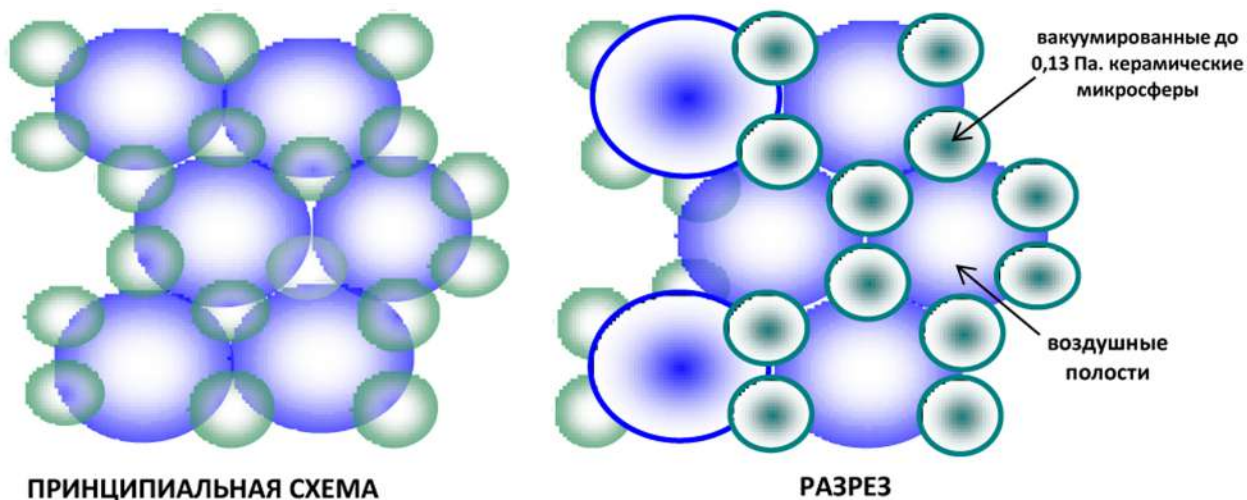


ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ СВЕРХТОНКИХ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ПОКРЫТИЙ, МЕХАНИЗМЫ ЗАЩИТЫ ОТ ОЖОГОВ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ.

Сверхтонкие теплоизоляционные покрытия (СТП) представляют собой жидкую композицию из акриловых полимеров, с латексными переплетениями, где во взвешенном состоянии находятся несколько типов вакуумированных до 0,13 Па, керамических (5-20 мкм) микросфер.

Наносится, как краска - действует, как тепловой барьер!

После нанесения на защищаемую поверхность, в процессе испарения воды, внутри материала образуются микроскопические воздушные полости, вокруг которых формируются коконы из вакуумированных микросфер. После полной полимеризации материала на защищаемой поверхности образуется сплошное, бесшовное, квазивакуумное покрытие, с абсолютно уникальными теплофизическими свойствами.



Структурированные таким образом воздушные полости и вакуумированные керамические микросферы создают эластичный силовой каркас покрытия.

Стационарное распределение температур в таком материале будет неоднородным и зависит от величин теплопроводности компонентов.

При нагревании полимеры расширяются и давление в полостях понижается, происходит дополнительное вакуумирование, что приводит к еще большему уменьшению теплопроводности. В результате формируется эластичное, многослойное, **теплоотражающее** покрытие, блокирующее все механизмы теплопередачи и имеющее рекордно низкий коэффициент теплопроводности (теплопроводность керамических сфер с разряжением 0,13 Па. не более 0,00083 Вт/м⁰К - Справочник . "Физические величины", таб 15.28, стр.361. Москва. Энергоиздат, 1991 г.)

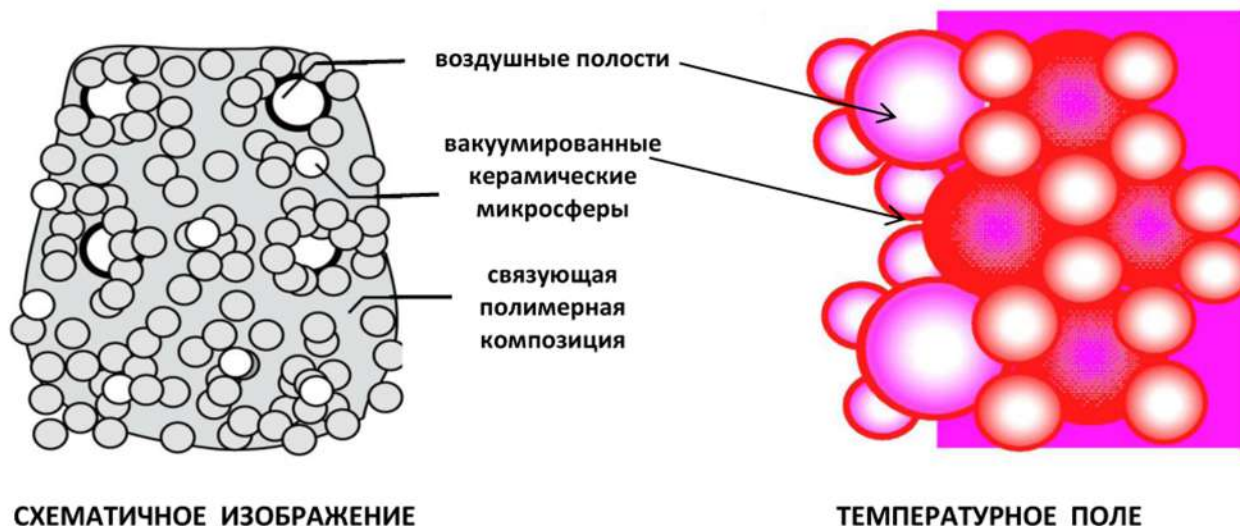


Рис. 1 Схематичное и тепловое изображение сверхтонкого керамического покрытия.

Особенности механизмов теплопередачи.

Реальный опыт работ со сверхтонкими, жидкими, керамическими теплоизоляторами на акриловых связующих показал, что их характеристики, и "механизмы защиты от ожогов" настолько инновационны, что не укладываются в рамки норм безопасных температур, для "традиционных" утеплителей, и требуют отдельных пояснений.

Из всех методов измерений температур и определения их критических пределов наиболее доступен органолептический метод.

Если ваша рука спокойно, не испытывая боли лежит на горячей поверхности, то температура на поверхности - не выше +45°C. Стандарты США, Германии, России определяют, что воздействие на кожу человека температуры +60°C, в течении 2 сек. вызывает ожог первой степени и является травмоопасной. Для традиционных видов изоляции, применяемых многие десятилетия — как правило, минеральная вата и ее аналоги, плюс защитное покрытие ("кожух" - оцинкованная жесьть или алюминий) — все правильно. Температура выше +45°C травмоопасна.



Рис.2 Тепловизионный снимок

Но в случае сверхтонких покрытий все совершенно не так!

Приборы показывают температуру на поверхности покрытия 94,6°C(рис.2), а рука спокойно лежит на поверхности изоляции, человек не испытывает дискомфортных ощущений! Парадокс?!

Все "парадоксы" просто объясняется с точки зрения законов физики.

Для начала отметим те определения, на которые будем ссылаться :

Теплопроводность - свойство материала переносить теплоту под действием разности температур на его поверхностях (перенос теплоты от более нагретых частей менее нагретым, обусловленное тепловым движением частиц) (Вт/м°C).

Теплоемкость - количество энергии, необходимое для изменения температуры 1 кг. вещества на один градус (кДж/кг°C).

Температуропроводность - скорость изменения температуры в различных точках тела. Определяется, как частное от деления Теплопроводность / Теплоемкость (м²/сек.).

Теплоотдача/Тепловосприятие- перенос теплоты с поверхности конструкции в окружающую среду за счет конвективного и лучистого теплообмена.

Конвективный теплообмен - перенос теплоты с поверхности (на поверхность) конструкции, омываемым ее воздухом или водой.

Лучистый теплообмен - перенос теплоты с поверхности (на поверхность) конструкции за счет электромагнитного излучения.

Кондуктивный теплообмен - перенос теплоты на молекулярном уровне, при наличии градиента температуры, от нагретой частицы к менее нагретой.

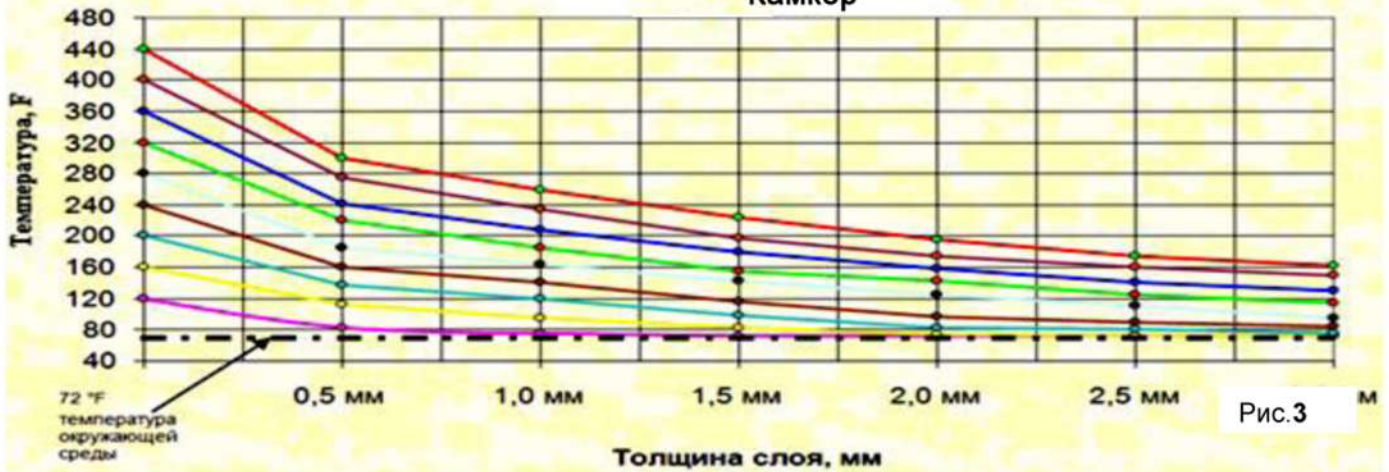
Переходные процессы теплообмена в сверхтонких теплоизоляционных покрытиях(СТП), механизмы защиты от ожогов,

Покрытия, данного типа, наносятся тонкими слоями (400 мкм), с промежутками сушки 12 - 24 часа, что позволяет материалу полностью полимеризоваться и обеспечить поразительные результаты. Медленно наращиваемые слои образуют тонкие пленки материала - верхняя часть (60-100 мкм) состоит из одних "всплывших" микросфер, а средняя часть слоя (300-340 мкм) состоит из микроскопических воздушных пор, облепленных керамическими сферами. Это похоже на образование колец при росте дерева. Каждый слой эффективно препятствует проникновению теплового потока в следующий слой. При теплопередаче тепловой поток переходит из слоя в слой перпендикулярно (по пути наименьшего сопротивления).

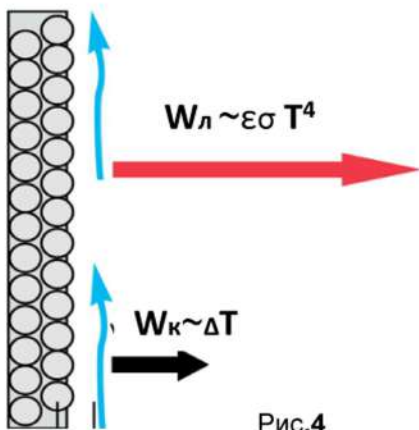
«Слоеная» структура покрытия блокирует передачу энергии, обеспечивая дополнительное тепловое сопротивление.

Первый слой резко снижает величину теплового потока, излучаемого горячей поверхностью, последующие слои понижают его постепенно (Рис.3).

График снижения температуры с применением покрытия Камкор



Перенос тепла, в сверхтонких теплоизоляционных покрытиях, представляет собой сложную комбинацию кондуктивного, конвективного и лучистого теплообмена.



Основной вклад в теплопередачу вносит лучистое излучение. Величина теплового потока лучистой составляющей пропорциональна 4-ой степени температуры на поверхности покрытия (степенная зависимость $W_{л} \sim \epsilon \sigma T^4$, где: T - темпер. поверхности изоляции) и коэффициента излучения материала.

Конвективная составляющая полностью зависит от места расположения изолируемой поверхности, свойств окружающей среды и пропорциональна разности температур - $W_{к} \sim \Delta T$. где: $\Delta T = t_{\text{пов.изол.}} - t_{\text{окр.среды}}$ (рис.4).

Теплопотери от кондуктивной составляющей пренебрежительно малы и пропорциональны

$$\Delta T = t_{\text{теплоносителя}} - t_{\text{поверхности}}$$

Переходные процессы теплообмена в СТП осуществляются за счет реализации общих физических принципов, блокирующих все процессы теплопередачи:

- уникально низкой теплопроводности смеси керамических вакуумированных сфер (наличие огромного количества неподвижного, разряженного воздуха образует непреодолимый, надежный барьер от проникновения тепла), **чем меньше диаметр сфер, тем меньше теплопроводность материала;**

- высокой отражательной способности сферических поверхностей;**
- низкой излучательной способности сферических поверхностей;**
- сверхнизкой теплопроводности покрытий.**

Миллионы тонкостенных керамических сфер, составляющие до 85% объема материала, после испарения воды и полимеризации покрытия образуют сплошное, шероховатое на ощупь, покрытие. Вся поверхность покрытия буквально усыпана тонкостенными, вакуумированными микросферами, выступающими над поверхностью слоистой полимерной основы. Удельный вес вакуумированных микросфер $\approx 0,1 \text{ г/см}^3$.

Микроскопические сферы имеют очень тонкие стенки оболочек, измеряемые нанометрами. Теплоемкость таких оболочек $1,1 \text{ к Дж/кг}^\circ\text{С}$.

Температурное воздействие на кожный покров человека зависит не только от температуры, но и от свойств поверхности, с которой кожа контактирует.

Всем известны ощущения от прикосновения к деревянной лавке и монете, в банной парилке, и тем более от контакта на хорошем морозе с деревом и металлом.

При прикосновении к поверхности покрытия, рука касается оболочек, выступающих микросфер и мгновенно их охлаждает (теплоемкость тела человека $3,4 \text{ к Дж/кг}^\circ\text{С}$, что в 3,15 раза больше теплоемкости покрытия). (Рис.5).

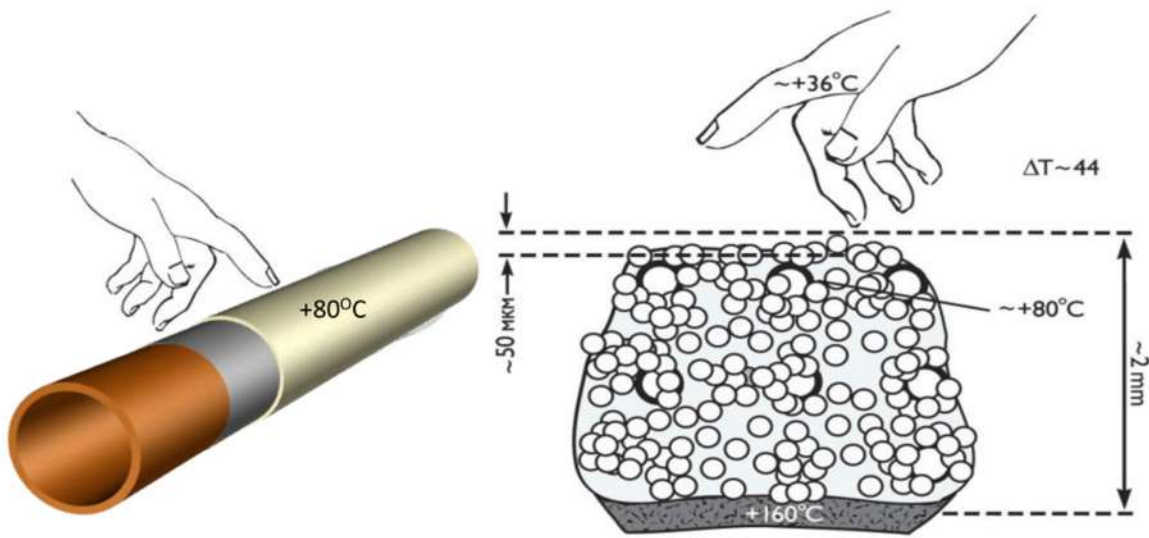


Рис.5

Поскольку эффективная теплопроводность ($\lambda = 0,001 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$) и теплоемкость ($C = 1,1 \text{ к Дж/кг}^\circ\text{С}$) покрытия малы, по сравнению с теплопроводностью ($\lambda \approx 0,5 \text{ Вт/м}^\circ\text{С}$) и теплоемкостью ($C = 3,4 \text{ к Дж/кг}^\circ\text{С}$) кожного покрова, температура в точке контакта мгновенно становится близкой к температуре тела человека. Температуропроводность материала, также ничтожно мала ($0,0000016 \text{ м}^2/\text{сек}$) и полностью блокирует приток тепла к точке контакта.

Температура, в точке контакта не растет - термического ожога нет.

Таким образом осуществляется "АВТОМАТИЧЕСКАЯ ЗАЩИТА ОТ ОЖОГОВ"!

Теплоотдача с поверхности покрытия в наружное пространство, при эксплуатации в **летний период** на теплотрассах (любой прокладки) и в помещениях незначительная

$\alpha_{нар.} = \alpha_k + \alpha_l = 2 - 3,5 \text{ Вт/м}^2\text{}^\circ\text{С}$ - тепловые потери соответствуют нормам.

Обозначения:

$\delta_{из}$ - толщина изоляции; $\lambda_{из}$ - коэффициент теплопроводности изоляции; t_w - температура теплоносителя;
 t_e - температура окружающего воздуха; t_i - температура на поверхности изоляции; q - тепловые потери;
 α_n, α_w - коэффициенты теплоотдачи и тепловосприятия; $T_{из}$ - температура наружной поверхности изоляции;
 R_{tot} - сопротивление теплопередаче конструкции - труба, теплоизолятор; $t_{в.из}$ - температура внутренней поверхности изоляции.

Определение толщины изоляционного слоя, при заданной температуре на поверхности изоляции									
Проверка соответствия толщины изоляции по нормированной плотности теплового потока (тепловые потери) и температуре на поверхности изоляции									
Температура на наружной поверхности изоляции		Тепловые потери		Температура внут. поверхности теплоизоляции		Сопротивление теплопередаче труба + теплоизоляция			
$T_{из}^* = t_{в.из} - (\delta_{из} q / \lambda_{из})$		$q = t_w - t_e / R_{tot}$		$t_{в.из} = t_w - q / \alpha_w$		$R_{tot} = 1/\alpha_w + \delta_1/\lambda_1 + \delta_2/\lambda_2 + 1/\alpha_n$			
$\delta_{из}^*$	0,0017 м	$T_{из}^*$	43,5 °С	q^*	59 Вт/м ²	$t_{в.из}$	143 °С	R_{tot}	2,22 м ² °С / Вт
$\lambda_{из}$	0,001 Вт/м °С	$\delta_{из}$	0,0017 м	t_w	150 °С	t_w	150 °С	$\alpha_{в.тр}$	8,7 Вт/м ² °С
t_w	150 °С	$\lambda_{из}$	0,001 Вт/м °С	t_e	20 °С	q	59 Вт/м ²	δ_1	0,008 м
t_e	20 °С	$t_{в.из}$	143 °С	R_{tot}	2,22 м ² °С/Вт	$\alpha_{в.тр}$	8,70 Вт/м ² °С	λ_1	58 Вт/м °С
t_i	45 °С	q	59 Вт/м ²	таб.1					
α_n	2,50 Вт/м ² °С								
								δ_2	0,0017 м
								λ_2	0,001 Вт/м °С
								α_n	2,50 Вт/м ² °С

Несколько иные процессы происходят зимой. Отрицательные температуры воздуха снижают температуру поверхности изоляции и увеличивают теплотери(см. таб.1; 2).

$\delta_{из}^*$	0,0017 м	$T_{из}^*$	10,7 °С	q^*	77 Вт/м ²	$t_{в.из}^*$	141 °С	R_{tot}	2,22 м ² °С / Вт
$\lambda_{из}$	0,001 Вт/м °С	$\delta_{из}$	0,0017 м	t_w	150 °С	t_w	150 °С	$\alpha_{в.тр}$	8,7 Вт/м ² °С
t_w	150 °С	$\lambda_{из}$	0,001 Вт/м °С	t_e	-20 °С	q	77 Вт/м ²	δ_1	0,008 м
t_e	-20 °С	$t_{в.из}$	141 °С	R_{tot}	2,22 м ² °С/Вт	$\alpha_{в.тр}$	8,70 Вт/м ² °С	λ_1	58 Вт/м °С
t_i	45 °С	q	77 Вт/м ²	таб.2					
α_n	2,50 Вт/м ² °С								
								δ_2	0,0017 м
								λ_2	0,001 Вт/м °С
								α_n	2,50 Вт/м ² °С



- Зима. Снег лежит на поверхности изоляции.**(таб.2)
 Температура поверхности изоляции понижается в 4 раза:
 ✓ резко падает мощность лучистого теплообмена $W_{л} \sim \epsilon \sigma T^4$;
 ✓ кондуктивная составляющая связующего полимера пренебрежительно мала (т.к. 85% покрытия - керамика);
 ✓ конвективная составляющая ≈ 0 (пов. закрыта снегом);
 ✓ коэффициент теплоотдачи мал $\alpha_{нар.} = 2 - 3,5 \text{ Вт/м}^2\text{°C}$

Вывод: Суммарной мощности теплопотерь не достаточно, чтобы растопить снег, тем более, что сверхнизкая температуропроводность покрытия практически блокирует приток тепла в зону контакта и коэффициент теплоотдачи материала предельно мал. Теплопотери минимальны - снег не тает.

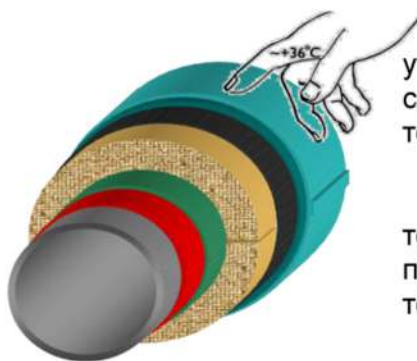
Расчет толщин СТП обычно проводят по заданным значениям температур на поверхности изоляции, затем их проверяют по значениям нормированной плотности теплового потока. Если теплопотери превышают норму, то толщину изоляции увеличивают до уровня отвечающего требованиям СНиП по теплопотерям. (таб.1)

Толщину изоляции, для норм теплопотерь по СНиП, можно подобрать по таблице.

Таблица температур на поверхности изоляции и тепловых потерь при различных значениях толщин и температуре окружающего воздуха +20°C, $\alpha_n = 2,50 \text{ Вт/м}^2 \text{°C}$

°C	0,0008 м		0,0012 м		0,0016 м		0,002 м		0,0024 м		
	°C	Вт/м ²	°C	Вт/м ²	°C	Вт/м ²	°C	Вт/м ²	°C	Вт/м ²	
60	32,2	30	29,3	23	27,6	19	26,4	16	25,5	14	35°C
70	35,2	38	31,7	29	29,5	24	28	20	26,9	17	
80	38,3	46	34	35	31,4	28	29,5	24	28,2	21	
90	41,3	53	36,3	41	33,2	33	31,1	28	29,6	24	
100	44,3	61	38,7	47	35,1	38	32,7	32	31	27	
110	47,4	68	41	52	37	43	34,3	36	32,4	31	45°C
120	50,4	76	43,3	58	38,9	47	35,9	40	33,7	34	
130	53,5	84	45,7	64	40,8	52	37,5	44	35,1	38	
140	56,5	91	48	70	42,7	57	39,1	48	36,5	41	
150	59,6	99	50,3	76	44,6	61	40,7	52	37,8	45	
160	62,6	106	52,7	82	46,5	66	42,3	56	39,2	48	
170	65,6	114	55	87	48,4	71	43,9	60	40,6	51	
180	68,7	122	57,3	93	50,3	76	45,5	64	42	55	
190	71,7	129	59,7	99	52,2	80	47	68	43,3	58	
200	74,8	137	62	105	54,1	85	48,6	72	44,7	62	

Переходные процессы теплообмена в "традиционных утеплителях" с "окажушкой" из алюминия.



Передача теплового потока через слой "традиционных" утеплителей совершается кондуктивным способом, в этом случае единственным блоком теплового потока является теплопроводность теплоизоляции.

Благодаря высокой теплопроводности (**209 Вт/м°C**) и температуропроводности (**0,000086 м²/с**) алюминий быстро принимает на себя тепловой поток и выравнивает температуру по своей поверхности.

Далее происходит **очень интенсивная теплоотдача** в окружающее пространство конвективным и лучистым способом, и **поверхность "окажушки", на ощупь, холодная.**

Теплоотдача всей конструкции $\alpha_n = \alpha_k + \alpha_l = 23$ и более Вт/м²°C, причем "львиная" доля в этом принадлежит именно лучистой составляющей переноса тепла.

Если к окажушке прикасается тело человека, то в точке контакта, температура, в виду большой теплоемкости тела человека (3,4 кДж/кг°C), уменьшается за доли секунды до температуры кожного покрова.

Но из-за большой теплопроводности "окажушки" тепловые потоки мгновенно устремляются к месту дисбаланса теплового равновесия (точка касания) и выравнивают температуру поверхности. При этом интенсивный приток тепла, к точке контакта стремится поддержать мощность лучистой составляющей на прежнем уровне.

Если температура окажушки высокая - ожог не избежен.

В зимний период на поверхности "окажушки" **снег интенсивно тает**, по тем же причинам. Чем ниже температура окружающей среды, тем интенсивнее теплоотдача и тепловые потери растут, т.к. растет мощность кондуктивного теплообмена (рост Δt) и мощность лучистой состав. поддерживается теплопроводностью алюминия.



Вывод: Суммарная мощность тепловых потоков достаточна, чтобы на холодной, "окажушке" интенсивно таял снег и висели сосульки.

Сравнение характеристик "традиционных утеплителей" и сверхтонких теплоизоляционных покрытий

	Традиционные утеплители	Сверхтонкие теплоизоляционные покрытия
энерго-эффективность	теплопроводность 0,045 Вт/м ² °С	теплопроводность 0,001 Вт/м ² °С - в 45 раз меньше, в 45 раз эффективнее
экономичность	большие теплопотери и стоимость	стоимость за 1 м ² на 25-30% меньше, теплопотери на 35% меньше
долговечность	3-5 лет	в помещениях - 20 лет, на улице- 15 лет
защита от коррозии и конденсата	не защищает, впитывает влагу	водонепроницаем, адгезия к металлам 100%, защита от коррозии, конденсата и УФ 100%
защита оборудования	невозможна, или трудоемка	обеспечивает защиту любых геометрических поверхностей, фланцы, задвижки, отводы
защита от ожогов	защиты нет	автоматическая защита от ожогов, обусловленная физическими свойствами покрытий
визуальный контроль за состоянием оборудования	осмотр и УЗ контроль без демонтажа не возможен,	100% визуальный и УЗ контроль за состоянием любого оборудования - баки резерва воды, топлива, масла, отводы, фланцы, задвижки
трудоемкость монтажа	6-8 часов/м ²	производительность работ: безвоздушный распылитель -100м ² /час, кисть - 0,1 час/м ²
защита от звука	не обеспечивает	демпфирует любые поверхности во всем диапазоне частот- кожухи турбин, воздухопроводы
весовые характеристики	5-7 кг/м ²	эластичны, легки - 0,18 кг/м ² (один слой), лишней нагрузки не создают
ремонт и утилизация	утилизация и ремонт дорог и сложен, необходимы кап. вложения	ремонт покрытия в течении срока эксплуатации не требуется, ремонтные работы и восстановление покрытий после ремонта элементарны, отчислений на ремонт не требуются, в утилизация не нуждается
экологичность	вреден для здоровья	экологически чист, безвреден при нанесении и эксплуатации
эстетичность	быстро теряет	не теряет в течении всего срока эксплуатации, увеличивает освещенность помещений
пожаро - безопасность	горит при разливе и пропитке ГСМ	группа горючести Г1, инд. распространения пламени=0, при 850°С термически разлагается, выделяет углекислый газ и азот-тем самым гасит пламя и дым, разрешен к применению на оборудовании и трубопроводах в помещениях любой степени огнестойкости, огневых нагрузок не создает, относится к сверхтонким покрытиям до 2 мм, определяется как пожарозащитный.
криминаленность	возможность разграбления	разграблению и повторному использованию не подлежит

Методы измерений температур на поверхности сверхтонких теплоизоляционных покрытий

Методы и приборы, применяемые в современной теплоэнергетике, для замера температур на "традиционной изоляции" абсолютно не пригодны для контроля температур на сверхтонких теплоизоляционных покрытиях.

Измерение температур одна из сложнейших проблем в теплофизике, особенно если речь идет о сверхтонких теплоизоляционных покрытиях.

Низкая теплопроводность и температуропроводность покрытий Камкор приводит к существенным искажениям, при применении контактных методов измерения температур поверхностей изолируемых объектов.

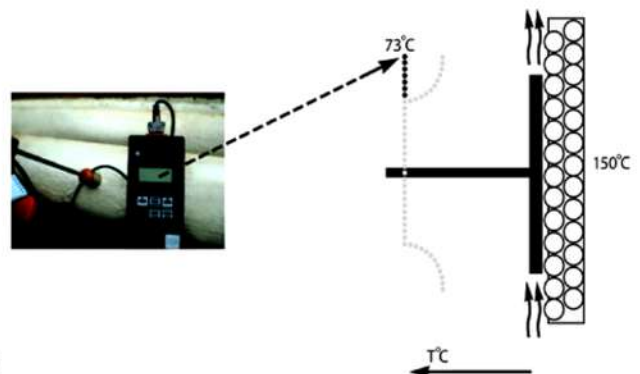
Для уменьшения этой погрешности необходимо применять специальные методы измерений.

При "стандартных" методиках ошибка измерения температуры может составлять десятки градусов в зависимости от температуры измеряемого объекта, температуры окружающей среды и теплофизических характеристик объекта.

Чем меньше теплопроводность материала, тем больше ошибка замера.

При замерах **контактными термометрами**, с закрытой измерительной пластиной, происходит экранировка части поверхности, закрываемой датчиком термометра от конвективных потоков и сам датчик касается поверхностного слоя перегретых оболочек керамических сфер. В результате он показывает завышенную температуру.

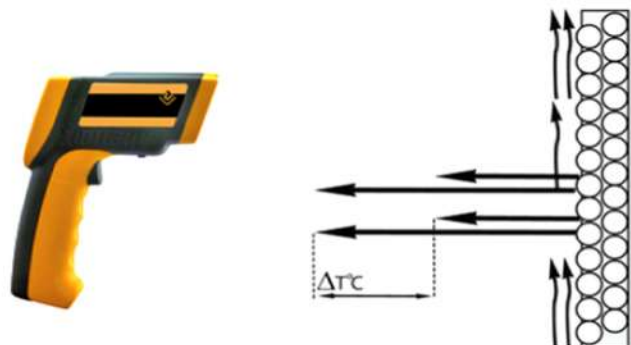
Такой способ замеров не пригоден для получения достоверной информации.



Высокая отражательная способность и низкая сполости, обладают пониженной степенью черноты) покрытия Камкор приводят к **существенным ошибкам при использовании пирометров и тепловизоров**, градуировка которых осуществляется с использованием модельных чернотельных излучателей, предназначенных для значений излучательной способности, близкой к $\epsilon \approx 0,99$, работающих в спектральном диапазоне волн 7-18 мкм.

Излучательная способность покрытий Камкор $\epsilon_{пр} \approx 0,24$, в спектральном диапазоне волн, длиной 1 - 4 мкм. Поэтому реальная (истинная) температура объекта может отличаться от измеренной в 2 - 3 раза, при неправильном учете коэффициента теплового излучения.

Бесконтактные методы и средства измерений пригодны только для ориентировочной оценки состояния трубопроводов и температур, т.к. на их точность влияют множество факторов (загрязненность воздуха, расстояние до объекта, неучтенный коэффициент излучения и т.д.), **поэтому такие измерения нельзя считать достоверными.**



Пирометры из общей картины температурного поля "выхватывают" максимальную температуру разогретых оболочек керамических сфер. Т.е. происходит радиационная засветка излучением, идущего непосредственно от поверхности микросфер. Малейшее дуновение ветерка меняет температуру приповерхностных микросфер.

Общая ошибка таких измерений может составлять десятки градусов. Поэтому **пирометры нельзя применять при замерах температур на сверхтонких покрытиях.**

Тепловизоры, применяемые в теплоэнергетике, **также непригодны для этих целей по причинам, указанным выше.**

Для определения температуры поверхности сверхтонкого теплоизоляционного покрытия наиболее надежными и достоверными являются определение температуры на ощупь и с помощью термопары с открытым рабочим спаем.

Наиболее точным и достоверным является метод замера температур на поверхности СТП предложил директор Института механики металлополимерных систем им. В.А. Белого, академик Н.К. Мышкин в 2009 г.

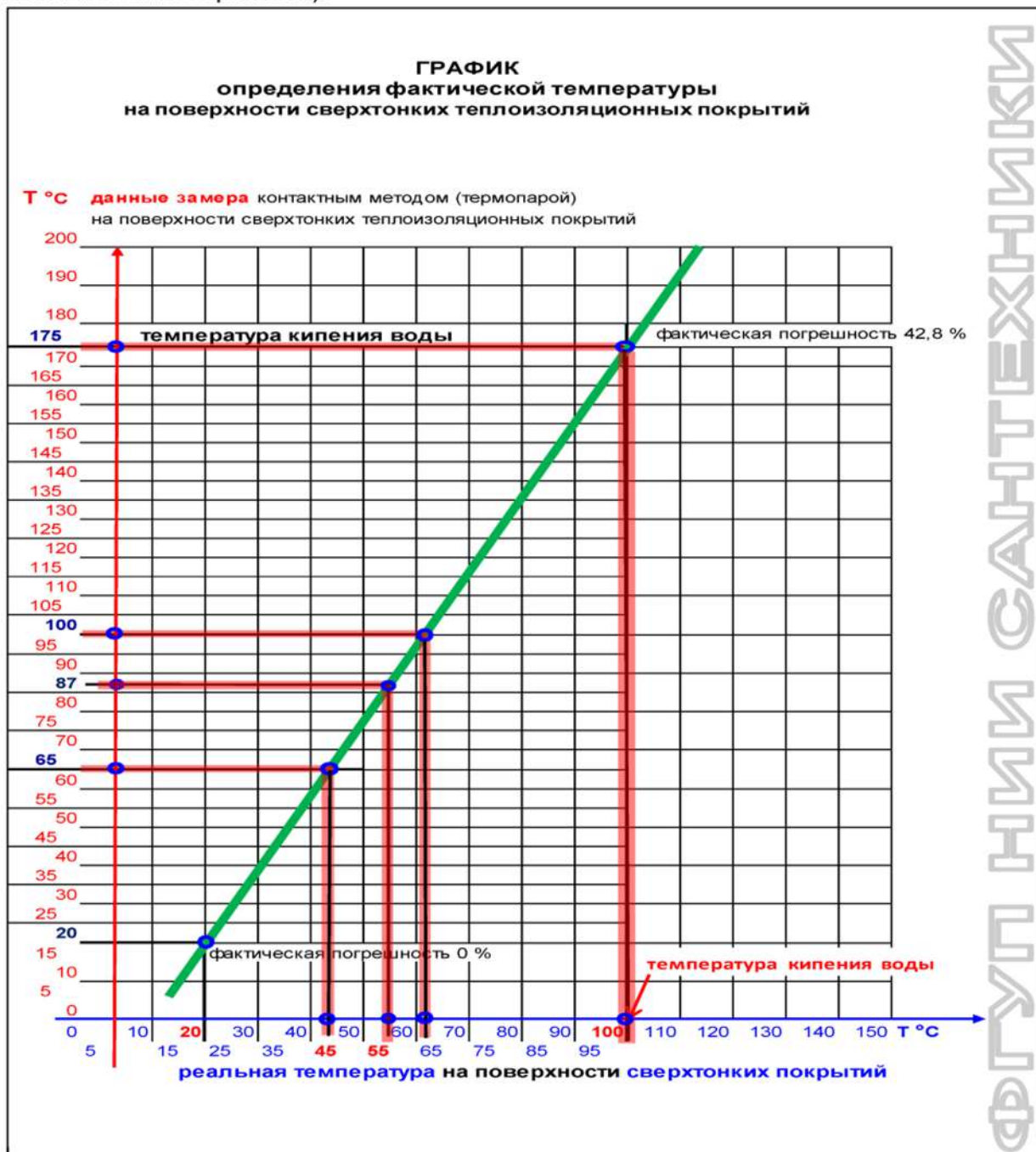
Метод основан на **факте кипения воды при температуре +175°C на поверхности сверхтонких теплоизоляторов** и заключается в измерении температуры контактной термопарой т. "К", с открытым спаем, помещенной в слой воды на поверхности покрытия, без контакта с его поверхностью.

В лабораторных условиях метод доказал свою состоятельность и точность измерений.

В настоящее время, наиболее испытанным и достоверным методом замера температур, является метод «ФГУП «НИИ Сантехники».

Он основан на проведении замеров температуры контактной термопарой т. "К", с открытым спаем, с последующей корректировкой погрешности измерений по графику, разработанный и одобренный «ФГУП «НИИ Сантехники».

На оси ординат откладывается температура, замеренная контактным способом на поверхности теплоизоляционного покрытия, а на оси абсцисс – реальная температура на поверхности покрытия. По этому графику, например, безопасной для человека является температура на поверхности покрытия 87°C (что соответствует температуре 55 °C на металлической поверхности).



Более простой и надежный способ предложил производитель материала Temp-Coat. Он основан на базе специально разработанных термометров и метода измерений. Метод опробован и рекомендован к применению производителем.

Эти уникальные переносные термометры незаменимы для измерения температур практически любых поверхностей. Биметаллический чувствительный элемент быстро измеряет температуру поверхности, он соответствующим образом защищен от повреждений магнитами и корпусом прибора. Для производства наиболее точных замеров прибор необходимо использовать в безветренную погоду. Поместите термометр на поверхность, температуру которой необходимо измерить – шкалой вверх, чтобы чувствительный элемент находился над поверхностью.

Магниты позволят Вам поместить прибор на любую часть магнитной поверхности. Прибор также можно использовать на немагнитных горизонтальных поверхностях.

Замеры снимаются через 1 минуту после установки термометра.

Температура окружающего воздуха вокруг термометра или тяга у поверхности могут незначительно повлиять на производимые замеры.



Санкт-Петербург, 2012 г. к.т.н. Ю.В. Башуев.