

МПО 01/2013

МЕТОД

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



Россия, Казань
2013 год

СОДЕРЖАНИЕ

1. ВВЕДЕНИЕ.....	3
2. ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ	3
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ	4
4. ПРЕДМЕТ ОПЫТА	4
5. ОПИСАНИЕ ОПЫТА.....	5
6. ФИЗИЧЕСКИЙ ПРИНЦИП ОПЫТА	5
7. ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТА	7
8. ТЕПЛОВАЯ КАМЕРА.....	8
9. ВЫВОД.....	11
10. ОПЫТ 1. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	13
11. ОПЫТ 2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	15
12. ОПЫТ 3. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	17
13. ОПЫТ 4. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ	19
14. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ ТРУБОПРОВОДОВ	21
15. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ СТЕН	23
16. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	26

1. 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, 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».

2. 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 среднеарифметической из температур на граничных поверхностях изоляционного слоя.

3. 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.

4. ПРЕДМЕТ ОПЫТА

В качестве тепловой изоляции выбран новый вид сверхтонкого изолятора -жидкий тепловой изолятор KARE Universal производства нашей компании.

Теплоизоляционное покрытие KARE Universal, представляет собой жидкую композицию на водной основе, состоящую из акриловых полимеров, диспергированных в этой композиции стеклянных полых шариков, а также антипирены и пигменты.

Изоляция KARE Universal предназначена для получения теплоизоляционного покрытия на поверхностях любой формы требующих тепловой защиты.

KARE Universal применяется для тепловой изоляции наружных и внутренних поверхностей ограждающих конструкций жилых, общественных и промышленных зданий и сооружений, трубопроводов, воздухопроводов, оборудования и так далее.

KARE Universal можно наносить на металл, пластик, бетон, кирпич и другие строительные материалы, а также на оборудование, трубопроводы и воздухопроводы при эксплуатации объектов с температурой от минус 40 °С до плюс 260 °С.

5. ОПИСАНИЕ ОПЫТА

Опыт по определению коэффициента теплопроводности сверхтонких теплоизоляторов основан на прохождении теплового потока последовательно через две теплоизолированные камеры (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.

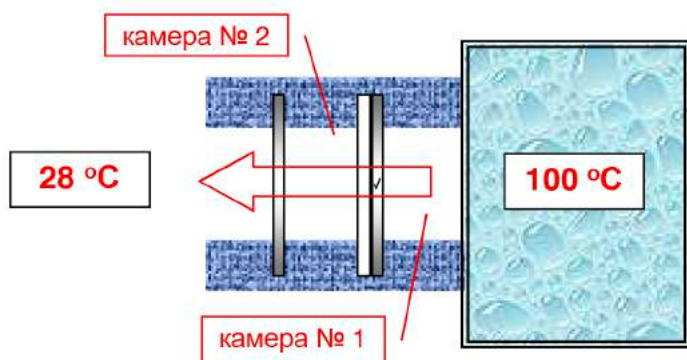
Датчики контактных термометров установлены в каждой из камер, а так же на внешних поверхностях крышек камер.

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

6. 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

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

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 -

$$q_2 \leq q_1$$

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 -

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

или коэффициент теплопроводности изоляционного слоя

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

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_v - коэф.тепловосприятия 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

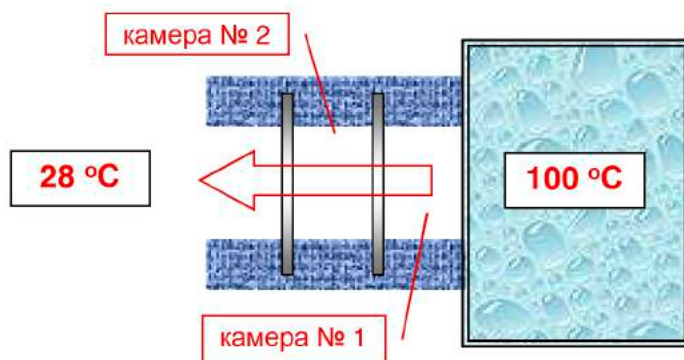
$\lambda_{ст}$ - коэффициент теплопроводности стенки

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

7. ПРОВЕДЕНИЕ ОПЫТА

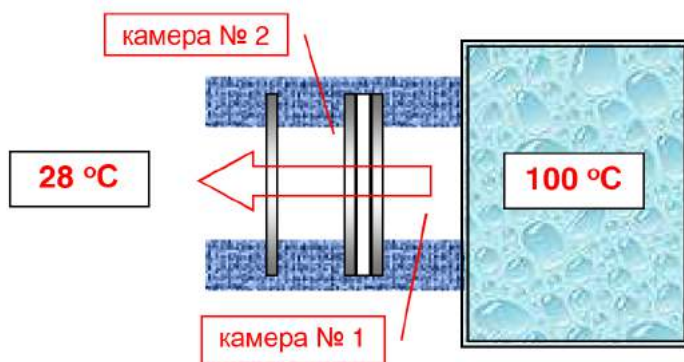
Опыт №1

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



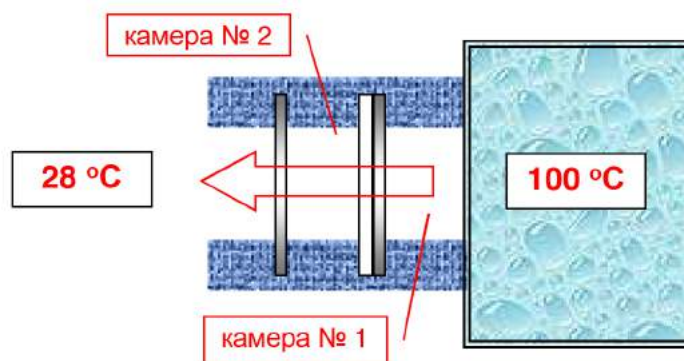
Опыт №2

В опыте №2 изолятор установлен между металлическими пластинами. Цель опыта - определение коэффициента теплопроводности тестируемого теплового изолятора.



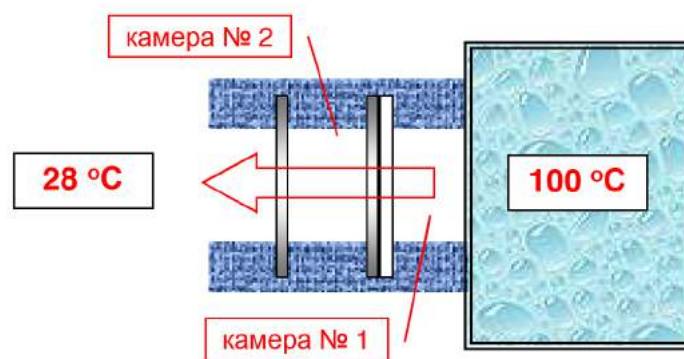
Опыт №3

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 тепловосприятости тестируемого теплового изолятора.

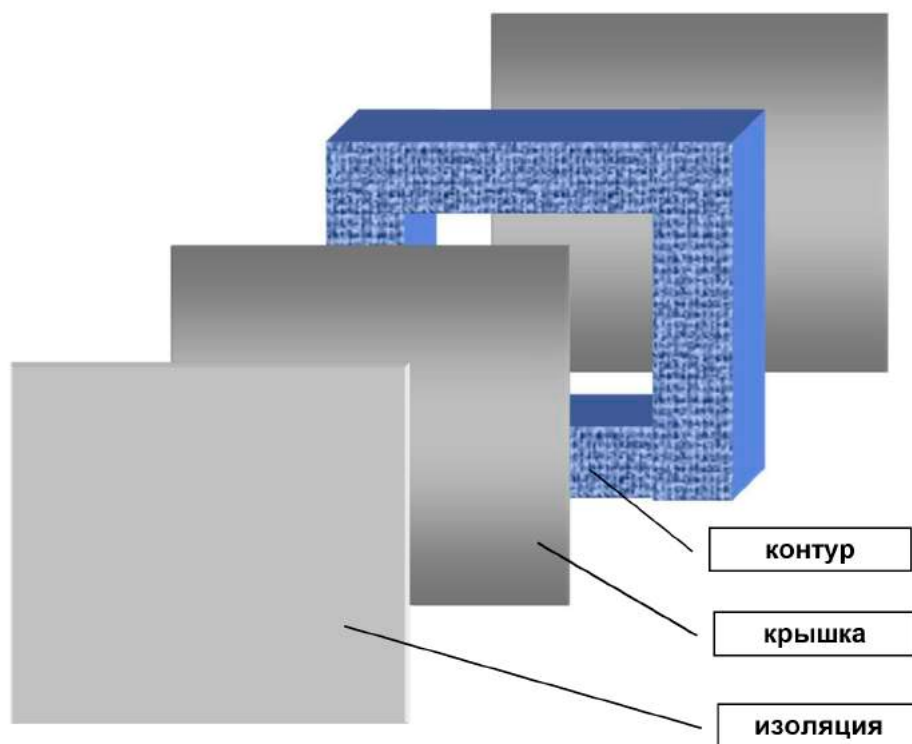


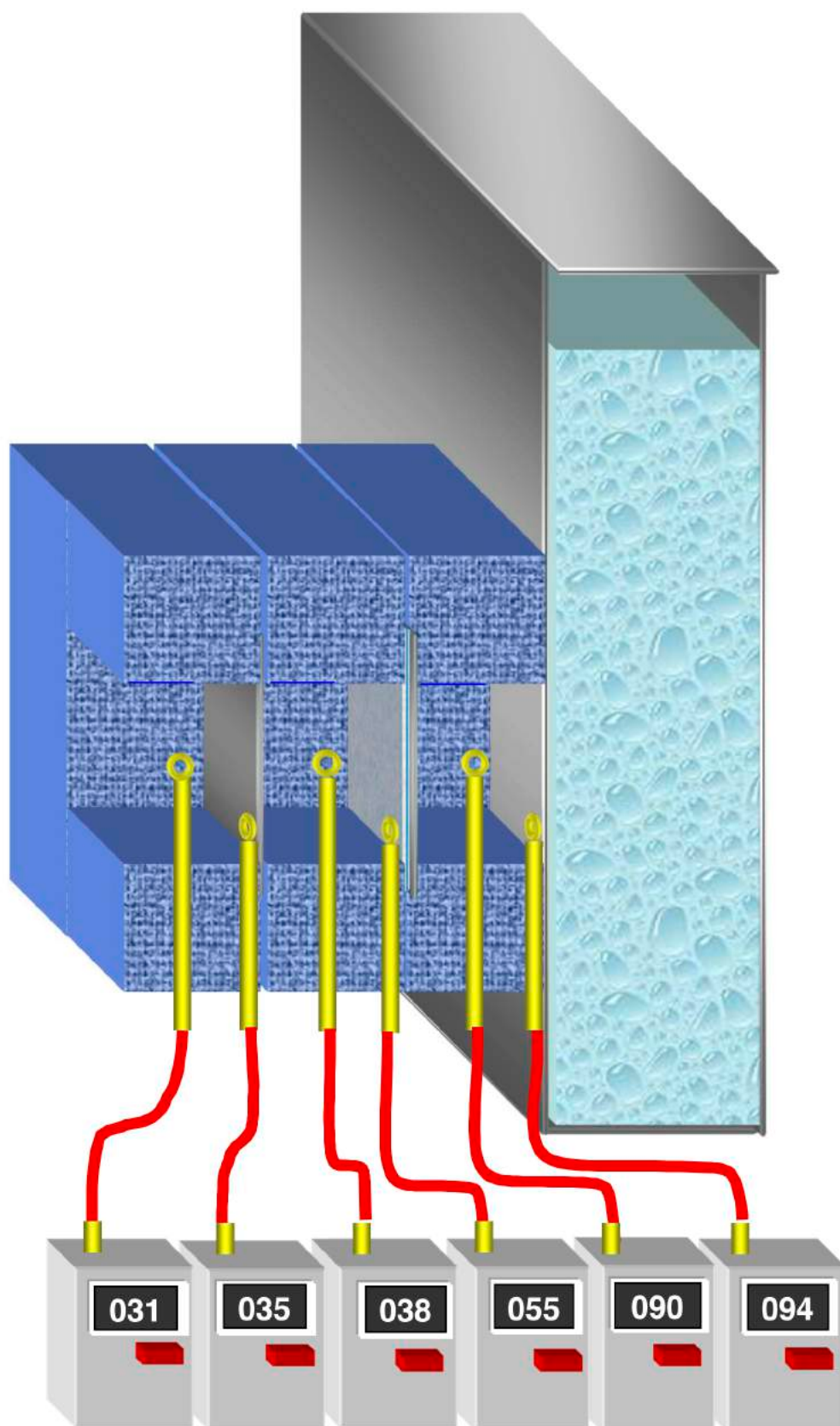
Результаты замера температур во всех опытах сведены в таблицы. Замеры температур производились через каждые 10 минут в течении 3 часов до полной стабилизации теплового процесса.

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.

8. ТЕПЛОВАЯ КАМЕРА







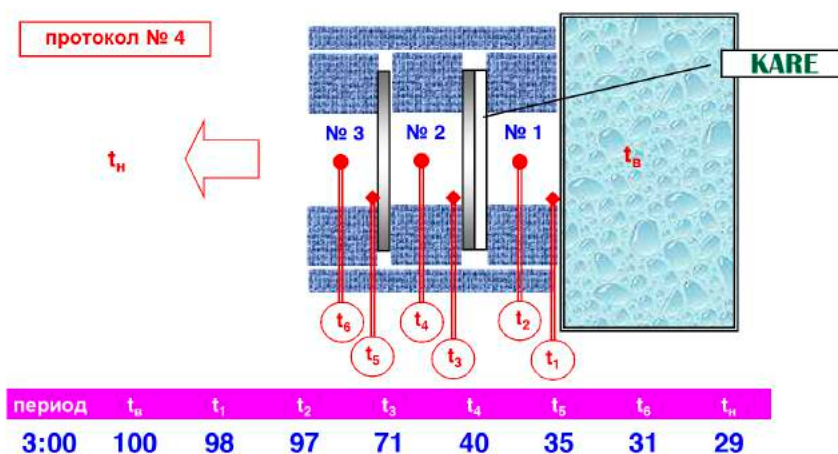
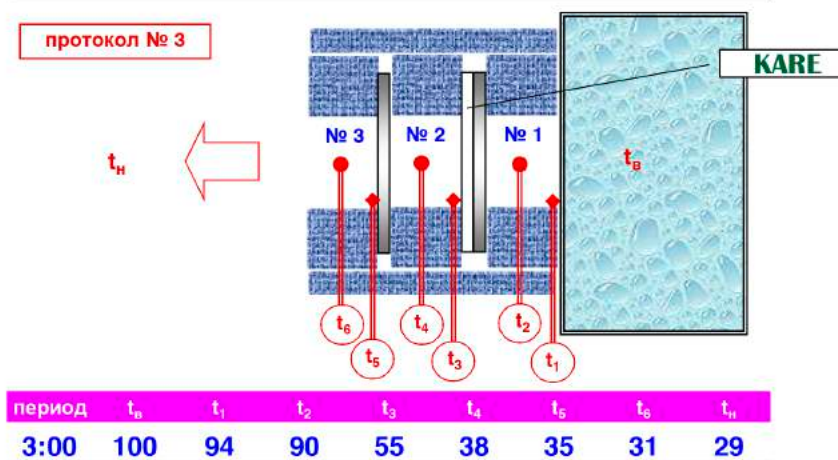
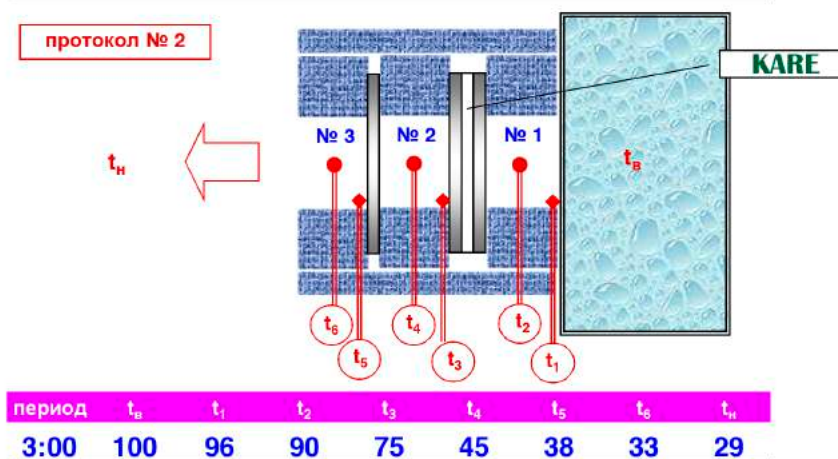
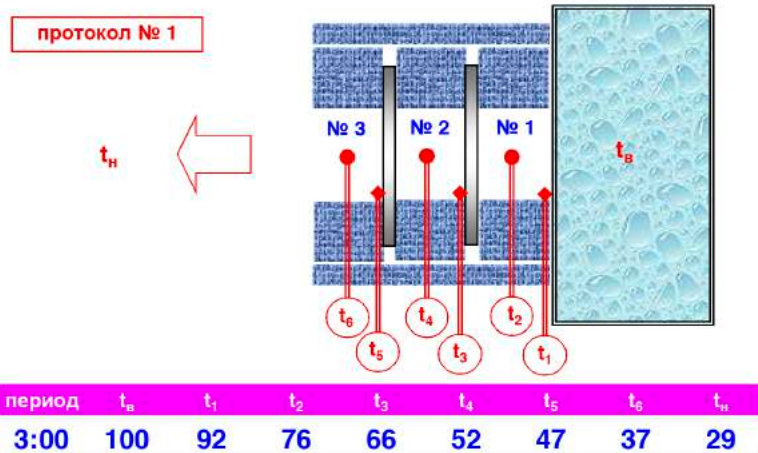
9. ВЫВОД

Значения по всем опытам сведены в таблицу Теплофизических свойств.

	Тепловосприятие α_v	Теплоотдача α_n	Теплопроводность $\lambda_{из}$
KARE	1,76 Вт/м ² °С	1,58 Вт/м ² °С	0,00111 Вт/м °С
	1,52 ккал/ч м ² °С	1,36 ккал/ч м ² °С	0,00096 ккал/ч м °С

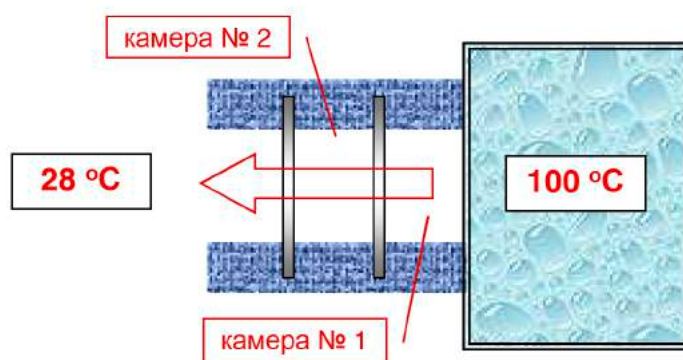
Результаты проведенных испытаний позволяют сделать следующий вывод - жидкий теплоизоляционный материал KARE может быть рекомендован для тепловой изоляции ограждающих конструкций зданий, оборудования, трубопроводов с учетом требований соответствующей нормативной технической документации.

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



10. ОПЫТ 1. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

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 тепловосприимчивости 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

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

где для камеры №2 -

q_2	тепловые потери камеры №2	116,89	Вт/м ²
t_4	температура воздуха в камере №2	52	°C
t_H	температура окружающего воздуха	28	°C

$\alpha_{\text{в}}$	коэффициент тепловосприимчивости стенок	8,7	Вт/м ² °С
$\alpha_{\text{н}}$	коэф.теплоотдачи от крышки 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)	11,0664	Вт/м ² °С
t_5	температура на поверхности камеры №2	47	°С
$\lambda_{\text{к}}$	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт/м °С
$\delta_{\text{к}}$	толщина крышки из стали	0,0008	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 -

$$q_2 \leq q_1 \Rightarrow 116,89 \text{ Вт/м}^2$$

Для камеры №1 –

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

где –

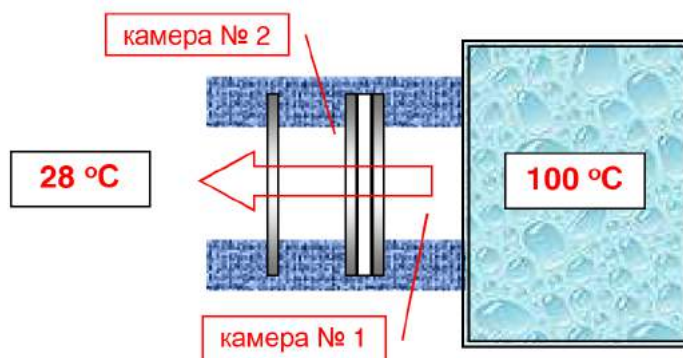
q_1	тепловые потери камеры №1	120,04	Вт/м ²
t_2	температура воздуха в камере №1	77	°С
t_4	температура воздуха в камере №2	52	°С
$\alpha_{\text{в}}$	коэффициент тепловосприимчивости стенок	8,7	Вт/м ² °С
$\alpha_{\text{н}}$	коэф.теплоотдачи от стенки в окр.воздух для плоской поверхности, находящейся в 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	0,0008	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.

11. ОПЫТ 2. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Схема опыта



Исходные данные

Протокол №2 - Специальный тепловой изолятор KARE 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 тепловосприимчивости 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

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

где для камеры №2 -

q_2	тепловые потери камеры №2	80,66	Вт/м ²
t_4	температура воздуха в камере №2	45	°C
t_H	температура окружающего воздуха	28	°C

α_B	коэффициент тепловосприимчивости стенок	8,7	Вт/м ² °С
α_H	коэф.теплоотдачи от крышки в окр.воздух для плоской поверхности, находящейся в помещении $\alpha_H = [8,4+0,06 (t_5 - t_H)] 1,16$ (Справочник Тепловая изоляция. СТРОЙИЗДАТ - 1976)	10,44	Вт/м ² °С
t_5	температура на поверхности камеры №2	38	°С
λ_K	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт/м °С
δ_K	толщина крышки из стали	0,0008	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 -

$$q_2 \leq q_1 \Rightarrow 80,66 \text{ Вт/м}^2$$

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 –

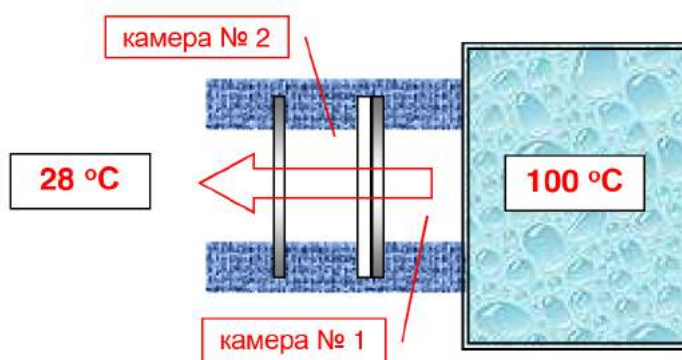
q_1	тепловые потери камеры №1	80,66	Вт/м ²
t_2	температура воздуха в камере №1	90	°С
t_4	температура воздуха в камере №2	45	°С
α_B	коэффициент тепловосприимчивости стенок	8,7	Вт/м ² °С
α_H	коэф.теплоотдачи от стенки в окр.воздух для плоской поверхности, находящейся в помещении $\alpha_H = [8,4+0,06 (t_5 - t_H)] 1,16$ (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	0,0008	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 KARE ($\lambda_{из}$) равен 0,00111 Вт/м °С.

12. ОПЫТ 3. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Схема опыта



Исходные данные

Протокол №3 - Специальный тепловой изолятор KARE 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 тепловосприимчивости 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 (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

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

где для камеры №2 -

q_2	тепловые потери камеры №2	47,01	Вт/м ²
t_4	температура воздуха в камере №2	38	°C
t_n	температура окружающего воздуха	28	°C
α_B	коэффициент тепловосприимчивости стенок	8,7	Вт/м ² °C
α_n	коэф.теплоотдачи от крышки в окр.воздух для плоской поверхности, находящейся в помещении $\alpha_n = [8,4+0,06 (t_5 - t_n)] 1,16$ (Справочник Тепловая изоляция. СТРОЙИЗДАТ - 1976)	10,2312	Вт/м ² °C
t_5	температура на поверхности камеры №2	35	°C
λ_k	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт/м °C
δ_k	толщина крышки из стали	0,0008	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 -

$$q_2 \leq q_1 \Rightarrow 47,01 \text{ Вт/м}^2$$

Следовательно для камеры №1 –

$$q_1 = t_2 - t_4 / (1 / \alpha_B + \delta_k / \lambda_k + \delta_{из} / \lambda_{из} + 1 / \alpha_n)$$

Коэффициент теплоотдачи теплового изолятора –

$$\alpha_n = 1 / (((t_2 - t_4) / q_1) - (1 / \alpha_B + \delta_k / \lambda_k + \delta_{из} / \lambda_{из}))$$

где –

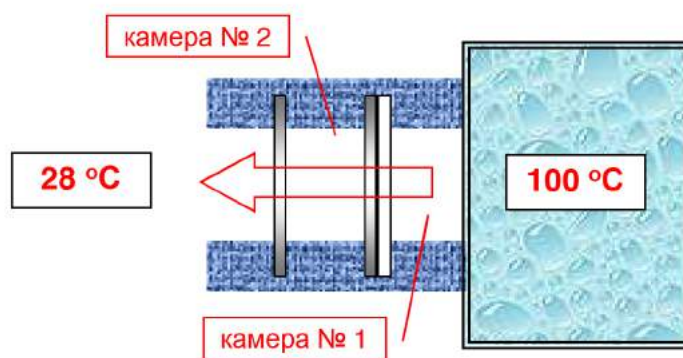
q_1	тепловые потери камеры №1	47,01	Вт/м ²
t_2	температура воздуха в камере №1	90	°C
t_4	температура воздуха в камере №2	38	°C
α_B	коэффициент тепловосприимчивости стенок	8,7	Вт/м ² °C
α_n	коэф.теплоотдачи теплового изолятора	1,58291	Вт/м² °C
λ_k	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт/м °C
δ_k	толщина крышки	0,0008	м
$\lambda_{из}$	коэффициент теплопроводности изоляции	0,00111	Вт/м °C
$\delta_{из}$	толщина изоляции	0,0004	м

Результат опыта №3

Коэффициент теплоотдачи теплового изолятора KARE (α_n) равен 1,58291 Вт/м² °C.

13. ОПЫТ 4. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ

Схема опыта



Исходные данные

Протокол №4 - Специальный тепловой изолятор KARE 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 тепловосприимчивости 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 (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

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

где для камеры №2 -

q_2	тепловые потери камеры №2	56,42	Вт/м ²
-------	---------------------------	-------	-------------------

KARE

t_4	температура воздуха в камере №2	40	°C
t_n	температура окружающего воздуха	28	°C
α_b	коэффициент тепловосприимчивости стенкой	8,7	Вт/м ² °C
α_n	коэф.теплоотдачи от крышки в окр.воздух для плоской поверхности, находящейся в помещении $\alpha_n = [8,4+0,06 (t_5 - t_n)] 1,16$ (Справочник Тепловая изоляция. СТРОЙИЗДАТ - 1976)	10,2312	Вт/м ² °C
t_5	температура на поверхности камеры №2	35	°C
λ_k	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт/м °C
δ_k	толщина крышки из стали	0,0008	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 №2 равными или большими тепловым потерям в камере №2, то есть -

$$q_2 \leq q_1 \Rightarrow 56,42 \text{ Вт/м}^2$$

Следовательно для камеры №1 –

$$q_1 = t_2 - t_4 / (1 / \alpha_b + \delta_k / \lambda_k + \delta_{из} / \lambda_{из} + 1 / \alpha_n)$$

Коэффициент тепловосприимчивости теплового изолятора –

$$\alpha_b = 1 / (((t_2 - t_4) / q_1) - (1 / \alpha_n + \delta_k / \lambda_k + \delta_{из} / \lambda_{из}))$$

где –

q_1	тепловые потери камеры №1	56,42	Вт/м ²
t_2	температура воздуха в камере №1	97	°C
t_4	температура воздуха в камере №2	40	°C
α_b	коэффициент тепловосприимчивости изолятора	1,76381	Вт/м² °C
α_n	коэф.теплоотдачи от крышки в окр.воздух для плоской поверхности, находящейся в помещении $\alpha_n = [8,4+0,06 (t_5 - t_n)] 1,16$ (Справочник Тепловая изоляция. СТРОЙИЗДАТ - 1976)	11,9016	Вт/м ² °C
t_3	температура на поверхности камеры №1	71	°C
λ_k	коэффициент теплопроводности стали	38	Вт/м °C
δ_k	толщина крышки	0,0008	м
$\lambda_{из}$	коэффициент теплопроводности изоляции	0,00111	Вт/м °C
$\delta_{из}$	толщина изоляции	0,0004	м

Результат опыта №4

Коэффициент тепловосприимчивости теплового изолятора KARE (α_b) равен 1,7638 Вт/м² °C.

14. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОЙ 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.

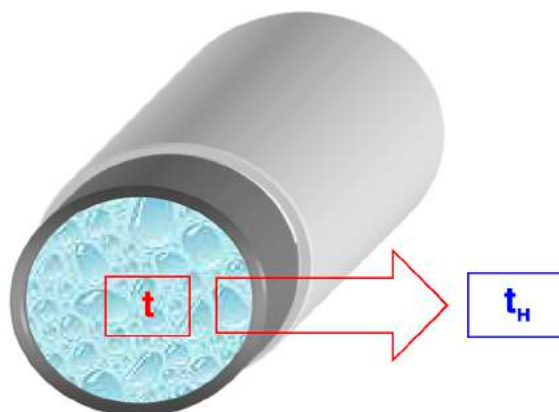
В качестве примера, для расчета толщины изоляционного слоя примем жидкий теплоизоляционный материал KARE производства ООО «Перспективные технологии»

Технологическая толщина одного слоя тепловой изоляции KARE равна 0,38 мм, необходимое количество слоёв тепловой изоляции определяется расчетом.

Теплофизические свойства KARE приведены в таблице 1.

Тепловая изоляция	Тепловосприятие α_v	Теплоотдача α_n	Теплопроводность $\lambda_{из}$
KARE	1,76 Вт/м ² °С	1,58 Вт/м ² °С	0,00111 Вт/м ² °С

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	152	°C
t_{из}	температура наружной поверхности изоляции	78	°C
λ_{из}	коэффициент теплопроводности изоляции	0,0011131	Вт/м °C
δ_{из}	толщина изоляции	0,0009847	м

2. Если заданы 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	коэффициент тепловосприятия 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	0,0009847	м

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 °C
t_к	температура на поверхности изоляции (санитарные нормы)	45	°C
t_н	температура окружающего воздуха	25	°C

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

$$t_{в.из} = t - q / \alpha_v$$

где –

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

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).

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 -

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

где-

$\delta_{из}$	толщина изоляции	0,00098	м
$\lambda_{из}$	коэффициент теплопроводности изоляции (таблица 1)	0,0011131	Вт/м °С
t	температура теплоносителя	200	°С
t_n	температура окружающего воздуха	25	°С
q	тепловые потери (таблица 2)	84	Вт/м ²
α_v	коэффициент тепловосприимчивости стенок (таблица 1)	1,76	Вт/м ² °С
α_n	коэф.теплоотдачи от изоляции в окр.воздух (таблица 1)	1,58	Вт/м ² °С

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 регламентирована, 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 °С в закрытых рабочих помещениях, 60 °С на открытом воздухе.

Толщина изоляционной конструкции определяется по формуле -

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

где-

$\delta_{из}$	толщина изоляции	0,00142	м
$\lambda_{из}$	коэффициент теплопроводности изоляции (таблица 1)	0,0011131	Вт/м °С
$t_{в.из}$	температура внутренней поверхности изоляции	152	°С
t_n	температура наружной поверхности изоляции (санитарные нормы)	45	°С
q	тепловые потери (таблица 2)	84	Вт/м ²

15. ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ ТЕПЛОЙ ИЗОЛЯЦИИ СТЕН

Введение.

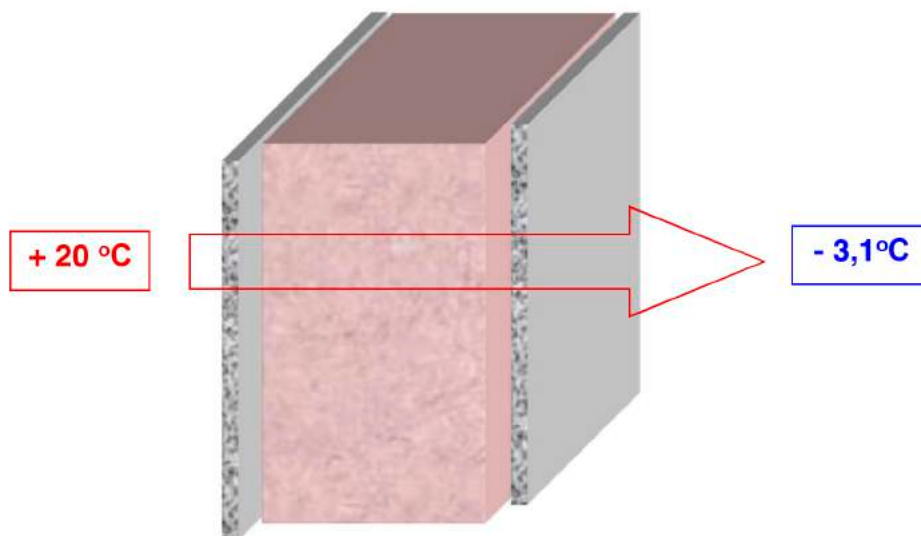
Расчеты толщины применяемой тепловой изоляции на ограждающих конструкциях зданий проводятся на определении сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций. Минимальное значение сопротивления теплопередаче для зданий, строительство которых начинается с 1 января 2000 года и для вновь строящихся зданий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

Например

жилые здания	общественные здания
--------------	---------------------

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

Схема конструкции стены.



Определение термического сопротивления стены.

Город Краснознаменск, Московская область.

Стена здания – красный сплошной кирпич 510 мм, штукатурка цементно-песчаным раствором с двух сторон по 20 мм.

Существующее сопротивление теплопередаче данной стены:

$$R_o = 1 / \alpha_{в} + \delta_1 / \lambda_1 + \delta_2 / \lambda_2 + \delta_3 / \lambda_3 + 1 / \alpha_{н}$$

где –

R_o	сопротивление теплопередаче	0,83	$m^2 \text{ } ^\circ C / W$
$\alpha_{в}$	коэффициент тепловосприимчивости стенки (СНиП II-3-79 табл. 4)	8,7	$W / m^2 \text{ } ^\circ C$
δ_1	толщина штукатурки	0,02	м
λ_1	коэффициент теплопроводности штукатурки	0,93	$W / m \text{ } ^\circ C$
δ_2	толщина стенки	0,51	м
λ_2	коэффициент теплопроводности стенки	0,81	$W / m \text{ } ^\circ C$
δ_3	толщина штукатурки	0,02	м
λ_3	коэффициент теплопроводности штукатурки	0,93	$W / m \text{ } ^\circ C$
$\alpha_{н}$	коэф.теплоотдачи от стенки в окр.воздух (СНиП II-3-79 табл. 4)	8,7	$W / m^2 \text{ } ^\circ C$

Определяем градусо-сутки отопительного периода (ГСОП)

$$ГСОП = (t_{в} - t_{оп}) Z_{оп}$$

где –

ГСОП	градусо-сутки отопительного периода	4943,4	$^\circ C \text{ сутки}$
$t_{в}$	расчетная температура внутреннего воздуха	20	$^\circ C$
$t_{оп}$	средняя температура отопительного периода (СНиП 23-01-99 табл.1 для Москвы)	-3,1	$^\circ C$

$Z_{оп}$	продолжение отопительного периода (СНиП 23-01-99 табл.1 для Москвы)	214	суток
----------	---	-----	-------

Согласно СНиП 23-01-99 табл.1 требуемое полное термическое сопротивление ограждающей конструкции для Московской области составляет

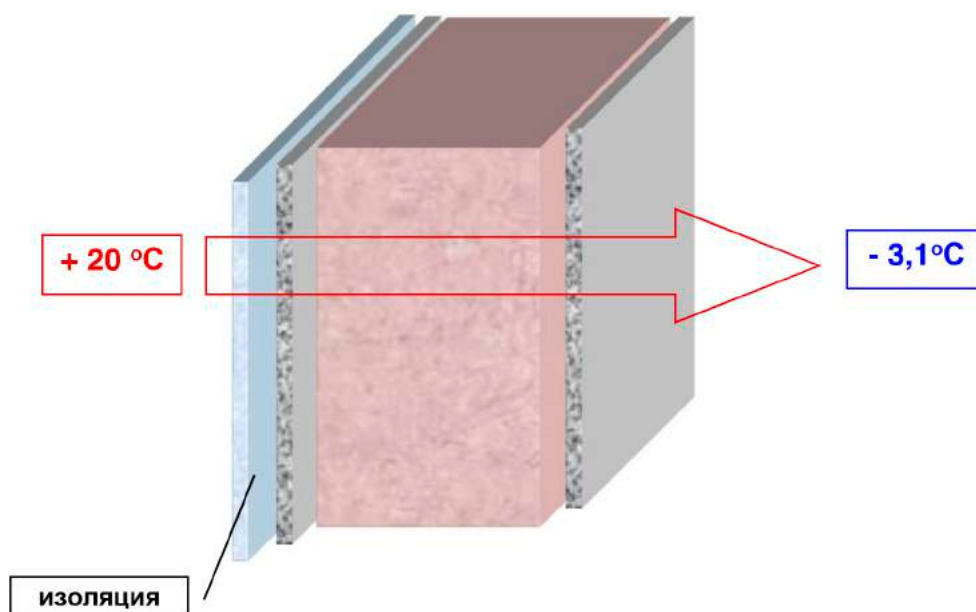
$$R_o^{TP} = 2,688 \text{ м}^2 \text{ °С / Вт}$$

Следовательно необходимо увеличить термическое сопротивление стены на

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

Определение толщины изоляционного слоя.

1. Тепловая изоляция выполняется внутри помещения.



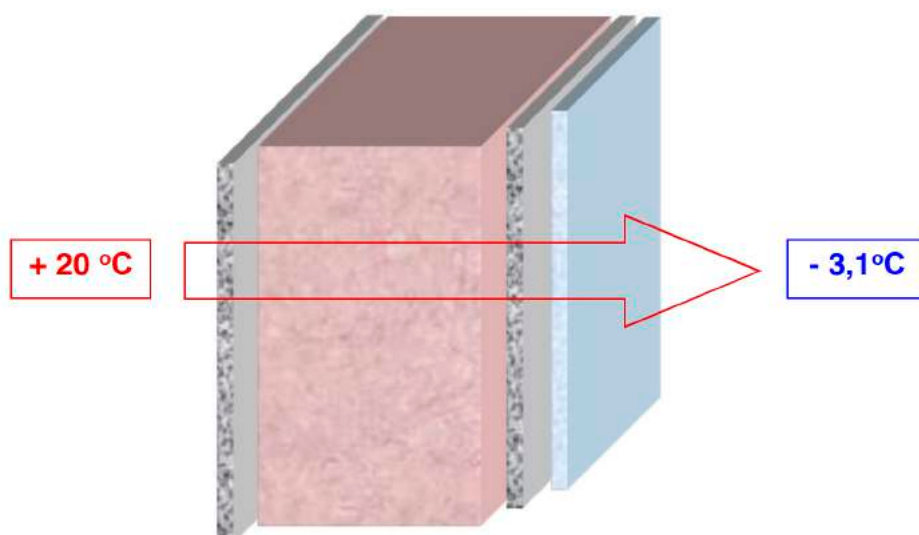
Определяем толщину изоляционного слоя –

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

где –

$\delta_{из}$	толщина изоляционного слоя	0,0016	м
$\alpha_{в из}$	коэф.тепловосприятия изоляции	1,76	Вт/м ² °С
$\lambda_{из}$	коэффициент теплопроводности изоляции	0,001113	Вт/м °С

2. Тепловая изоляция выполняется снаружи помещения.



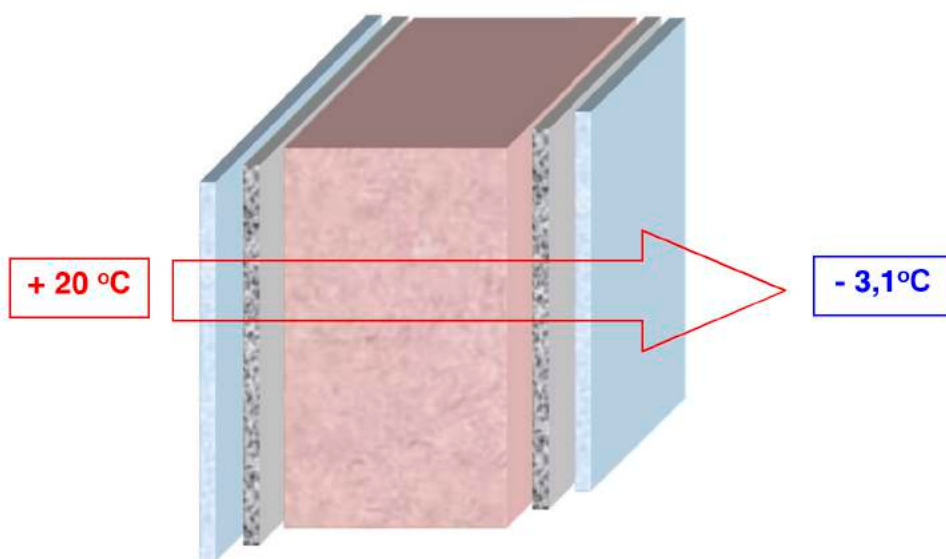
Определяем толщину изоляционного слоя –

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

где –

$\delta_{\text{из}}$	толщина изоляционного слоя	0,0014	м
$\alpha_{\text{н из}}$	коэффициент теплоотдачи изоляции	1,58	Вт/м ² °С

3. Тепловая изоляция выполняется внутри и снаружи помещения.



Определяем толщину изоляционного слоя –

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

где –

$\delta_{\text{из}}$	толщина изоляционного слоя	0,0009	м
----------------------	----------------------------	--------	---

16. СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Метод постановки опыта и расчета коэффициента теплопроводности для сверхтонких 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.