

ООО "Инновационные технологии"

М Е Т О Д

**постановки опыта и расчета коэффициента
теплопроводности для сверхтонких
тепловых изоляционных материалов,
методические рекомендации по теплотехническим расчетам**

МПО 001/2008

Казань, 2008 г.

УТВЕРЖДАЮ :

Директор ООО "Инновационные технологии"

_____ **А.А.Гайдук**

"__" _____ 2008 г.

М Е Т О Д

**постановки опыта и расчета коэффициента
теплопроводности для сверхтонких
тепловых изоляционных материалов,
методические рекомендации по теплотехническим расчетам**

МПО 001/2008

СОДЕРЖАНИЕ

Метод постановки опыта и расчета коэффициента теплопроводности для сверхтонких тепловых изоляционных материалов.

Методические рекомендации по теплотехническим расчетам. Пример теплотехнического расчета.

Измерение температуры на поверхности жидкого керамического теплоизоляционного материала RE-THERM™ .

постановки опыта и расчета коэффициента теплопроводности для сверхтонких тепловых изоляционных материалов, методические рекомендации по теплотехническим расчетам

ВВЕДЕНИЕ

Настоящие Методические рекомендации содержат указания по определению теплотехнических характеристик любых тонких и сверхтонких тепловых изоляционных материалов. Так же рекомендации содержат указания по проектированию тепловой изоляции оборудования, трубопроводов и строительных конструкций. Выполнение данных рекомендаций обеспечит соблюдение обязательных требований к теплозащите тепловых сетей, технологических трубопроводов и строительных конструкций при строительстве, капитальном ремонте и эксплуатации теплоизоляционной конструкции, установленных действующими СНиП 2.04.14 - 88* "Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов" и СНиП II - 3 - 79* "Строительная теплотехника".

Решение вопроса о применении данного документа при проектировании и строительстве конкретных зданий и сооружений относится к компетенции проектной или строительной организации. В случае если принято решение о применении настоящего документа, все установленные в нем правила являются обязательными. Частичное использование требований и правил, приведенных в настоящем документе, не допускается.

Методические рекомендации составлены с ориентацией на применение высокоэффективных утеплителей на основе новых норм плотности теплового потока через изолированную поверхность оборудования, трубопроводов и строительные конструкции, введенных постановлением Госстроя России от 31.12.97 г. № 18-80. документе, не допускается.

За основу данной методики была взята методика утвержденная ФГУП НИИ Сантехники в 2003 году "Метод постановки опыта и расчета коэффициента теплопроводности для сверхтонких тепловых изоляционных материалов, методические рекомендации по теплотехническим расчетам М-001-2003".

1. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

Основной задачей расчетов тепловой изоляции является определение потерь тепла и температур в изоляционном слое, удовлетворяющих определенным требованиям. Эти требования в большинстве случаев диктуются условиями производственного процесса изолируемой установки, а иногда соображениями санитарии и техники безопасности.

Расчетные формулы для плоской стенки значительно проще формул для цилиндрических объектов. Обычно формулы плоской стенки можно применять, если диаметр изолируемой стенки равен 2 метра и более. Толщина изоляции при применении новых видов тонких и сверхтонких тепловых изоляционных материалов измеряется в пределах нескольких миллиметров. Следовательно целесообразно применение в расчетах формул плоских стенок и для цилиндрических объектов.

В большинстве расчетов тепловой изоляции пренебрегают сопротивлением теплоотдачи от теплоносителя к стенке изолируемого объекта, что даёт некоторый запас в результатах расчета.

Коэффициент теплопроводности изоляционного слоя $\lambda_{из}$ при изменении температуры изменяется практически линейно. При расчетах тепловой изоляции этот коэффициент определяют по температуре, которая является средне-арифметической из температур на граничных поверхностях изоляционного слоя.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Коэффициент теплопроводности λ определяется удельным тепловым потоком, проходящим за 1 час через образец материала толщиной 1 метр и площадью 1 квадратный метр при разности температур на противоположных сторонах образца в 1 °С.

Определение коэффициента теплопроводности производится стационарным или нестационарным методом (ГОСТ 7076-99, ГОСТ 30732-2001).

Данные методы детально описаны в ГОСТах по определению коэффициента теплопроводности однако, ни один из них не подходит для определения коэффициента теплопроводности для новых видов сверхтонких тепловых изоляторов, таких как плёночная изоляция, изоляция основанная на вспученных перлитах, жидкие керамические изоляторы и тому подобных.

Несмотря на широкое распространение в последнее время сверхтонких тепловых изоляторов, практически отсутствуют методики для определения коэффициента теплопроводности сверхтонкой теплоизоляции. **Невозможность проверки рекламируемых производителями и дилерами характеристик новых сверхтонких тепловых изоляторов приводит к их подделке и как следствие дискредитации самой идеи сверхтонких теплоизоляторов.**

Авторы данных Методических рекомендаций разработали метод, при помощи которого возможно поставить опыт и практически рассчитать коэффициент теплопроводности для любого вида тонкой и сверхтонкой тепловой изоляции.

3. ПРЕДМЕТ ОПЫТА

В качестве тепловой изоляции выбран новый вид сверхтонкого изолятора - жидкий керамический тепловой изолятор **RE-THERM™** производства нашей компании

Теплоизоляционное покрытие **RE-THERM™**, представляет собой жидкую композицию на водной основе, состоящую из синтетического каучука, акриловых полимеров, диспергированных в этой композиции керамических (размером 0,01 мм) и силиконовых (размером 0,02 мм) полых шариков, а так же оксиды титана, кальция, цинка.

Изоляция **RE-THERM™**, предназначена для получения теплоизоляционного покрытия на поверхностях любой формы требующих тепловой защиты.

RE-THERM™ применяется для тепловой изоляции наружных и внутренних поверхностей ограждающих конструкций жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений, трубопроводов, воздуховодов, оборудования и так далее.

RE-THERM™ можно наносить на металл, пластик, бетон, кирпич и другие строительные материалы, а так же на оборудование, трубопроводы и воздуховоды при эксплуатации объектов с температурой от **минус 43 °С** до **плюс 260 °С**.

4. ОПИСАНИЕ ОПЫТА

Опыт по определению коэффициента теплопроводности сверхтонких теплоизоляторов основан на прохождении теплового потока последовательно через две теплоизолированные камеры (смотри рис. 1 и рис. 2) разделенные между собой металлическими пластинами.

В зависимости от опыта тепловой изолятор находится в трех положениях -

1. Изоляции нет (проверка конструкции).
2. Изолятор установлен между металлическими пластинами.
3. Изолятор обращен в камеру № 2.
4. Изолятор обращен в камеру № 1.

В качестве постоянного источника тепла использован бак из нержавеющей стали размером 30 x 30 x 10 см с кипящей водой температурой 100 °С. Нагреватель - электрокипятильник погружной ЭП - 1.0 / 220 "КВАРЦ - 1", ГОСТ 14705 - 83, мощностью 1,0 кВт.

Непосредственно к баку с кипящей водой последовательно друг на друга крепятся две камеры состоящие из пенопластового короба 12 x 12 см с толщиной стенок 2 x 2 см.

Короба разделены между собой двумя металлическими пластинами 10 x 10 см. Крайний короб (камера № 2) закрыт одной металлической пластиной 10 x 10 см.

Для сокращения тепловых потерь, металлические пластины между камерами № 1 и № 2 дополнительно по торцу теплоизолированы пенопластовой полосой.

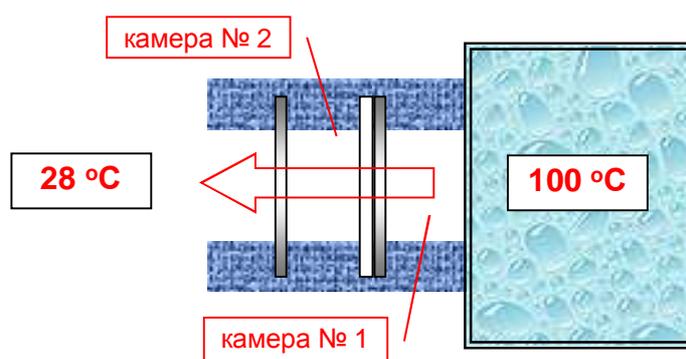
Датчики контактных термометров установлены в каждой из камер, а так же на внешних поверхностях крышек камер.

Замер температуры воздуха в помещении где проходит опыт замеряем на расстоянии 1,2 метра от края крышки камеры № 2.

5. ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ОПЫТА

В установившемся тепловом режиме опыта (в течении 3 часов) произведём снятие показаний термометров.

Рассмотрим камеру № 2.



Если известна температура теплоносителя (в нашем случае температура воздуха в камере № 2), температура окружающего воздуха, толщина и коэффициент теплопроводности крышки камеры то тепловые потери составят

$$q_2 = t_2 - t_n / (1 / \alpha_B + \delta_{из} / \lambda_{из} + 1 / \alpha_n)$$

Для упрощения расчетов и в связи с незначительностью тепловых потерь через пенопластовый корпус камеры № 2 - тепловые потери от корпуса не берутся в расчет.

Учитывая, что тепловые потери в камере № 2 не могут превышать сумму поступившего в камеру тепла от камеры № 1 принимаем - тепловые потери в камере № 1 равными или большими тепловым потерям в камере № 2, то есть -

$$q_2 = < q_1$$

В случае если тепловые потери в камере № 1 больше чем в камере № 2 температура воздуха в камере № 2 будет расти и стремиться к температуре воздуха в камере № 1. В нашем случае температура воздуха в камере № 2 стабильна и меньше температуры воздуха камеры № 1. Следовательно, тепловые потери в камере № 2 равны тепловым потерям камеры № 1.

$$q_1 = q_2$$

для камеры № 1 -

$$q_1 = t_1 - t_2 / (1 / \alpha_B + \delta_{из} / \lambda_{из} + 1 / \alpha_n)$$

или коэффициент теплопроводности изоляционного слоя

$$\lambda_{ст} = \delta_{из} / [(t_1 - t_2) / q_1 - (1 / \alpha_B + 1 / \alpha_n)]$$

Термическое сопротивление изоляционной стенки состоит из термического сопротивления перегородки и термического сопротивления изоляции -

$$R_{ст} = \delta_{ст} / \lambda_{ст} + \delta_{из} / \lambda_{из}$$

или коэффициент теплопроводности теплоизоляции

$$\lambda_{из} = \delta_{из} / (R_{ст} - \delta_{ст} / \lambda_{ст})$$

где

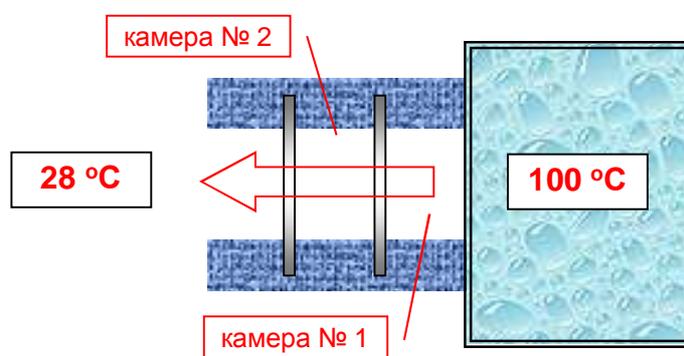
- t_n температура окружающего воздуха
- t_1 температура воздуха в камере № 1
- t_2 температура воздуха в камере № 2
- α_B коэф.тепловосприятости стенки
- α_n коэф.теплоотдачи от изоляции в окр.воздух
- $\delta_{из}$ толщина изоляции
- q_1 тепловые потери в камере № 1
- q_2 тепловые потери в камере № 2
- $\delta_{ст}$ толщина стенки
- $\lambda_{ст}$ коэффициент теплопроводности стенки

Меняя местами нахождение теплоизоляции (до, в середине или после перегородки между камерой № 1 и № 2) можно достаточно точно определить коэффициенты теплоотдачи и тепловосприятости изоляции.

6. ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТА

Опыт № 1

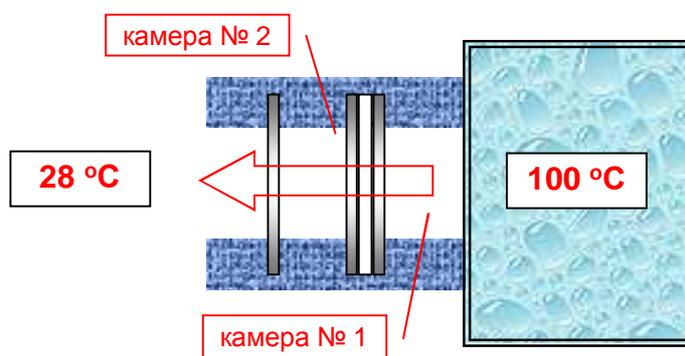
В опыте № 1 мы **не устанавливаем** дополнительную тепловую изоляцию.
Цель опыта - проверка правильности постановки опыта. Определение потерь тепла в тестируемых камерах.



Опыт № 2

В опыте № 2 изолятор установлен между металлическими пластинами.

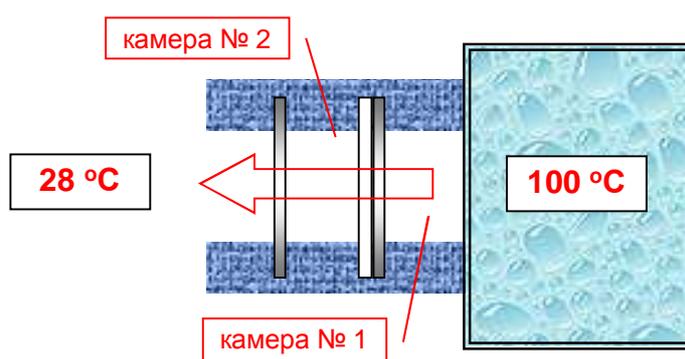
Цель опыта - определение коэффициента теплопроводности тестируемого теплового изолятора.



Опыт № 3

В опыте № 3 изолятор установлен в камере № 2.

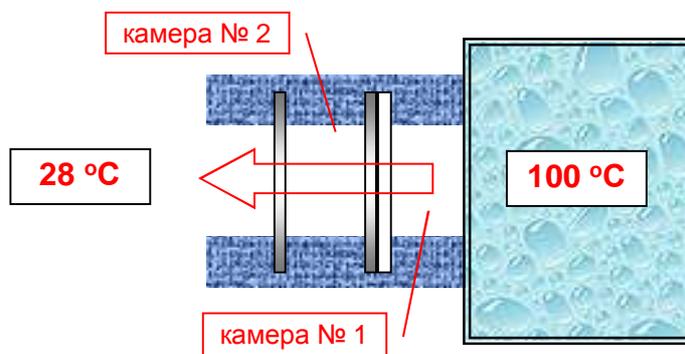
Цель опыта - определение коэффициента теплоотдачи тестируемого теплового изолятора.



Опыт № 4

В опыте № 4 изолятор установлен в камере № 1.

Цель опыта - определение коэффициента тепловосприятия тестируемого теплового изолятора.



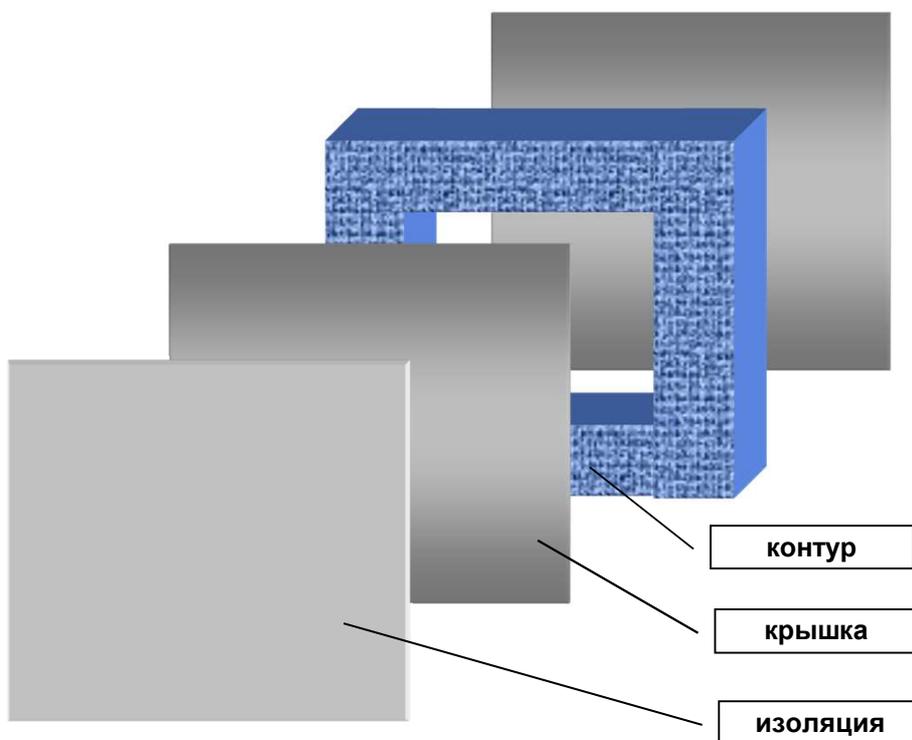
Результаты замера температур во всех опытах сведены в таблицы. Замеры температур производились через каждые 10 минут в течении 3 часов до полной стабилизации теплового процесса.

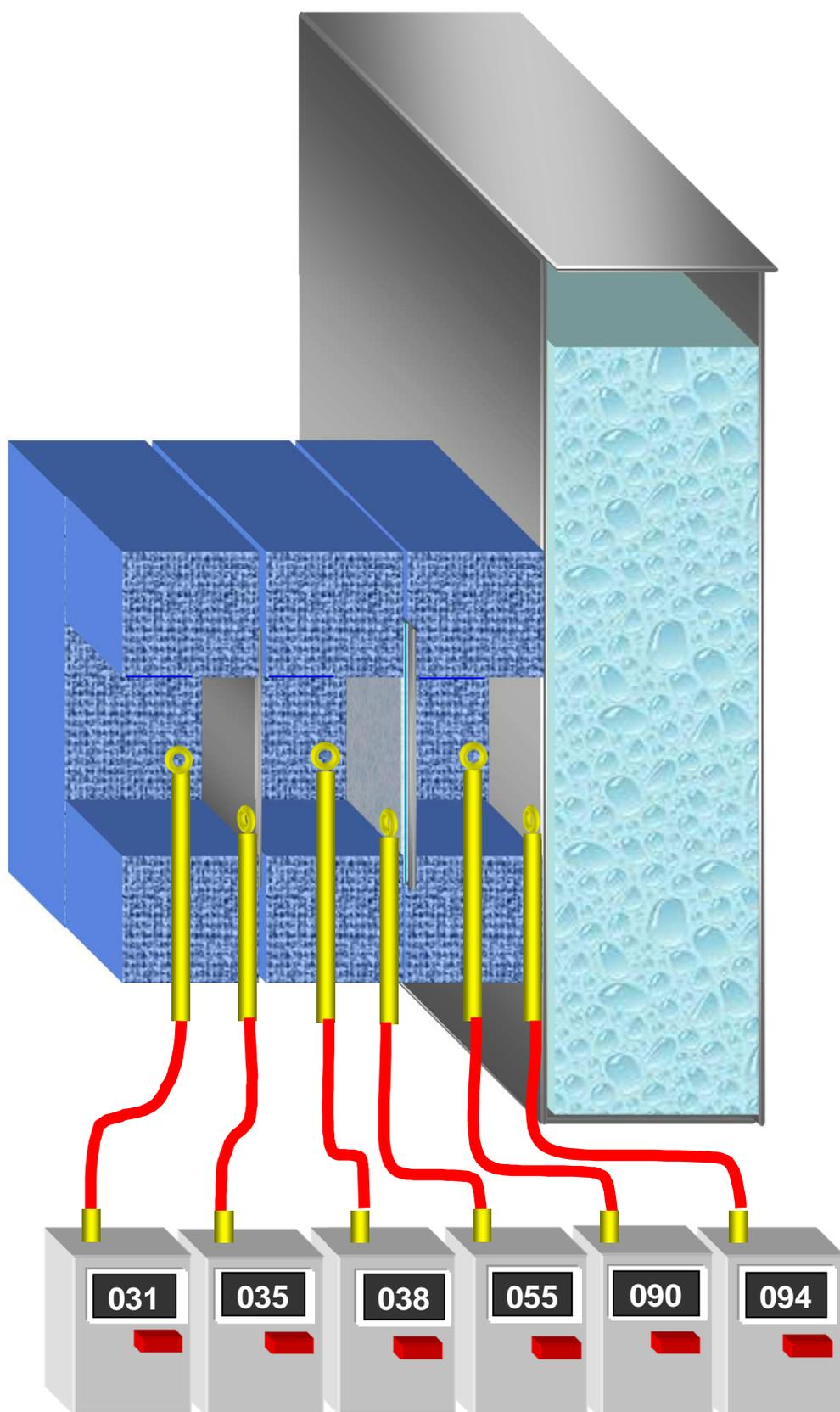
По данным замеров температур в установившемся тепловом режиме выполнены теплотехнические расчеты.

Итоговые данные теплотехнических расчетов сведены в единую таблицу "Теплофизические Свойства", на основании которой сделан вывод по всем опытам.

7. ТЕПЛОВАЯ КАМЕРА

ТЕПЛОВАЯ КАМЕРА







8. ВЫВОД

Значения по всем опытам сведены в таблицу Теплофизических свойств.

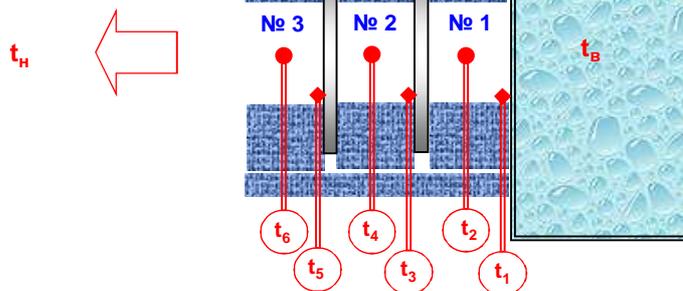
Теплофизические свойства

	теповосприятие $\alpha_{\text{в}}$	теплоотдача $\alpha_{\text{н}}$	теплопроводность $\lambda_{\text{виз}}$
RE-THERM™	1,76 Вт / м ² °С	1,58 Вт / м ² °С	0,00111 Вт / м °С
	ккал / ч м ² °С	ккал / ч м ² °С	ккал / ч м °С
	1,52 ккал / ч м ² °С	1,36 ккал / ч м ² °С	0,00096 ккал / ч м °С

Результаты проведенных испытаний позволяют сделать следующий вывод - **жидкий керамический теплоизоляционный материал RE-THERM™ может быть рекомендован для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, оборудования, трубопроводов с учетом требований соответствующей нормативной технической документации.**

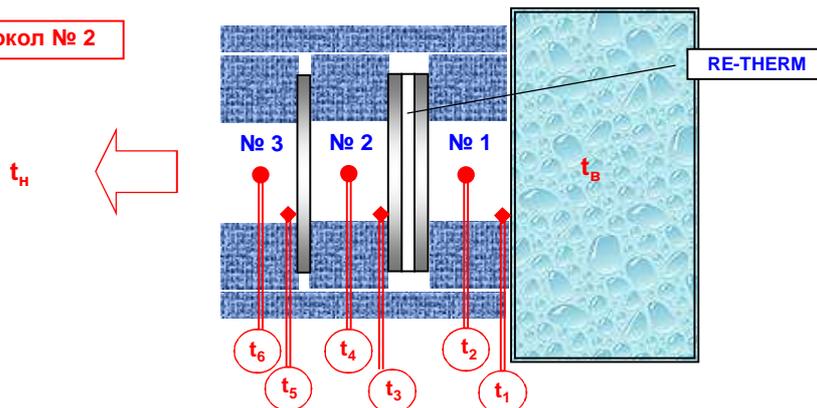
На основе полученных данных в приложении приведены методические рекомендации по расчету тепловой изоляции.

протокол № 1



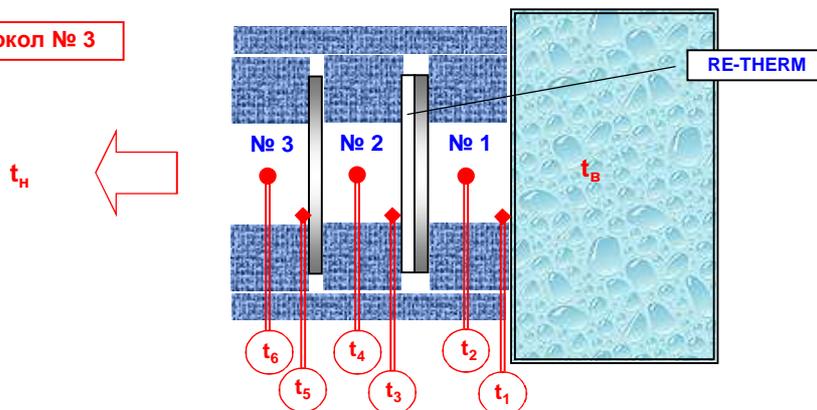
период	t_B	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_H
3:00	100	92	76	66	52	47	37	29

протокол № 2



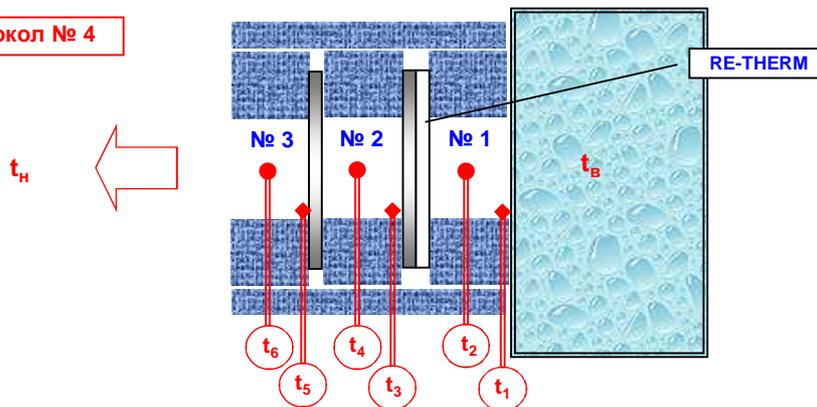
период	t_B	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_H
3:00	100	96	90	75	45	38	33	29

протокол № 3



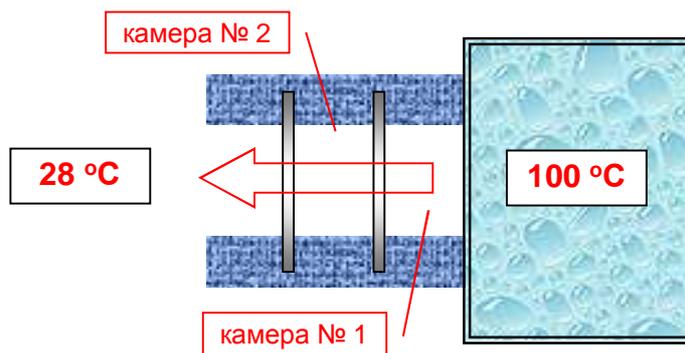
период	t_B	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_H
3:00	100	94	90	55	38	35	31	29

протокол № 4



период	t_B	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_H
3:00	100	98	97	71	40	35	31	29

Схема опыта



Исходные данные

Протокол № 1 - Специальный тепловой изолятор не используется.

t_B	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_H
100	92	77	66	52	47	37	28

Данные протокола № 1 при установившемся тепловом режиме -

t_B	температура кипящей воды	100	°C
t_1	температура на поверхности бака	92	°C
t_2	температура воздуха в камере № 1	77	°C
t_3	температура на поверхности камеры № 1	66	°C
t_4	температура воздуха в камере № 2	52	°C
t_5	температура на поверхности камеры № 2	47	°C
t_6	температура воздуха в камере № 3	37	°C
t_H	температура окружающего воздуха	28	°C
α_B	коэффициент тепловосприятости стенок (СНиП 2.04.14 - 88*)	8,7	Вт / м ² °C
λ_K	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт / м °C
δ_K	толщина крышки из стали	0,0008	м
$\lambda_{из}$	коэффициент теплопроводности изоляции	нет	Вт / м °C
$\delta_{из}$	толщина изоляции	нет	м

Расчет

Если известна температура теплоносителя, температура окружающего воздуха, толщина и коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, то тепловые потери составят

$$q_2 = t_4 - t_n / (1 / \alpha_B + \delta_K / \lambda_K + 1 / \alpha_H)$$

где для **камеры № 2** -

q₂	тепловые потери камеры № 2	116,89	Вт / м ²
t₄	температура воздуха в камере № 2	52	°С
t_n	температура окружающего воздуха	28	°С
α_B	коэффициент тепловосприятия стенок	8,7	Вт / м ² °С
α_H	коэф. теплоотдачи от крышки в окр.воздух для плоской поверхностинаходящейся в помещении α_H = [8,4 + 0,06 (t₅ - t_n)] 1,16 (Справочник Тепловая изоляция. СТРОЙИЗДАТ - 1976)	11,0664	Вт / м ² °С
t₅	температура на поверхности камеры № 2	47	°С
λ_K	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт / м °С
δ_K	толщина крышки	0,00080	м

Для упрощения расчетов и в связи с незначительностью тепловых потерь через пенопластовый корпус камеры № 2 - тепловые потери от корпуса не берутся в расчет.

Учитывая, что тепловые потери в камере № 2 не могут превышать сумму поступившего в камеру тепла от камеры № 1 принимаем - тепловые потери в камере № 1 равными или большими тепловым потерям в камере № 2, то есть -

$$q_2 = < q_1 = > \quad \quad \quad \mathbf{116,89} \quad \text{Вт / м}^2$$

Для камеры № 1 -

$$q_1 = t_2 - t_4 / (1 / \alpha_{\text{в}} + \delta_{\text{к}} / \lambda_{\text{к}} + 1 / \alpha_{\text{н}})$$

где -

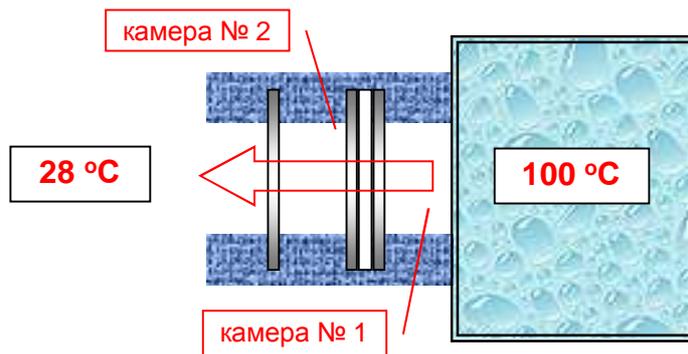
q_1	тепловые потери камеры № 1	120,04	Вт / м ²
t_2	температура воздуха в камере № 1	77	°С
t_4	температура воздуха в камере № 2	52	°С
$\alpha_{\text{в}}$	коэффициент тепловосприятия стенок	8,7	Вт / м ² °С
$\alpha_{\text{н}}$	коэф. теплоотдачи от стенки в окр. воздух для плоской поверхности находящейся в помещении $\alpha_{\text{н}} = [8,4 + 0,06 (t_5 - t_{\text{н}})] 1,16$ (Справочник Тепловая изоляция. СТРОЙИЗДАТ - 1976)	10,7184	Вт / м ² °С
t_3	температура на поверхности камеры № 1	66	°С
$\lambda_{\text{к}}$	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт / м °С
$\delta_{\text{к}}$	толщина крышки	0,00080	м
	Тепловые потери в камере № 1 -	120,04	Вт / м ²
	Тепловые потери в камере № 2 -	116,89	Вт / м ²
	Расхождение составляет -	2,7	%

Результат опыта № 1

Расхождение замеров тепловых потерь в камерах № 1 и № 2 составило - 2,7 %. Поэтому можно принять, что

тепловые потери камеры № 1 равны тепловым потерям камеры № 2.

Схема опыта



Исходные данные

Протокол № 2 - Специальный тепловой изолятор RE-THERM находится между двух металлических пластин.

t_B	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_H
100	96	90	77	45	38	33	28

Данные протокола № 2 при установившемся тепловом режиме -

t_B	температура кипящей воды	100	°C
t_1	температура на поверхности бака	96	°C
t_2	температура воздуха в камере № 1	90	°C
t_3	температура на поверхности камеры № 1	77	°C
t_4	температура воздуха в камере № 2	45	°C
t_5	температура на поверхности камеры № 2	38	°C
t_6	температура воздуха в камере № 3	33	°C
t_H	температура окружающего воздуха	28	°C
α_B	коэффициент тепловосприятости стенок (СНиП 2.04.14 - 88*)	8,7	Вт / м ² °C
λ_K	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт / м °C
δ_K	толщина крышки из стали	0,0008	м
$\lambda_{из}$	коэффициент теплопроводности изоляции	?	Вт / м °C
$\delta_{из}$	толщина изоляции	0,00040	м

Расчет

Если известна температура теплоносителя, температура окружающего воздуха, толщина и коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, то тепловые потери составят

$$q_2 = t_4 - t_n / (1 / \alpha_B + \delta_k / \lambda_k + 1 / \alpha_n)$$

где для **камеры № 2** -

q₂	тепловые потери камеры № 2	80,66	Вт / м ²
t₄	температура воздуха в камере № 2	45	°C
t_n	температура окружающего воздуха	28	°C
α_B	коэффициент тепловосприятия стенкой	8,7	Вт / м ² °C
α_n	коэф. теплоотдачи от крышки в окр. воздух для плоской поверхности находящейся в помещении α_n = [8,4 + 0,06 (t₅ - t_n)] 1,16 (Справочник Тепловая изоляция. СТРОЙИЗДАТ - 1976)	10,44	Вт / м ² °C
t₅	температура на поверхности камеры № 2	38	°C
λ_к	коэффициент теплопроводности оцинкованной стали	38	Вт / м °C
δ_к	толщина крышки	0,00080	м

Для упрощения расчетов и в связи с незначительностью тепловых потерь через пенопластовый корпус камеры № 2 - тепловые потери от корпуса не берутся в расчет.

Учитывая, что тепловые потери в камере № 2 не могут превышать сумму поступившего в камеру тепла от камеры № 1 принимаем - тепловые потери в камере № 1 равными или большими тепловым потерям в камере № 2, то есть -

$$q_2 = < q_1 = > \quad 80,66 \quad \text{Вт / м}^2$$

Следовательно для **камеры № 1** -

$$q_1 = t_2 - t_4 / (1 / \alpha_B + \delta_K / \lambda_K + \delta_{ИЗ} / \lambda_{ИЗ} + \delta_K / \lambda_K + 1 / \alpha_H)$$

Коэффициент теплопроводности теплового изолятора -

$$\lambda_{ИЗ} = \delta_{ИЗ} / (((t_2 - t_4) / q_1) - (1 / \alpha_B + \delta_K / \lambda_K + \delta_K / \lambda_K + 1 / \alpha_H))$$

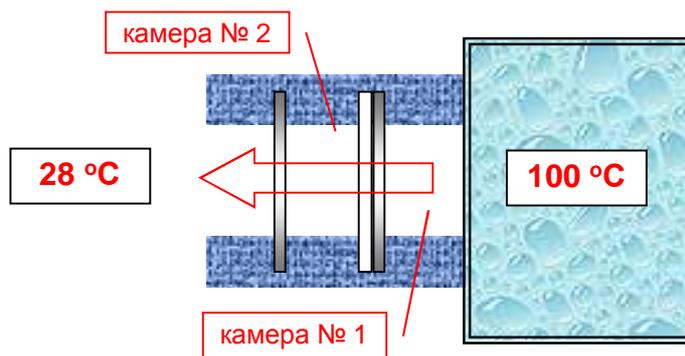
где -

q_1	тепловые потери камеры № 1	80,66	Вт / м ²
t_2	температура воздуха в камере № 1	90	°С
t_4	температура воздуха в камере № 2	45	°С
α_B	коэффициент тепловосприятости стенкой	8,7	Вт / м ² °С
α_H	коэф. теплоотдачи от стенки в окр.воздух для плоской поверхностинаходящейся в помещении $\alpha_H = [8,4 + 0,06 (t_5 - t_H)] 1,16$ (Справочник Тепловая изоляция. СТРОЙИЗДАТ - 1976)	11,9712	Вт / м ² °С
t_3	температура на поверхности камеры № 1	77	°С
λ_K	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт / м °С
δ_K	толщина крышки	0,00080	м
$\lambda_{ИЗ}$	коэффициент теплопроводности изоляции	0,00111	Вт / м °С
$\delta_{ИЗ}$	толщина изоляции	0,0004	м

Результат опыта № 2

Коэффициент теплопроводности теплового изолятора RE-THERM ($\lambda_{ИЗ}$) равен - 0,00111 Вт / м² °С

Схема опыта



Исходные данные

Протокол № 3 - Специальный тепловой изолятор RE-THERM находится на металлической пластине со стороны камеры № 2.

t_B	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_H
100	94	90	55	38	35	31	28

Данные протокола № 3 при установившемся тепловом режиме -

t_B	температура кипящей воды	100	°C
t_1	температура на поверхности бака	94	°C
t_2	температура воздуха в камере № 1	90	°C
t_3	температура на поверхности камеры № 1	55	°C
t_4	температура воздуха в камере № 2	38	°C
t_5	температура на поверхности камеры № 2	35	°C
t_6	температура воздуха в камере № 3	31	°C
t_H	температура окружающего воздуха	28	°C
α_B	коэффициент тепловосприятости стенок (СНиП 2.04.14 - 88*)	8,7	Вт / м ² °C
λ_K	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт / м °C
δ_K	толщина крышки из стали	0,0008	м
$\lambda_{из}$	коэффициент теплопроводности изоляции (Смотри теплотехнический расчет опыта № 2)	0,00111	Вт / м °C
$\delta_{из}$	толщина изоляции	0,00040	м

Если известна температура теплоносителя, температура окружающего воздуха, толщина и коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, то тепловые потери составят

$$q_2 = t_4 - t_n / (1 / \alpha_B + \delta_k / \lambda_k + 1 / \alpha_n)$$

где для **камеры № 2** -

q₂	тепловые потери камеры № 2	47,01	Вт / м ²
t₄	температура воздуха в камере № 2	38	°C
t_n	температура окружающего воздуха	28	°C
α_B	коэффициент тепловосприятия стенкой	8,7	Вт / м ² °C
α_n	коэф. теплоотдачи от крышки в окр.воздух для плоской поверхностинаходящейся в помещении α_n = [8,4 + 0,06 (t₅ - t_n)] 1,16 (Справочник Тепловая изоляция. СТРОЙИЗДАТ - 1976)	10,2312	Вт / м ² °C
t₅	температура на поверхности камеры № 2	35	°C
λ_k	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт / м °C
δ_k	толщина крышки	0,00080	м

Для упрощения расчетов и в связи с незначительностью тепловых потерь через пенопластовый корпус камеры № 2 - тепловые потери от корпуса не берутся в расчет.

Учитывая, что тепловые потери в камере № 2 не могут превышать сумму поступившего в камеру тепла от камеры № 1 принимаем - тепловые потери в камере № 1 равными или большими тепловым потерям в камере № 2, то есть -

$$q_2 = < q_1 = > \quad 47,01 \quad \text{Вт / м}^2$$

Следовательно для **камеры № 1** -

$$q_1 = t_2 - t_4 / (1 / \alpha_B + \delta_K / \lambda_K + \delta_{из} / \lambda_{из} + 1 / \alpha_H)$$

Коэффициент теплоотдачи теплового изолятора -

$$\alpha_H = 1 / (((t_2 - t_4) / q_1) - (1 / \alpha_B + \delta_K / \lambda_K + \delta_{из} / \lambda_{из}))$$

где -

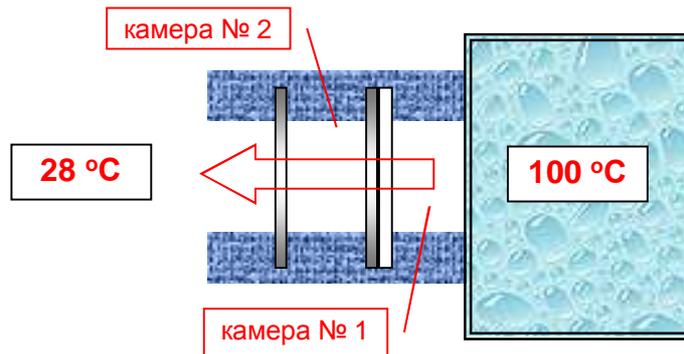
q_1	тепловые потери камеры № 1	47,01	Вт / м ²
t_2	температура воздуха в камере № 1	90	°С
t_4	температура воздуха в камере № 2	38	°С
α_B	коэффициент тепловосприятости стенкой	8,7	Вт / м ² °С
α_H	коэф. теплоотдачи теплового изолятора	1,58291	Вт / м ² °С
λ_K	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт / м °С
δ_K	толщина крышки	0,00080	м
$\lambda_{из}$	коэффициент теплопроводности изоляции	0,00111	Вт / м °С
$\delta_{из}$	толщина изоляции	0,0004	м

Результат опыта № 3

Коэффициент теплоотдачи теплового изолятора RE-THERM (α_H) равен -

1,5829 Вт / м² °С

Схема опыта



Исходные данные

Протокол № 4 - Специальный тепловой изолятор RE-THERM находится на металлической пластине со стороны камеры № 1

t_B	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_H
100	98	97	71	40	35	31	28

Данные протокола № 4 при установившемся тепловом режиме -

t_B	температура кипящей воды	100	°C
t_1	температура на поверхности бака	98	°C
t_2	температура воздуха в камере № 1	97	°C
t_3	температура на поверхности камеры № 1	71	°C
t_4	температура воздуха в камере № 2	40	°C
t_5	температура на поверхности камеры № 2	35	°C
t_6	температура воздуха в камере № 3	31	°C
t_H	температура окружающего воздуха	28	°C
α_B	коэффициент тепловосприятости стенок (СНиП 2.04.14 - 88*)	8,7	Вт / м ² °C
λ_K	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт / м °C
δ_K	толщина крышки из стали	0,0008	м
$\lambda_{из}$	коэффициент теплопроводности изоляции (Смотри теплотехнический расчет опыта № 2)	0,00111	Вт / м °C
$\delta_{из}$	толщина изоляции	0,00040	м

Расчет

Если известна температура теплоносителя, температура окружающего воздуха, толщина и коэффициент теплопроводности изоляционного слоя, то тепловые потери составят

$$q_2 = t_4 - t_n / (1 / \alpha_B + \delta_k / \lambda_k + 1 / \alpha_n)$$

где для **камеры № 2** -

q₂	тепловые потери камеры № 2	56,42	Вт / м ²
t₄	температура воздуха в камере № 2	40	°C
t_n	температура окружающего воздуха	28	°C
α_B	коэффициент тепловосприятия стенкой	8,7	Вт / м ² °C
α_n	коэф. теплоотдачи от крышки в окр.воздух для плоской поверхностинаходящейся в помещении α_n = [8,4 + 0,06 (t₅ - t_n)] 1,16 (Справочник Тепловая изоляция. СТРОЙИЗДАТ - 1976)	10,2312	Вт / м ² °C
t₅	температура на поверхности камеры № 2	35	°C
λ_k	коэффициент теплопроводности оцинкованной стали	38	Вт / м °C
δ_k	толщина крышки	0,00080	м

Для упрощения расчетов и в связи с незначительностью тепловых потерь через пенопластовый корпус камеры № 2 - тепловые потери от корпуса не берутся в расчет.

Учитывая, что тепловые потери в камере № 2 не могут превышать сумму поступившего в камеру тепла от камеры № 1 принимаем - тепловые потери в камере № 1 равными или большими тепловым потерям в камере № 2, то есть -

$$q_2 = < q_1 = > \quad \quad \quad \mathbf{56,42} \quad \text{Вт / м}^2$$

Следовательно для **камеры № 1** -

$$q_1 = t_2 - t_4 / (1 / \alpha_B + \delta_K / \lambda_K + \delta_{из} / \lambda_{из} + 1 / \alpha_H)$$

Коэффициент тепловосприятости теплового изолятора -

$$\alpha_B = 1 / (((t_2 - t_4) / q_1) - (1 / \alpha_H + \delta_K / \lambda_K + \delta_{из} / \lambda_{из}))$$

где -

q_1	тепловые потери камеры № 1	56,42	Вт / м ²
t_2	температура воздуха в камере № 1	97	°С
t_4	температура воздуха в камере № 2	40	°С
α_B	коэф.тепловосприятости изолятора	1,76381	Вт / м ² °С
α_H	коэф.теплоотдачи от крышки в окр.воздух для плоской поверхностинаходящейся в помещении $\alpha_H = [8,4 + 0,06 (t_5 - t_H)] 1,16$ (Справочник Тепловая изоляция. СТРОЙИЗДАТ - 1976)	11,9016	Вт / м ² °С
t_3	температура на поверхности камеры № 1	71	°С
λ_K	коэффициент теплопроводности оцинкованной стали	38	Вт / м °С
δ_K	толщина крышки	0,00080	м
$\lambda_{из}$	коэффициент теплопроводности изоляции	0,00111	Вт / м °С
$\delta_{из}$	толщина изоляции	0,0004	м

Результат опыта № 4

Коэффициент тепловосприятости теплового изолятора RE-THERM (α_B) равен - **1,7638 Вт / м² °С**

рекомендации по расчету тепловой изоляции трубопроводов

введение

Расчетные формулы для плоской стенки значительно проще формул для цилиндрических объектов. Обычно формулы плоской стенки можно применять, если диаметр изолируемой стенки равен 2000 мм и более. Толщина изоляции при применении новых видов сверхтонких теплоизоляционных материалов измеряется в пределах нескольких миллиметров. Следовательно целесообразно применение в расчетах формул плоских стенок для цилиндрических объектов.

В большинстве расчетов тепловой изоляции пренебрегают сопротивлением теплоотдачи от теплоносителя к стенке изолируемого объекта, что даёт некоторый запас в результатах расчета.

тепловой изолятор

В качестве примера, для расчета толщины изоляционного слоя примем жидкий керамический теплоизоляционный материал **RE-THERM™** производства ООО "Инновационные технологии"

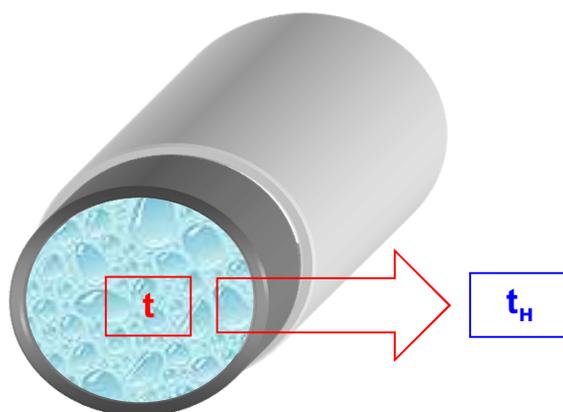
Технологическая толщина одного слоя тепловой изоляции **RE-THERM™** равна **0,38** мм, необходимое количество слоёв тепловой изоляции определяется расчетом.

Теплофизические свойства **RE-THERM™** приведены в **таблице 1**.

таблица 1

тепловая изоляция	тепловосприятие $\alpha_{\text{в}}$ Вт / м ² °С	теплоотдача $\alpha_{\text{н}}$ Вт / м ² °С	теплопроводность $\lambda_{\text{из}}$ Вт / м °С
RE-THERM™	1,76	1,58	0,00111

схема изоляции



Определение потерь тепла в окружающий воздух и температур в изоляции

В зависимости от исходных данных теплотери с единицы поверхности изоляции определяются следующим образом.

1. Если заданы температура внутренней поверхности изоляционного слоя, температура наружной поверхности изоляционного слоя, толщина и коэффициент теплопроводности изоляционного слоя.

$$q = \lambda_{из} (t_{в.из} - t_{из}) / \delta_{из}$$

где -

q	тепловые потери (таблица 2)	84	Вт / м ²
t_{в.из}	температура внутренней поверхности изоляции (смотри расчет)	152	°C
t_{из}	температура наружной поверхности изоляции	78	°C
λ_{из}	коэффициент теплопроводности изоляции (таблица 1)	0,0011131	Вт / м °C
δ_{из}	толщина изоляции (смотри расчет)	0,0009847	м

2,6

КОЛИЧЕСТВО СЛОЁВ

2. Если задана температура теплоносителя, температура окружающего воздуха, толщина и коэффициент теплопроводности изоляционного слоя.

$$q = t - t_n / (1 / \alpha_v + \delta_{из} / \lambda_{из} + 1 / \alpha_n)$$

где -

q	тепловые потери (таблица 2)	84	Вт / м ²
t	температура теплоносителя	200	°C
t_н	температура окружающего воздуха	25	°C
α_в	коэф.тепловосприятости стенкой (таблица 1)	1,76	Вт / м ² °C
α_н	коэф.теплоотдачи от изоляции в окр.воздух (таблица 1)	1,58	Вт / м ² °C
λ_{из}	коэффициент теплопроводности изоляции (таблица 1)	0,0011131	Вт / м °C
δ_{из}	толщина изоляции (смотри расчет)	0,0009847	м

2,6

КОЛИЧЕСТВО СЛОЁВ

3. Если заданы температура на поверхности изоляционной конструкции и температура окружающего воздуха.

$$q = \alpha_n (t_k - t_n)$$

где -

q	тепловые потери	32	Вт / м ²
α_н	коэф.теплоотдачи от изоляции в окр.воздух (таблица 1)	1,58	Вт / м ² °С
t_к	температура на поверхности изоляции (санитарные нормы)	45	°С
t_н	температура окружающего воздуха	25	°С

4. При известных частных термических сопротивлениях температуру внутренней поверхности изоляционного слоя определяют по формуле -

$$t_{в.из} = t - q / \alpha_{в}$$

где -

t_{в.из}	температура внутренней поверхности изоляции	152	°С
t	температура теплоносителя	200	°С
q	тепловые потери (таблица 2)	84	Вт / м ²
α_в	коэф.тепловосприятости стенкой (таблица 1)	1,76	Вт / м ² °С

Определение толщины изоляционного слоя по заданной потере тепла

Определение толщины принятого изоляционного слоя по заданной потере тепла является наиболее распространенным случаем расчета изоляции. Потеря тепла может быть задана исходя из условий технологии производства или определена по действующим нормам (таблица 2).

таблица 2

нормы тепловых потерь изолированных поверхностей							
Средняя температура, °С	50	100	200	300	400	500	600
Тепловые потери, Вт / м ²	29	50	84	121	151	181	210

Толщина изоляционной конструкции определяется по формуле -

$$\delta_{из} = \lambda_{из} [(t - t_{н}) / q - (1 / \alpha_{в} + 1 / \alpha_{н})]$$

где -

δ_{из}	толщина изоляции	0,00098	м	2,6
λ_{из}	коэффициент теплопроводности изоляции (таблица 1)	0,0011131	Вт / м °С	
t	температура теплоносителя	200	°С	

количество слоёв

t_n	температура окружающего воздуха	25	°C
q	тепловые потери (таблица 2)	84	Вт / м ²
α_B	коэф.тепловосприятости стенкой (таблица 1)	1,76	Вт / м ² °C
α_n	коэф.теплоотдачи от изоляции в окр.воздух (таблица 1)	1,58	Вт / м ² °C

Определение толщины изоляционного слоя по заданной температуре на поверхности изоляции

Обычно толщину изоляционного слоя по заданной температуре на поверхности изоляции определяют в том случае, когда тепловая потеря изолированного объекта регламентированна, а изоляция необходима как средство, обеспечивающее нормальную температуру воздуха в рабочих помещениях или предохраняющее обслуживающий персонал от ожогов. В таких случаях температура на поверхности изоляции принимается равной: **45 °C** в закрытых рабочих помещениях, **60 °C** на открытом воздухе.

Толщина изоляционной конструкции определяется по формуле -

$$\delta_{из} = \lambda_{из} (t_{в из} - t_{из}) / q$$

где -

			количество слоёв	
$\delta_{из}$	толщина изоляции	0,00142	м	3,7
$\lambda_{из}$	коэффициент теплопроводности изоляции (таблица 1)	0,0011131	Вт / м °C	
$t_{в.из}$	температура внутренней поверхности изоляции (смотри расчет)	152	°C	
$t_{из}$	температура наружной поверхности изоляции (санитарные нормы)	45	°C	
q	тепловые потери (смотри таблицу 2)	84	Вт / м ²	

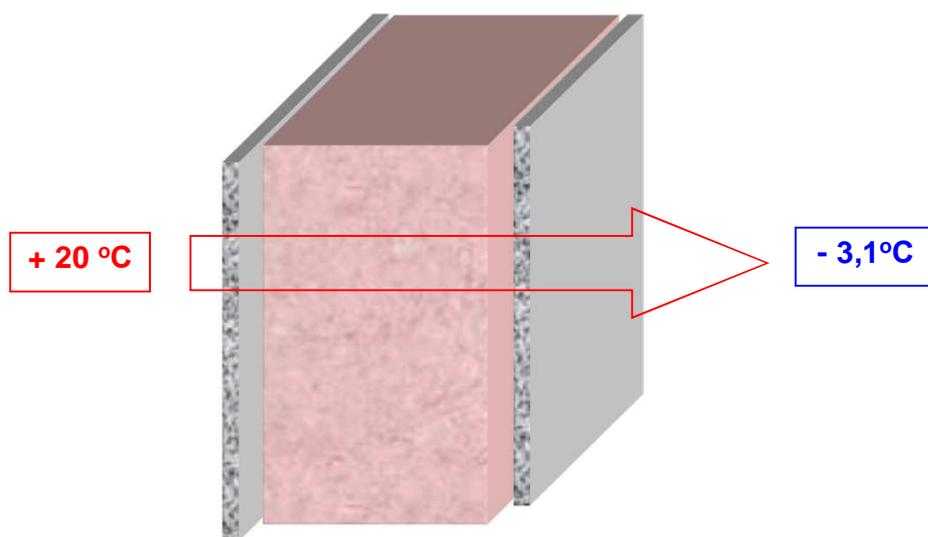
рекомендации по расчету тепловой изоляции стен зданий и сооружений

введение

Расчеты толщины применяемой тепловой изоляции на ограждающих конструкциях зданий проводятся на определении сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Минимальное значение сопротивления теплопередаче для зданий, строительство которых начинается с 1 января 2000 года и для вновь строящихся зданий определяется по таблице 16* СНиП II-3-79*

например

город	жилые здания		общественные здания	
	стены	покрытия	стены	покрытия
Астрахань	2,639	3,97	2,216	3,016
Мурманск	3,633	5,39	3,114	4,152



Определение термического сопротивления стены

1. город Краснознаменск, Московская область.
2. стена здания - красный сплошной кирпич - 510 мм, штукатурка цементно-песчаным раствором с двух сторон по 20 мм

Существующее сопротивление теплопередаче данной стены

$$R_o = 1 / \alpha_B + \delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + \delta_3 / \lambda_3 + 1 / \alpha_H$$

где -

R_o	сопротивление теплопередаче	0,83	$m^2 \text{ } ^\circ C / \text{Вт}$
α_B	коэф.тепловосприятости стенки СНиП II-3-79* табл. 4*	8,70	$\text{Вт} / m^2 \text{ } ^\circ C$
δ_1	толщина штукатурки	0,02	м
λ_1	коэффициент теплопроводности штукатурки	0,93	$\text{Вт} / m \text{ } ^\circ C$
δ_2	толщина стенки	0,51	м
λ_2	коэффициент теплопроводности стенки	0,81	$\text{Вт} / m \text{ } ^\circ C$
δ_3	толщина штукатурки	0,02	м
λ_3	коэффициент теплопроводности штукатурки	0,93	$\text{Вт} / m \text{ } ^\circ C$
α_H	коэф.теплоотдачи от стенки в окр.воздух СНиП II-3-79* табл. 4*	23	$\text{Вт} / m^2 \text{ } ^\circ C$

Определяем градусо-сутки отопительного периода (**ГСОП**)

$$\text{ГСОП} = (t_{\text{в}} - t_{\text{оп}}) Z_{\text{оп}}$$

где -

ГСОП	градусо-сутки отопительного периода	4943,4	°С сутки
t_в	расчетная температура внутреннего воздуха	20	°С
t_{оп}	средняя температура отопительного периода (СНиП 23-01-99 табл. 1 для Москвы)	-3,1	°С
Z_{оп}	продолжение отопительного периода (СНиП 23-01-99 табл. 1 для Москвы)	214	суток

Согласно СНиП II-3-79* табл. 1 требуемое полное термическое сопротивление ограждающей конструкции для Московской области составляет -

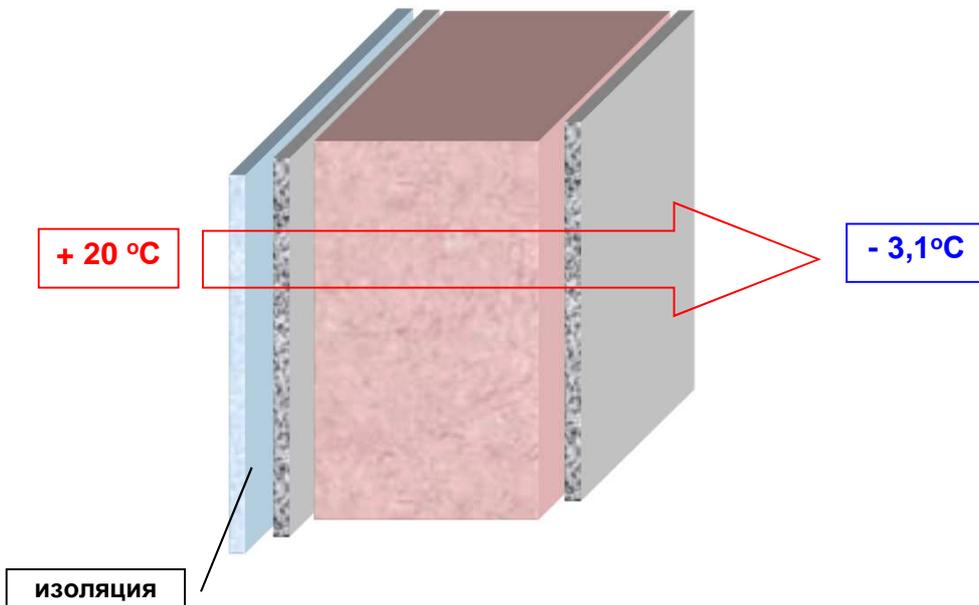
$$R_{\text{о}}^{\text{TP}} = 2,688 \quad \text{м}^2 \text{°С} / \text{Вт}$$

Следовательно необходимо увеличить термическое сопротивление стены на -

$$R_{\text{о}}^{\text{TP}} - R_{\text{о}} = 1,86 \quad \text{м}^2 \text{°С} / \text{Вт}$$

Определение толщины изоляционного слоя

1. Тепловая изоляция выполняется **внутри** помещения.



Определяем толщину изоляционного слоя -

$$\delta_{\text{из}} = \lambda_{\text{из}} (R_{\text{о}}^{\text{TP}} - 1 / \alpha_{\text{в из}} - \delta_1 / \lambda_1 - \delta_2 / \lambda_2 - \delta_3 / \lambda_3 - 1 / \alpha_{\text{ч}})$$

где -

$\delta_{из}$ толщина изоляционного слоя

0,0016

м

4,1

КОЛИЧЕСТВО СЛОЁВ

$\alpha_{в из}$ коэф.тепловосприятости изоляции

1,76

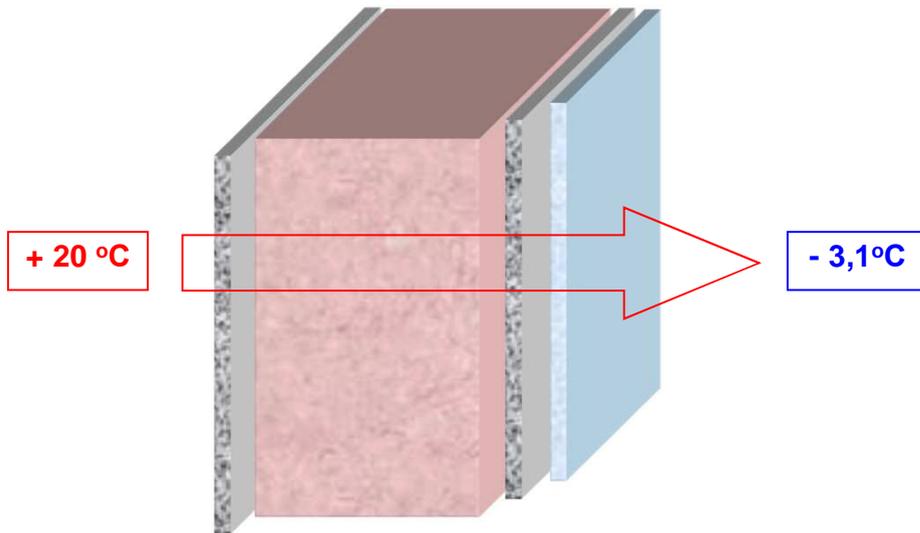
Вт / м² °С

$\lambda_{из}$ коэффициент теплопроводности изоляции

0,001113

Вт / м °С

2. Тепловая изоляция выполняется **снаружи** помещения.



Определяем толщину изоляционного слоя -

$$\delta_{из} = \lambda_{из} (R_o^{TP} - 1 / \alpha_{в} - \delta_1 / \lambda_1 - \delta_2 / \lambda_2 - \delta_3 / \lambda_3 - 1 / \alpha_{н из})$$

где -

$\delta_{из}$ толщина изоляционного слоя

0,0014

м

3,7

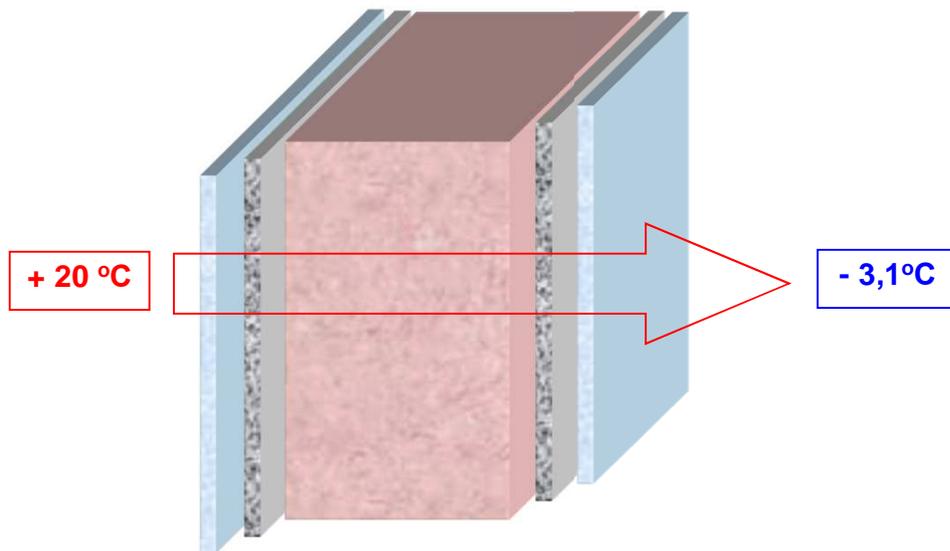
КОЛИЧЕСТВО СЛОЁВ

$\alpha_{н из}$ коэф.теплоотдачи изоляции

1,58

Вт / м² °С

3. Тепловая изоляция выполняется **внутри** и **снаружи** помещения.



Определяем толщину изоляционного слоя -

$$\delta_{из} = \lambda_{из} (R_o^{TP} - 1 / \alpha_{в из} - \delta_1 / \lambda_1 - \delta_2 / \lambda_2 - \delta_3 / \lambda_3 - 1 / \alpha_{н из})$$

где -

$\delta_{из}$ толщина изоляционного слоя

0,0009

м

2,4

количество слоёв

Список использованной литературы-

1. Метод постановки опыта и расчета коэффициента теплопроводности для серхтонких тепловых изоляционных материалов, методические рекомендации по теплотехническим расчетам М-001-2003. ФГУП НИИ "Сантехники", г. Москва, 2003г.
2. СНиП 23 - 01 - 99 Строительная климатология
3. СНиП II - 3 - 79* Стоительная теплотехника
4. СНиП 2.04.14 - 88* Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов
5. Справочник Тепловая изоляция. СТРОЙИЗДАТ - 1976
6. Физические величины. Справочник. Энергоиздат, г. Москва, 1991г.

Исходные данные

Город Волжский, Волгоградской области.
Открытая теплотрасса. Теплоноситель горячая вода.

t	температура теплоносителя	100	°C
t_н	температура окружающего воздуха (СНиП 23-01-99)	8	°C
q	тепловые потери (таблица 2)	50	Вт / м ²
α_в	коэф.тепловосприятости стенкой (таблица 1)	1,76	Вт / м ² °C
α_н	коэф.теплоотдачи от изоляции в окр.воздух (таблица 1)	1,58	Вт / м ² °C
λ_{из}	коэффициент теплопроводности изоляции (таблица 1)	0,001	Вт / м °C
t_{из}	температура наружной поверхности изоляции (санитарные нормы)	45	°C



Теоретический расчет

Толщина изоляционной конструкции по заданным тепловым потерям -

$$\delta_{из} = \lambda_{из} \left[(t - t_n) / q - (1 / \alpha_v + 1 / \alpha_n) \right] = \mathbf{0,0006} \text{ м}$$

Температуру внутренней поверхности изоляционного слоя -

$$t_{в.из} = t - q / \alpha_{в} = 72 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Толщина изоляционной конструкции по заданной температуре -

$$\delta_{из} = \lambda_{из} (t_{в из} - t_{из}) / q = 0,00053 \text{ м}$$

Практические замеры

Тепловая изоляция теплотрассы была выполнена жидким керамическим теплоизолятором Thermal-Coat, производимым Capstone Manufacturing, LLC, США, толщина изоляции - **0,0005** м.

Произведем замер температуры на поверхности изоляции контактным термометром Digital Multimeter DT-838

$$t_{н} \text{ температура окружающего воздуха} \quad 8 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_{замера} \text{ температура наружной поверхности изоляции} \quad 65 \text{ } ^\circ\text{C}$$

(данные замера)

Согласно графика определения фактической температуры на поверхности теплоизоляции Thermal-Coat™, реальная температура на поверхности изоляции -

$$t_{из} \text{ температура наружной поверхности изоляции} \quad 45 \text{ } ^\circ\text{C}$$

ВЫВОД

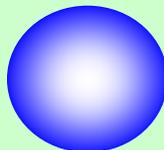
**Температура наружной поверхности изоляции при практическом замере совпала с температурой требуемой по расчету.
Расчет выполнен правильно.**

АНАЛИЗ

Для понимания "уникальных" свойств жидкого керамического изоляционного материала **RE-THERM™** достаточно внимательно изучить структуру данного теплового изолятора.

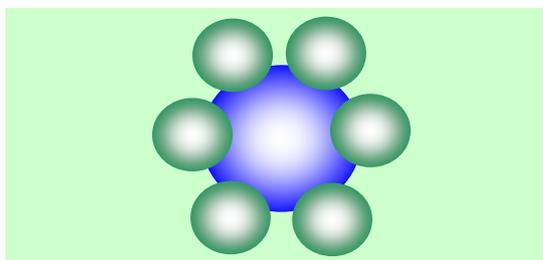


керамическая
сфера
0,01 мм



силиконовая
сфера
0,02 мм

Основа материала смесь керамических сфер с разреженным воздухом 0,13 Па и силиконовых сфер заполненных воздухом, в соотношении 1 : 1, находящихся во взвешенном состоянии в латексной среде с акриловыми переплетениями.

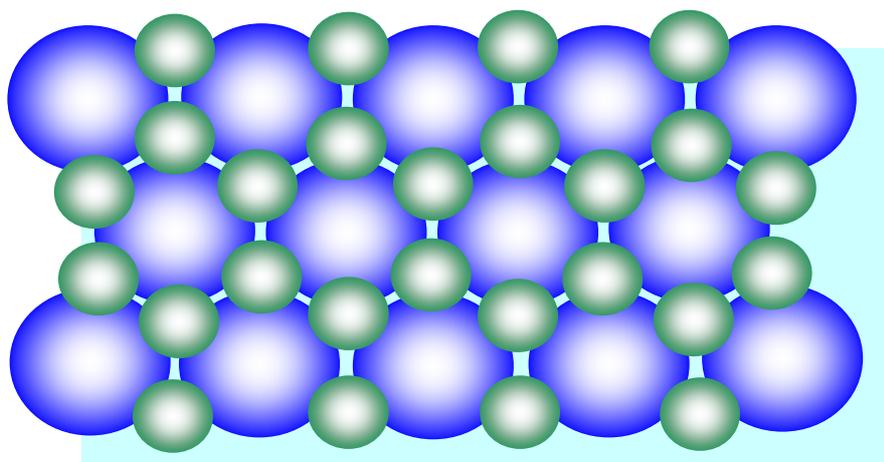


Известна теплопроводность керамических сфер с разреженным воздухом - не более **0,00083 Вт/м °К** (Физические величины. Справочник. Москва. Энергоиздат. 1991 г.).

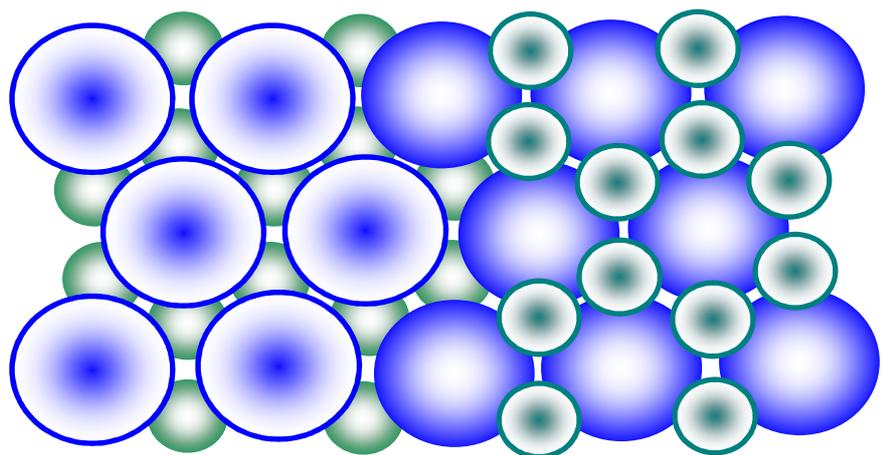


Для облегчения понимания температурной среды на поверхности материала **RE-THERM™** рассмотрим его структурную решетку

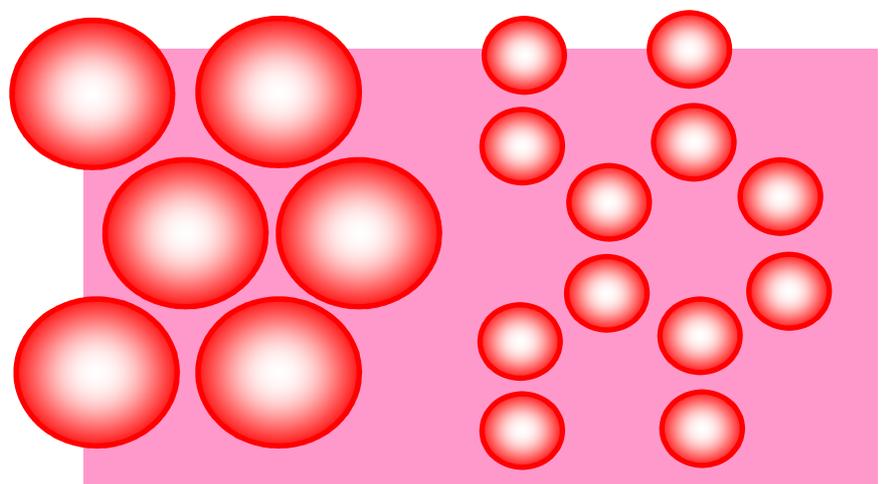
ПРИНЦИПАЛЬНАЯ СХЕМА



РАЗРЕЗ



ТЕМПЕРАТУРНОЕ ПОЛЕ



Из приведенной схемы видно, что температурное поле нагретого теплового изолятора не однородно. Оно образует обычную "тепловую" решетку. По граням которой температура значительно выше чем внутри.

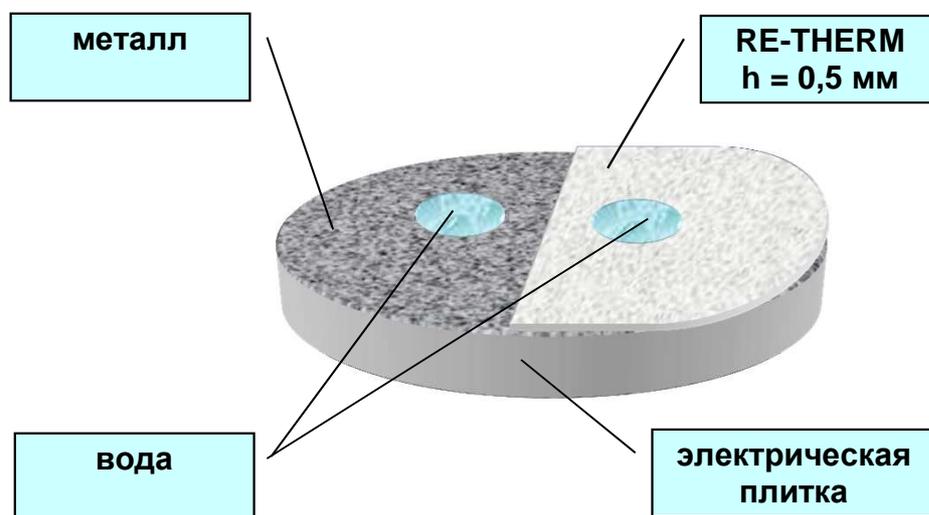
Замеряя температуру на поверхности теплового изолятора, мы фактически замеряем температуру решетки. Средняя температура поверхности остается неизвестной.

На замеры температуры поверхностей обычных, традиционных материалов структурная поверхность данных материалов практически не влияет. Средняя температура на поверхности близка к фактическому замеру.

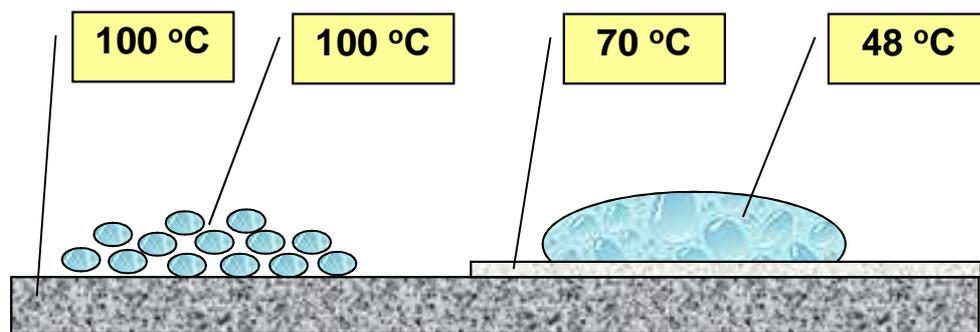
Приведем простой опыт.

Берем электрическую плитку с сплошным металлическим покрытием. На половине плитки наносим материал **RE-THERM™**. Нагреваем плитку. Нальем на поверхности открытой плитки и поверхность изолятора воду. Снимаем температурные показатели контактным термометром (термопара).

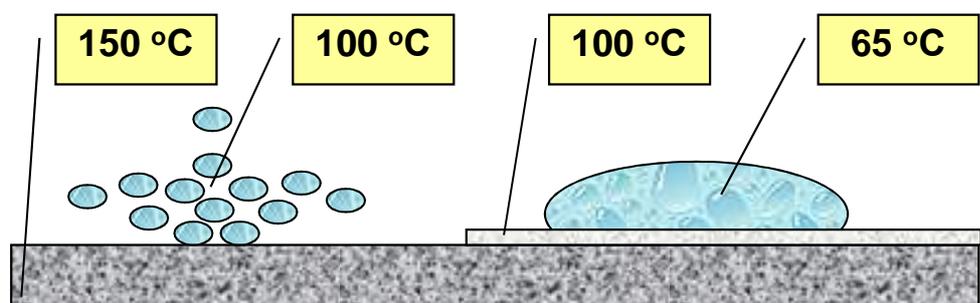
СХЕМА ОПЫТА



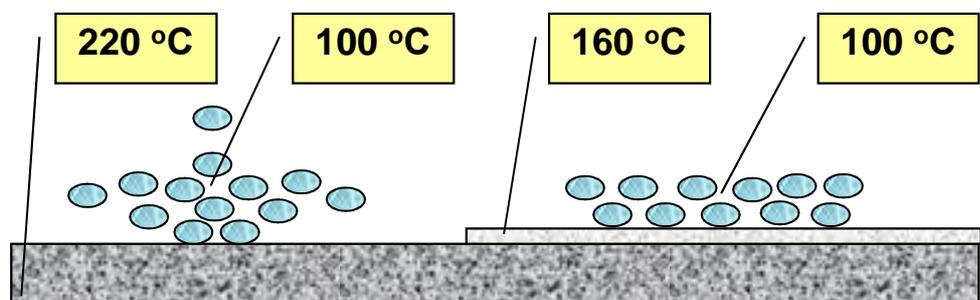
данные № 1



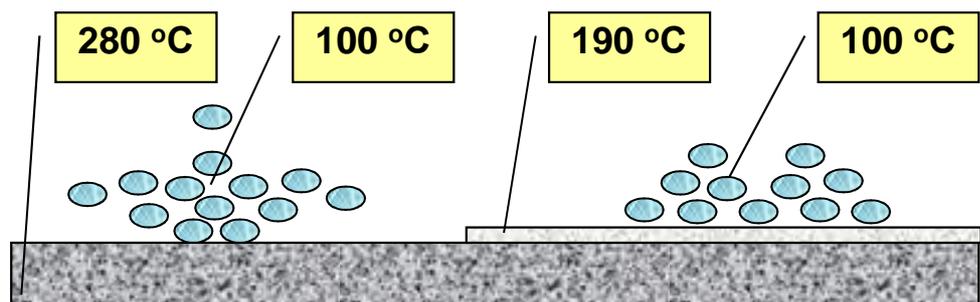
данные № 2



данные № 3



данные № 4



РЕЗУЛЬТАТЫ ОПЫТА

1. При достижении температуры на поверхности плитки 100 °С начинается процесс кипения воды.
2. При достижении температуры изоляции 100 °С вода не закипает.
3. При достижении температуры на поверхности изоляции 160 °С начинается процесс кипения воды.

ВЫВОДЫ

1. Замеренная температура на поверхности тепловой изоляции была равна 160 °С, реальная (общая средняя температура) составила всего 100 °С.

Или проще - **тепловой поток от поверхности изолятора при температуре 160 °С соответствует тепловому потоку от поверхности плитки без изолятора нагретой до 100 °С.**

2. Коэффициенты тепловосприятия и теплоотдачи изолятора с подобной структурной решеткой значительно ниже обычных материалов.

3. Не возможно определить коэффициент теплопроводности материалов имеющих подобную структурную решетку стандартными методами. По стандартным методикам тепловой поток определяется по температуре на поверхности. Отсутствует практическая возможность точно определить температуру поверхности "решетчатых" материалов.

4. **В приложении № 1 представлен график определения фактической температуры на поверхности тепловой изоляции RE-THERM™**

ГРАФИК
определения фактической температуры
на поверхности RE-THERM™

