2, Table 1).



**Fig. 2. The thermal conductivity of PIR sandwich-panels produced by four manufacturers in the mean temperature range from 2 to 50°C ninety days after the sample preparation in contrast to published data by Building Science Corporation [3] (dotted line).**



<b>Table 1. The results of thermal conductivity measurement of PIR sandwich-panels produced by five manufacturers in the mean temperature range from 2 to 50°C</b>					
<b>Mean temperature, °C</b>	<b>Sample 1</b>	<b>Sample 2</b>	<b>Sample 3</b>	<b>Sample 4</b>	<b>BSC report [3] (approximate values)</b>
<b>Initial Lambda, W/m*K</b>					
10	0,01998	0,01978	0,02068	0,01994	
<b>Lambda 90 days after the sample preparation, W/m*K</b>					
2	0,02371	0,02153	0,02446	0,02157	0,051
10	0,02459	0,0218	0,02452	0,0222	0,029
15	0,02527	0,02238	0,02514	0,02279	0,022
25	0,02656	0,02358	0,02644	0,02399	0,024
50	0,02977	0,02675	0,02989	0,02706	0,028

As can be seen in Fig. 2 and Table 1, the Initial Lambda of almost all testing samples corresponds to the usually declared value of 0,022 W/m\*K. The increase of Lambda 90 days after the preparation of the samples is the result of diffusion of the cell gas and air. It is considered to be normal for PUR or PIR without facers and material having crushed cells of the upper surface layer.

The samples 2 and 3 have a small difference in Lambda values at mean temperatures 2 and 10°C and its curves take more horizontal orientation in this range. It should be noted that for all tested samples Lambda has linear dependence from the mean temperature as for the other materials listed in BSC report [3].

## Conclusion

Thus, our investigation of PIR sandwich-panels produced by different Russian manufacturers showed that no Lambda increase exist at the mean temperature below 15°C and the data provided by Building Science Corporation [3] are not reliable and doubtful. At least, it can't be applied for Russian PIR producers as they use mainly n-pentane or its mixtures with isopentane in different ratio (80:20, 70:30) in contrast to the American industry which also use cyclopentane that has higher boiling point and, hence, more likely to condense in the foam cells at decreased temperatures.

## References:

1. Leppkes R. Polyurethans A versatile specialty plastic. Sixth edition. Verlag Moderne Industrie. 2012. 70 P
2. Randall D., Lee S. The polyurethanes book. John Wiley & Sons, LTD. 2002. 477 P.
3. Building Science Corporation RR-0002: The Thermal Metric Project - Summary Report: <https://buildingscience.com/documents/special/thermal-metric-documents/thermal-metric-summary-report>
4. Owens Corning Technical Bulletin Capturing the Thermal Performance of FOAMULAR® Extruded Polystyrene (XPS) vs. Polyisocyanurate: <http://www.owenscorning.com/NetworkShare/EIS/10019949-FOAMULAR-XPS-vs-Polyiso-Tech-Bulletin.pdf>







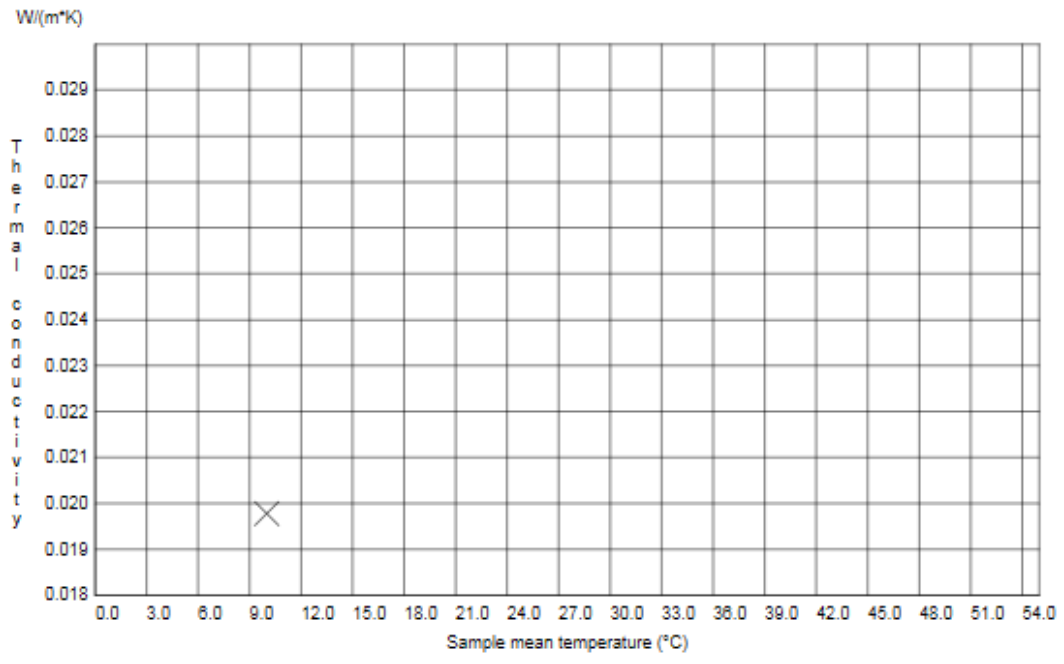
ООО „Эластокам“  
 ООО „Elastokam“  
 ein Gemeinschaftsunternehmen der PAO „Nizhnekamskneftekhim“ und der BASF Polyureth.  
 423670, Republik Tatarstan, Nizhnekamsk, Promzona 3  
 TEl.: (007 9565-5) 38-30-62, Fax: (007) (9565) 33-0-063  
 INN 1651 027 131

**MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY**

**Report No.:**

**Sample Thickness :** 25.96 mm  
**Specimen Dimension** Sample 2 initial Lambda  
 300mm\*300mm\*height mm  
**Comment** with heatflowmeter  
**Test device** TCA 300 DTX  
**Date of measurement** 02.11.2016  
**Operator** Dr. Evgeny Stukan  
**Remarks**

Measuring No.	Heat flow (W/m²)	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	7.864	4.8	15.2	10.3	10.0	0.01978



**Lambda (10.0°C) = 0.0198 W/(m\*K)**  
 Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Vsevolozhsk, 13.02.2017

Elastokam Technical Center



**ElastoKAM**

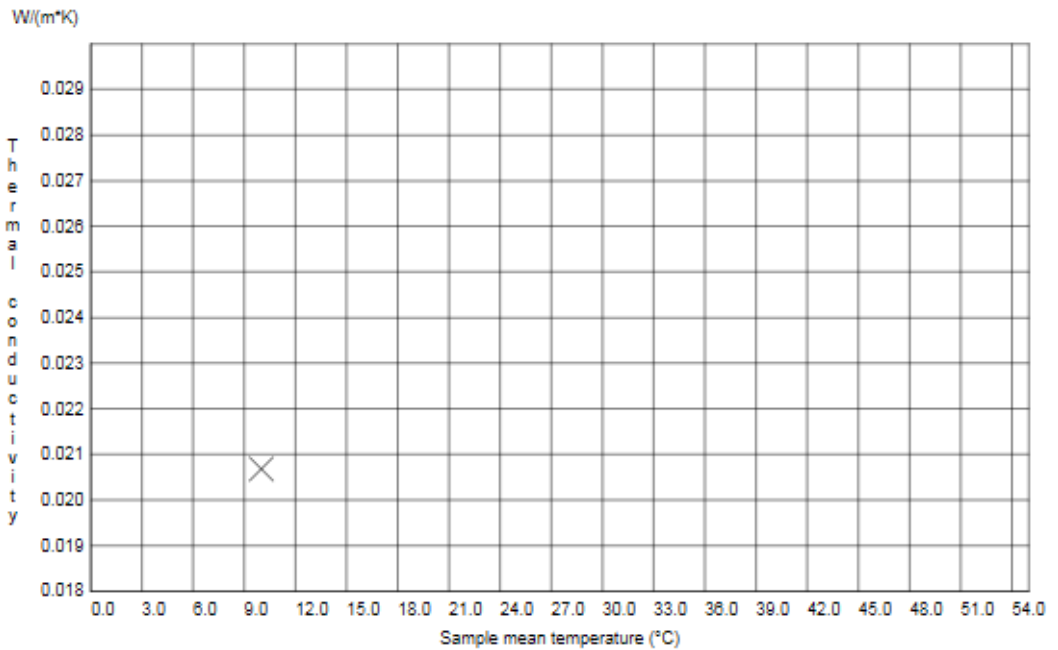
ООО „Еластокам“  
 СООБЕДИЊЕ ПРОДВИЖИТЕ ПАО „НИЈИЈАКМИКОПРЕДИМ“ И БАСФ (ПОЛЈИРЕТИЛ) ГИДК  
 423570, Реп. Татастана, г. Минералски Промисли  
 Тел.: +7 (8551) 35-00-62, Факс: +7 (8551) 35-00-63  
 ИНН: 1551027131, ОКФС: 13320, ОКПО: 54409607  
 ООО „Elastokam“  
 ein Gemeinschaftsunternehmen der PAO „Nijamkaminokopredim“ und der BASF Polymers  
 423570, Republik Tatarstan, Nijn Nedimlik, Promozions  
 Tel.: (+7) (8551) 35-00-62, Fax: (+7) (8551) 35-00-63  
 INN: 1551 027 131

**MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY**

**Report No.:**

**Sample Thickness :** 25.11 mm  
**Specimen Dimension** Sample 3 initial Lambda  
 300mm\*300mm\*height mm  
**Comment** with heatflowmeter  
**Test device** TCA 300 DTX  
**Date of measurement** 02.11.2016  
**Operator** Dr. Evgeny Stukan  
**Remarks**

Measuring No.	Heat flow (W/m <sup>2</sup> )	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	8.494	4.8	15.2	10.3	10.0	0.02068



**Lambda (10.0°C) = 0.0207 W/(m\*K)**

Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Vsevolozhsk, 13.02.2017

Elastokam Technical Center



**ElastoKAM**

**ООО „Эластокам“**  
 ООО „Эластокам“  
 423670, Респ. Татарстан, г. Минераловодское шоссе  
 Тел.: +7 (8551) 38-00-62, факс: +7 (8551) 38-00-63  
 ИНН 1651027131, ОКОНХ 13320, ОГРН 54409607

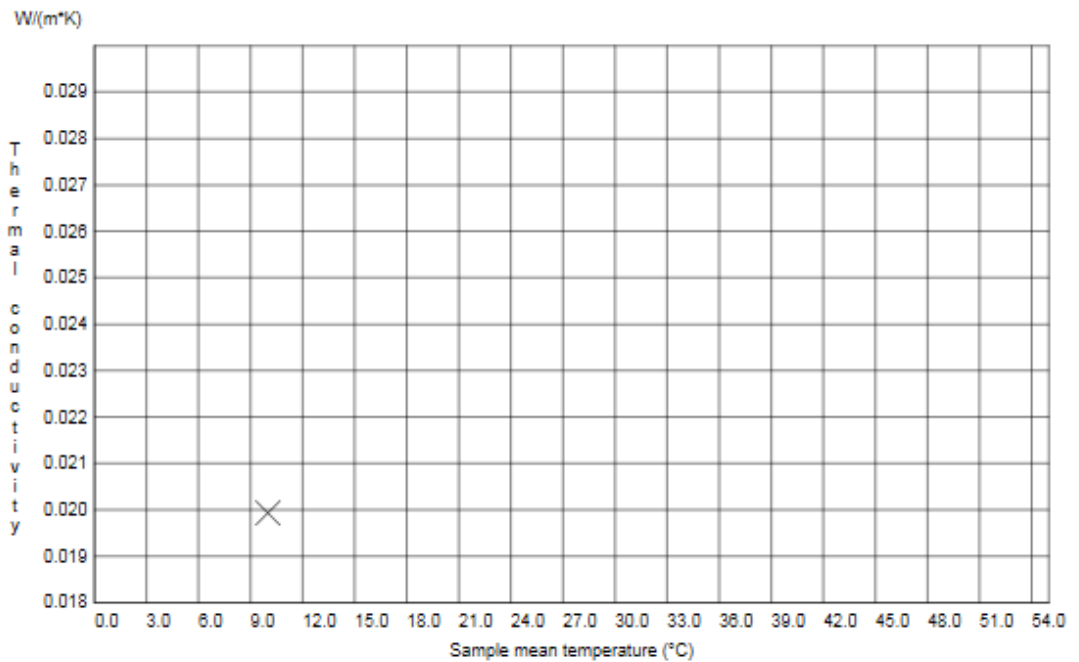
**ООО „Elastokam“**  
 ein Gemeinschaftsunternehmen der PAO „Neftekhimneftekhim“ und der BASF Polymere  
 423670, Republik Tatarstan, Neftekamsk, Prontzona  
 Tel.: (+7) (8551) 38-00-62, Fax: (+7) (8551) 38-00-63  
 INN: 1651027131

**MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY**

**Report No.:**

**Sample Thickness :** 25.88 mm  
**Specimen Dimension** Sample 4 initial Lambda  
 300mm\*300mm\*height mm  
**Comment** with heatflowmeter  
**Test device** TCA 300 DTX  
**Date of measurement** 02.11.2016  
**Operator** Dr. Evgeny Stukan  
**Remarks**

Measuring No.	Heat flow (W/m <sup>2</sup> )	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	7.951	4.8	15.2	10.3	10.0	0.01994



**Lambda (10.0°C) = 0.0199 W/(m\*K)**

Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Vsevolozhsk, 13.02.2017

Elastokam Technical Center



**ElastoKAM**

**ООО „Эластокам“**  
 Совместное предприятие ПАО „Нижнекамскнефтехим“ и BASF Полиуретан ГмбХ.  
 423670, Респ. Татарстан, г. Нижнекамск, Промзона  
 Тел.: +7 (8555) 38-30-62, Факс: +7 (8555) 38-30-63  
 ИНН: 1651027131, ОКОНС: 13320, ОГРН: 54409607

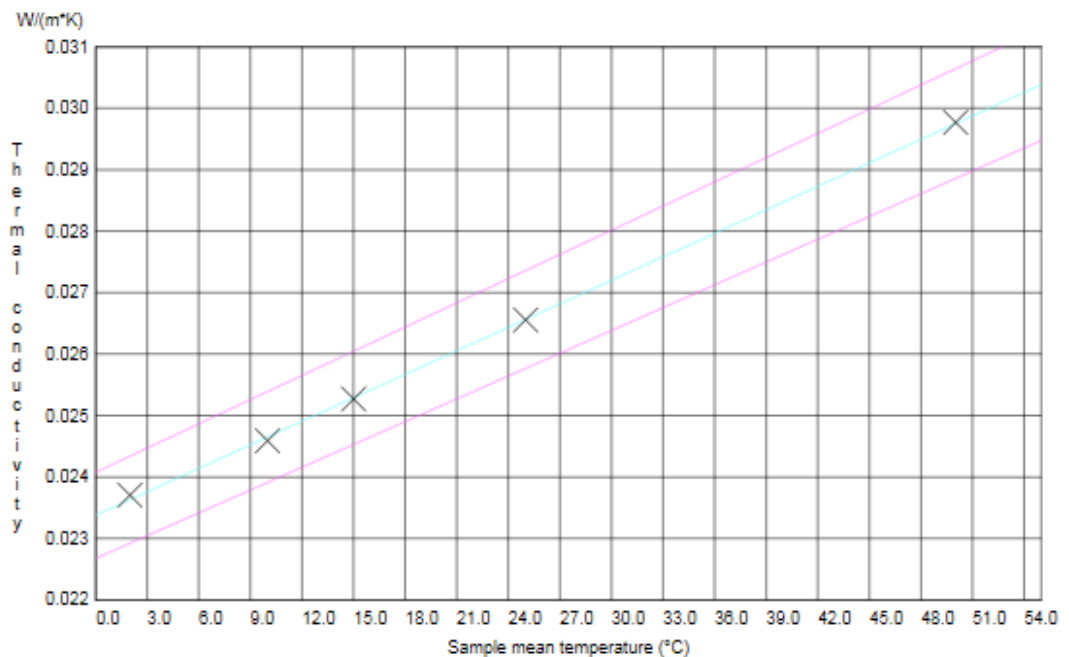
**ООО „Elastokam“**  
 ein Gemeinschaftsunternehmen der PАО „Nizhnekamskneftekhim“ und der BASF Polyurethan GmbH.  
 423670, Republik Tatarstan, Nizhnekamsk, Promzona  
 Tel.: (007) (8555) 38-30-62, Fax: (007) (8555) 38-30-63  
 INN: 1651027131

**MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY**

**Report No.:**

**Sample Thickness :** 25.52 mm  
**Specimen Dimension** Sample 1  
 300mm\*300mm\*height mm  
**Comment** with heatflowmeter  
**Test device** TCA 300 DTX  
**Date of measurement** 02.02.2017  
**Operator** Dr. Evgeny Stukan  
**Remarks**

Measuring No.	Heat flow (W/m²)	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	9.565	-3.2	7.1	10.3	2.0	0.02371
2	9.921	4.9	15.1	10.3	10.0	0.02459
3	10.192	9.9	20.1	10.3	15.0	0.02527
4	10.711	19.9	30.1	10.3	25.0	0.02656
5	11.997	44.9	55.2	10.3	50.0	0.02977



**Lambda (10°C) = (0.0247 +/-0.0007) W/(m\*K)**

Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Vsevolozhsk, 13.02.2017

Elastokam Technical Center



**ElastoKAM**

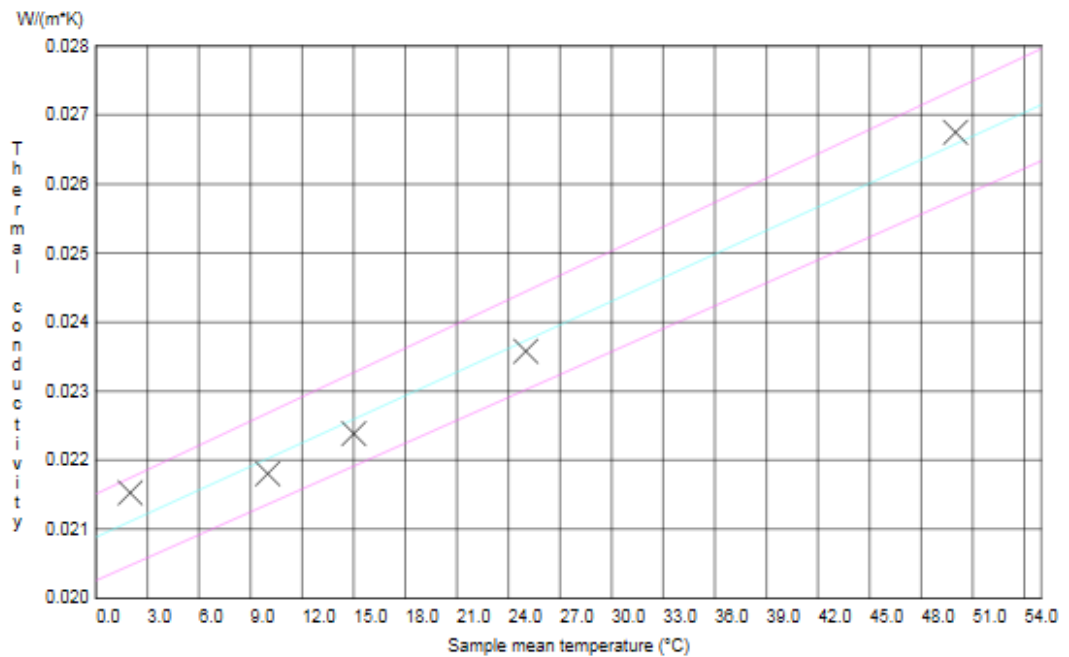
ООО „Эластокам“  
 СОСМОТНОС ПРОДВИЖИТЕ ГИД „НИИИИИИИИИИИИИИ“ И ВАСР ПОДЛЕЖАТИО ГИИОК  
 42 2670, Редот: Татарстан, г. Ижевск, Промышл.  
 Тел.: +7 (855) 38-00-62, Факс: +7 (855) 38-00-63  
 ИНН 1851027131, ОКФС: 13320, ОГРН 54409607  
 ООО „Elastokam“  
 ein Gemeinschaftsunternehmen der PAO „Nii Mekhanicheskii“ und der BASF Polymere  
 42 2670, Republik Tatarstan, Nizhnekamsk, Prontzoo 3  
 Tel.: (007) (855) 38-00-62, Fax: (007) (855) 38-00-63  
 INN 1851027131

**MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY**

**Report No.:**

**Sample Thickness :** 25.52 mm  
**Specimen Dimension** Sample 2  
 300mm\*300mm\*height mm  
**Comment** with heatflowmeter  
**Test device** TCA 300 DTX  
**Date of measurement** 02.02.2017  
**Operator** Dr. Evgeny Stukan  
**Remarks**

Measuring No.	Heat flow (W/m²)	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	8.705	-3.2	7.2	10.3	2.0	0.02153
2	8.812	4.8	15.2	10.3	10.0	0.02180
3	9.044	9.8	20.2	10.3	15.0	0.02238
4	9.521	19.9	30.2	10.3	25.0	0.02358
5	10.790	44.9	55.2	10.3	50.0	0.02875



**Lambda (10°C) = (0.0220 +/-0.0007) W/(m\*K)**

Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Vsevolozhsk, 13.02.2017

Elastokam Technical Center



**ElastoKAM**

ООО „Эластокам“  
 COSMO OTCIOE ПОДПРИЯТИЕ ПАО „НН ХИМИКАМИКРОПРОДУКТ“ в ЗАО „Полиуретан ГИСК“  
 423870, Респ. Татарстан, г. Нижнекамск, Промзона  
 Тел.: +7 (855) 35-30-62, факс: +7 (855) 35-30-63  
 ИНН: 1651027131, ОКДН: 13320, ОКПО: 54409607

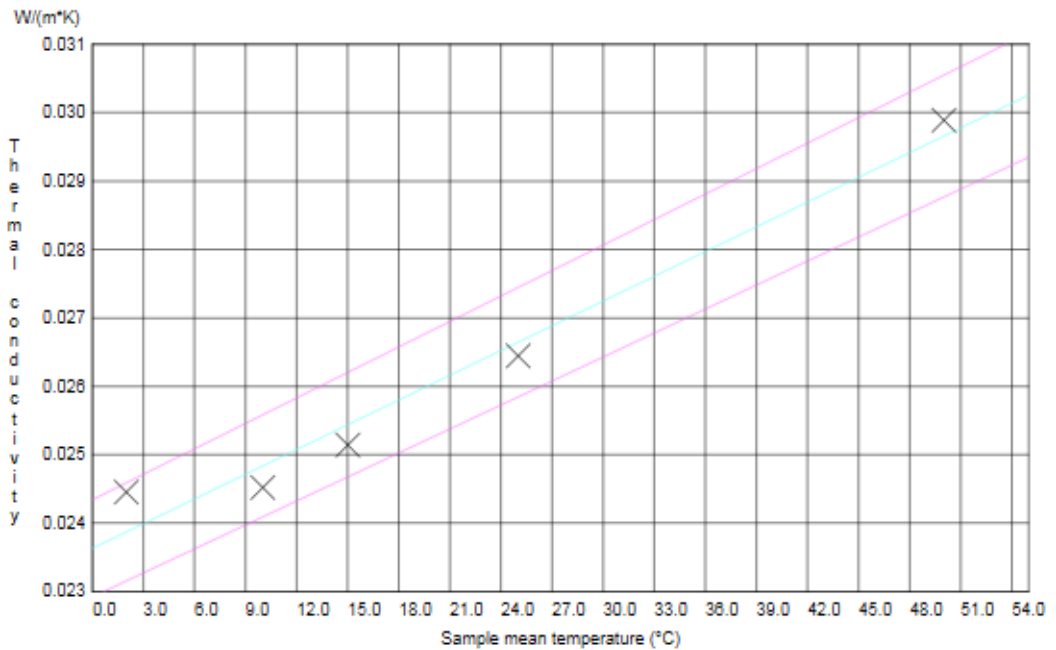
ООО „Elastokam“  
 ein Gemeinschaftsunternehmen der PАО „НН химикамикропродукт“ und der BASF Polyureth.  
 423870, Republik Tatarstan, Nishnekamsk, Promzona  
 Tel.: (+7) 855-35-30-62, Fax: (+7) 855-35-30-63  
 INN: 1651027131

**MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY**

**Report No.:**

**Sample Thickness :** 25.05 mm  
**Specimen Dimension** Sample 3  
 300mm\*300mm\*height mm  
**Comment** with heatflowmeter  
**Test device** TCA 300 DTX  
**Date of measurement** 02.02.2017  
**Operator** Dr. Evgeny Stukan  
**Remarks**

Measuring No.	Heat flow (W/m²)	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	10.063	-3.2	7.1	10.3	2.0	0.02446
2	10.081	4.9	15.1	10.3	10.0	0.02452
3	10.338	9.8	20.1	10.3	15.0	0.02514
4	10.867	19.9	30.2	10.3	25.0	0.02644
5	12.269	44.9	55.2	10.3	50.0	0.02989



**Lambda (10°C) = (0.0248 +/-0.0007) W/(m\*K)**

Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Vsevolozhsk, 13.02.2017

Elastokam Technical Center





**ElastoKAM**

ООО „Эластокам“  
 ООО „Эластокам“ – производственное предприятие в составе Группы предприятий  
 423670, Республика Татарстан, г. Минеральные Воды, ул. Мухоморова, д. 12  
 Тел.: +7 (8555) 38-30-62, факс: +7 (8555) 38-30-63  
 ИНН: 1851027131, ОГРН: 103320, ОКРПО: 54409807

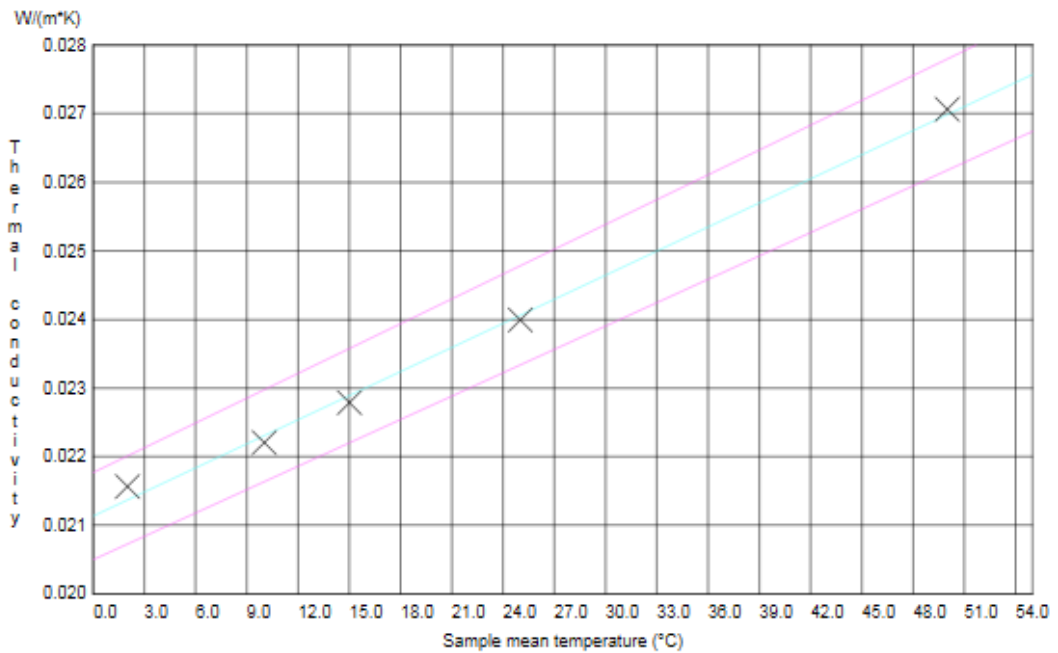
ООО „Elastokam“  
 ein Gemeinschaftsunternehmen der PAO „Nizhnevolzhskiy Kautschuk“ und der BASF Polyureth  
 423670, Republik Tatarstan, Nizhnekamsk, Pionersk  
 Tel.: (007) (8555) 38-30-62, Fax: (007) (8555) 38-30-63  
 INN: 1851 027 131

**MEASURING THERMAL CONDUCTIVITY**

Report No.:

Sample Thickness : 25.85 mm  
 Specimen Dimension : Sample 4  
 300mm\*300mm\*height mm  
 Comment : with heatflowmeter  
 Test device : TCA 300 DTX  
 Date of measurement : 03.02.2017  
 Operator : Dr. Evgeny Stukan  
 Remarks :

Measuring No.	Heat flow (W/m <sup>2</sup> )	Temperature cold sample surface (°C)	Temperature warm sample surface (°C)	Temperature-difference on sample (K)	Sample mean temperature (°C)	Thermal conductivity (W/m*K)
1	8.596	-3.1	7.2	10.3	2.0	0.02157
2	8.856	4.9	15.2	10.3	10.0	0.02220
3	9.088	9.8	20.2	10.3	15.0	0.02279
4	9.567	19.9	30.2	10.3	25.0	0.02399
5	10.782	44.9	55.2	10.3	50.0	0.02706



**Lambda (10°C) = (0.0223 +/-0.0007) W/(m\*K)**

Result +/- expanded uncertainty (factor 2)

Vsevolozhsk, 13.02.2017

Elastokam Technical Center