

БРОНЯ

СВЕРХТОНКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

Методы определения эффективности
жидких керамических
теплоизоляционных покрытий Броня.

Измерение температуры на поверхности.



жидкая керамическая теплоизоляция
серии Броня



www.nano34.ru

БР ОНЯ

СВЕРХТОНКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

1. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ПОКРЫТИЯ

Жидкое керамическое теплоизоляционное покрытие Броня представляет собой жидкую композицию на водной основе. Оно состоит из микроскопических керамических вакуумированных сфер, пигментирующих, ингибирующих и антипереновых добавок. Основным компонентом является полимерная латексная композиция. В композиции диспергированы полые микросферы (керамические). Размеры микросфер составляют 0,01...0,5 мм.

Данное теплоизоляционное покрытие Броня применяется для защиты от коррозии, теплоизоляции, защиты от ультрафиолетового излучения, а также обладает диэлектрическими свойствами. Толщина одного слоя покрытия Броня составляет 0,4...0,5 мм. В материалах рекламного характера сообщается, что полые микросферы являются разрезанными.

При применении в системах теплоснабжения наиболее важными теплотехническими свойствами теплоизоляционных материалов являются технологичность применения, долговечность, низкий коэффициент теплопроводности, экологическая безопасность.

Технология нанесения жидкой теплоизоляции на трубопроводы и другие поверхности проста и доступна. Ее особенностью является возможность покрытия поверхностей сложных конфигураций, при этом наличие изоляции не создает неудобств при обслуживании и ремонте. При использовании обычных теплоизоляционных материалов в тепловых сетях остаются неизолированными или частично изолированными участки, наличие которых приводит к дополнительным потерям теплоты. Жидкое теплоизоляционное покрытие Броня может обеспечить существенное уменьшение дополнительных потерь теплоты. Если бы удалось уменьшить эти потери теплоты хотя бы вдвое, то это дало бы экономию топлива 8,3 % (с учетом КПД котельной 0,9).

Взяв во внимание совокупность положительных свойств жидкой теплоизоляции Броня, целесообразно также его применение для теплоизоляции теплопроводов и других элементов в закрытых помещениях (котельные, насосные подстанции, ТРС и др.). При этом кроме теплоизоляции покрытие позволит уменьшить габариты теплоизолированных элементов, обеспечит удобство в обслуживании, улучшит экологию и дизайн помещений.

Долговечность жидкой керамической теплоизоляции Броня равна как минимум 10 годам. Ускоренные климатические испытания покрытия на бетонных и металлических поверхностях позволили заключить, что сохранность защитных и декоративных свойств покрытия соответствует не менее 10 годам в умеренных и умеренно-холодных климатических районах.

Долговечность широко применяющейся в тепловых сетях минераловатной изоляции оценивается в 5-6 лет. Однако эта изоляция быстро теряет свои потенциальные теплоизоляционные свойства из-за увлажнения. Под действием влаги слой изоляции теряет свою первоначальную конфигурацию (особенно при надземной прокладке теплопроводов), существенно увеличивается эффективный коэффициент теплопроводности, в результате чего увеличиваются потери теплоты в окружающую среду. В отличие от этого, жидкая теплоизоляция не увлажняется, сохраняет первоначальную форму, размеры, теплоизоляционные свойства. По этим причинам в течение всего срока службы покрытие должно обеспечивать первоначальные потери теплоты. В этой связи будет целесообразным использование покрытия для теплоизоляции надземных теплопроводов.

Важнейшим показателем теплоизоляционного материала является коэффициент теплопроводности, равный 0,0012 Вт/м С. То есть, жидкие теплоизоляционные покрытия намного превосходят известные теплоизоляционные материалы.

БР ОНЯ

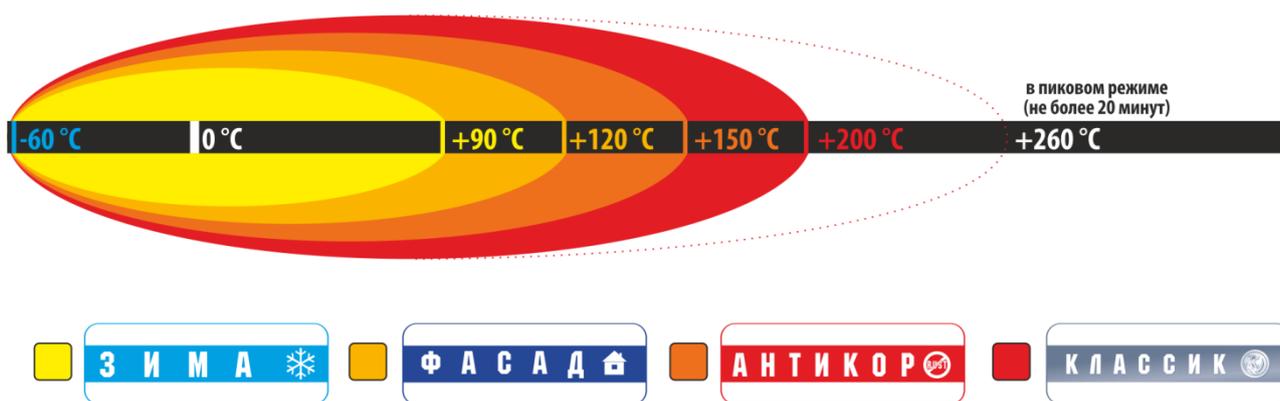
СВЕРХТОНКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

2. ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОКРЫТИЯ

В системах теплоснабжения применение теплоизоляции позволяет решить две основные задачи: обеспечение безопасной температуры на наружной поверхности теплопровода для человека, а также снизить потерю теплоты до приемлемого уровня. Устранить полностью тепловые потери в окружающую среду невозможно, но есть возможность уменьшить ее за счет применения более эффективной изоляции, или за счет увеличения толщины изоляции. И то, и другое требует дополнительных затрат. Для теплопроводов увеличение толщины изоляции приводит к снижению тепловых потерь только до определенного предела, после которого тепловые потери с увеличением толщины изоляции увеличиваются. Поэтому с точки зрения тепловых потерь надо выбирать “золотую середину”, сопоставляя затраты на изоляцию с возможными потерями теплоты. В отношении температуры наружной поверхности теплопроводов и другого оборудования тепловых сетей современные требования достаточно определены. Эти требования заключаются в том, что при контакте с поверхностью кожного покрова человек не должен получить ожога. Считается, что при контакте кожи человека в течение 5 секунд с поверхностью, температура которой составляет 60 °С, человек получит ожог первой степени (без повреждения внутренних тканей). При расчете тепловой изоляции предельные температуры поверхностей в рабочих зонах должны составлять 45 °С (в помещениях) и 55 °С (на открытом воздухе).

Температура эксплуатации
сверхтонких теплоизоляционных покрытий
серии БРОНЯ

БР ОНЯ
СВЕРХТОНКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ



Известно также, что температурное воздействие на кожный покров человека зависит не только от температуры, но и от свойств среды или поверхности, с которыми кожа контактирует. По этому поводу можно вспомнить разницу от контакта на хорошем морозе с металлом и деревом. Любители попариться поднимают температуру в парной до 60 °С и выше и ожогов не получают. Еще убедительней будет прихватить с собой в парную монету и почувствовать разницу от прикосновения к ней и к деревянной полке. В приведенных примерах не нужны измерительные приборы для подтверждения того, что температуры разных поверхностей одинаковы. Указанная выше температура 55 °С установлена для металлического покровного слоя, а для других поверхностей температура 60 °С.

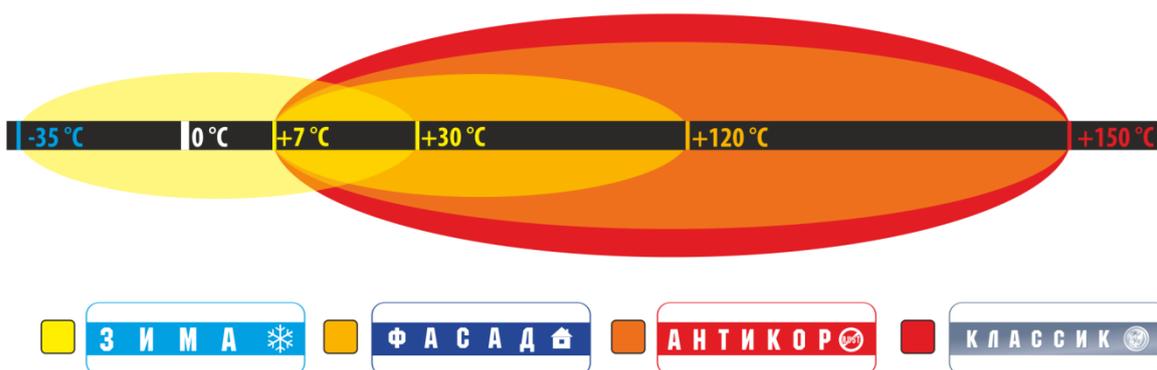
Жидкое керамическое теплоизоляционное покрытие Броня обладает уникальными свойствами. Уникальность относится и к воздействию на кожу человека. Проведены простые эксперименты по проверке этого. Так, в ходе исследований было установлено, что безопасной для человека (не менее 5 с контакта) является температура поверхности покрытия 100 °С, а при температуре поверхности покрытия 175 °С находящаяся на нем вода начинает закипать.

БР О Н Я

СВЕРХТОНКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

Температура нанесения
сверхтонких теплоизоляционных покрытий
серии БРОНЯ

БР О Н Я
СВЕРХТОНКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ



Также были произведены аналогичные эксперименты. Использовалась электропечь, на плоскую поверхность нагревательного элемента которой было нанесено сверхтонкое теплоизоляционное покрытие Броня. Температура поверхности покрытия измерялась с помощью термопары в комплекте с DT-838 (характеристика прибора приведена ниже). При разной температуре определялось время контакта ладони с поверхностью, в течение которого не возникало неприятных ощущений. Среднее для трех человек время контакта приведено в таблице 1.

Таблица 1 - Результаты экспериментов по определению безопасной температуры на поверхности покрытия

Температура поверхности покрытия, °С	Время контакта ладони с поверхностью без неприятных ощущений, сек.
60	30 и более
70	30 и более
90	14
100	8
115	5

По данным табл. 1 безопасной для кожного покрова человека является температура на поверхности покрытия 90 °С (с некоторым запасом).

С помощью той же электропечи было установлено, что вода на поверхности покрытия начинает закипать при температуре 170...175 °С. Чтобы установить эту температуру точнее, надо более четко определиться с признаками, по которым надо определять начало кипения. В данном случае такая задача не ставилась, а за начало кипения был принят момент интенсивного образования паровых пузырьков в воде, которые хорошо просматривались через лупу.

Специалисты для оценки безопасной температуры на поверхности покрытия использовали график, на одной оси которого откладывается температура металлической поверхности, а на другой – температура на поверхности покрытия. По этому графику, например, безопасной для человека является температура на поверхности покрытия 80 °С (что соответствует температуре 55 °С на металлической поверхности).

Независимо от результатов проведенных исследований показатели эффективности теплоизоляционных покрытий на практике следует определять путем измерений. Представим, на теплопроводе имеется обычная теплоизоляция с покровным слоем из рубероида или пластика. Чем измерить температуру наружной поверхности? Контактные методы измерения по теории не применимы, поскольку нельзя обеспечить надежного контакта поверхности с термодатчиком. С металлическим покровным слоем толщиной порядка 0,5...1 мм ситуация не лучше. То, что можно предложить в этом случае для обеспечения контакта, вряд ли подходит для использования в производственных условиях. Остаются бесконтактные методы и средства измерений.

Специалисты провели серию измерений на натурном объекте с помощью имеющихся в их распоряжении приборов.

БР ОНЯ

СВЕРХТОНКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

Объект представляет собой водяной теплопровод с $d_y = 600$ мм (наружный диаметр равен 630 мм, внутренний - 612 мм), находящийся в помещении насосной подстанции. Трубопровод изолирован минеральной ватой, обернутой стальной сеткой, снаружи которой на холстяное полотно наложен слой теплоизолирующей штукатурки толщиной 2...3 мм. Суммарная толщина слоя изоляции составляет 55 мм. Между слоями имеются воздушные зазоры переменной высоты. Два участка теплопровода длиной около 0,8 м освобождены от изоляции, один из них зачищен и оставлен без изоляции, на второй участок нанесено теплоизоляционное покрытие Броня толщиной 1,6 мм. Измерения проводились на участке не изолированного трубопровода, на участке с имеющейся изоляцией и на участке с покрытием Броня.

Температура воды измерялась установленным в трубопроводе стандартным термопреобразователем сопротивления, подключенным к автоматическому мосту КСМ-2 с записью показаний на диаграммной ленте. На каждом из участков были установлены теплоизолированные емкости с водой, температура воды в каждой емкости записывалась на КСМ-2. Данные таких измерений можно использовать для приблизительной сравнительной оценки эффективности разных теплоизоляций.

Для измерений использовались различные приборы:

- измеритель плотности теплового потока ИПП-2 в комплекте с зондом плотности теплового потока ПТП-9.9П (производитель – ЗАО “Эксис”, Москва; пределы измерения 10...9999 Вт/м², допустимая приведенная погрешность измерения ± 5 %, коэффициент преобразования 73,3 Вт/(м²·мВ));

- термометр SUR-25 (производства США, пределы измерения -20...+120 °С, допустимая приведенная погрешность измерения ± 2 %, чувствительный элемент - калиброванная биметаллическая пластина);

- цифровой многофункциональный измеритель (Elcometr) 319 в комплекте с термопарой (пределы измерений -20...200 °С, погрешность измерения температур составляет $\pm 0,5$ °С);

- инфракрасный термометр “Fluke 561” (производитель - “Fluke Corporacion”, Китай; пределы измерения -40...+550 °С; погрешность измерения составляет ± 1 % от измеряемой величины или ± 1 °С; спектральный диапазон – 8...14 мкм).

Температуры поверхностей оценивались также на ощупь. Кожный покров человека является хорошим термодатчиком. Достаточно точно на ощупь определяется температура 36 °С. Менее точно, но достоверно определяется температура 55 °С. Эту температуру кожа переносит длительное время без неприятных ощущений, но чувствуется, что это предел, выше которого время контакта придется ограничивать. На этих двух надежных реперных точках можно построить температурную шкалу и после некоторой тренировки более или менее точно определять температуру (не выше 60 °С).

Наиболее показательные результаты (усредненные данные) проведенных измерений, когда использовалось наибольшее число приборов, а температура воды была наибольшей за отопительный период, приведены в таблице 2.

Для анализа и оценки результатов измерений были также проведены расчеты по известным зависимостям для теплопередачи через цилиндрическую стенку.

Плотность теплового потока определялась по формуле

$$q_F = \frac{t_{вн} - t_n}{d(R_{уз} + R_n)} \quad (1)$$

Где $t_{вн}$, t_n - температуры соответственно воды в трубопроводе и наружного воздуха; d - диаметр, для которого определяется величина q_F ; $R_{уз}$, R_n - термические сопротивления соответственно тепловой изоляции и теплоотдачи в окружающий воздух.

БР ОНЯ

СВЕРХТОНКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

Таблица 2 – Усредненные результаты измерений на различных участках теплопровода (температура воды в трубопроводе 92 °С, температура воздуха в помещении 18 °С)

Измеряемая величина	Средство измерения	Значение измеряемой величины для участков теплопровода		
		не изолированный теплопровод	существующая теплоизоляция	Жидкая теплоизоляция
Температура наружной поверхности, °С	Fluke 561	87,9	39,7	60,7
	SUR-25	74	39 *	39 *
	Elcometer 319	85	40	38
	На ощупь	>60	~36	~40
Плотность теплового потока, Вт/м ²	ИПП-2	1389	306	409
Линейная плотность теплового потока, Вт/м (пересчет по плотности теплового потока)	-	2748 $R_{из}$	711	813

Измерения, отмеченные звездочкой, попали на период повышения температуры воды до 96 °С.

В формуле (1) не учтены термические сопротивления теплоотдачи от воды к внутренней поверхности трубопровода и стенки трубопровода. Эти величины малы по сравнению с и $R_{из}$, R_n поэтому при расчете теплопроводов ими в большинстве случаев пренебрегают.

Значения термических сопротивлений рассчитывались по формулам

$$R_{из} = \frac{1}{2\lambda_{из}} \cdot \ln\left(\frac{d_{изн}}{d_{трн}}\right) \quad (2) \quad R_n = \frac{1}{\alpha_n \cdot d_{изн}} \quad (3)$$

где $\lambda_{из}$ - коэффициент теплопроводности теплоизоляции; $d_{трн}$, $d_{изн}$ - наружные диаметры соответственно трубопровода и изоляции; α_n - коэффициент теплоотдачи от наружной поверхности изоляции в окружающий воздух.

Линейная плотность теплового потока определялась по формуле

$$q_l = \pi \frac{t_{вн} - t_n}{(R_{из} + R_n)} = \pi \cdot d \cdot q_F \quad (4)$$

Температуры наружной поверхности изоляции определялись по формуле

$$t_{изн} = t_{вн} - \frac{1}{\pi} \cdot q_l \cdot R_{из} \quad (5)$$

Для расчетов были приняты следующие значения величин:

- $d_{трн} = 630$ мм;

БР ОНЯ

СВЕРХТОНКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

- для описанной выше существующей изоляции коэффициент теплопроводности трудно определим. Для минеральной ваты значения λ составляют 0,04...0,05 Вт/(м ·К), для асбоцементных и известковых штукатурок $\lambda = 0,4...0,7$ Вт/(м ·К). Металлическая сетка в составе слоя изоляции увеличивает результирующее λ , а имеющиеся воздушные зазоры – уменьшают. Оценить степень контакта слоев весьма затруднительно. Для такой изоляции величину λ можно оценить на уровне 0,15...0,25 Вт/(м ·К). Для расчетов принято $\lambda_{из} = 0,2$; $\delta_{из} = 55$ мм; $d_{изн} = 740$ мм. Ясно, что приблизительная оценка $\lambda_{из}$ даст и приблизительные результаты расчетов;

- для жидкой теплоизоляции принято Броня: $\delta_{из} = 1,6$ мм; $d_{из} = 633,2$ мм; $\lambda_{из} = 0,001$ Вт/(м ·К);

- для поверхностей с малым коэффициентом излучения следует принимать $\alpha_n = 6$, с высоким коэффициентом излучения - $\alpha_n = 11$ Вт/(м²·К) (для помещений). Для рассматриваемых поверхностей трудно оценить значения коэффициентов излучения, но все-таки покрытие следует отнести к поверхностям с малым коэффициентом излучения, а поверхности не изолированного трубопровода и существующей изоляции в явном виде являются серыми. Кроме того, для неизолированного трубопровода конвективная составляющая должна быть значительно выше, чем для двух других поверхностей из-за более высокой температуры поверхности. То есть, значение α_n для не изолированного трубопровода должно быть больше 11 Вт/(м²·К), но не такое большое как на открытом воздухе (29 Вт/(м²·К)). С учетом изложенного принято: для покрытия $\alpha_n = 6$ Вт/(м²·К); для существующей изоляции $\alpha_n = 8$ Вт/(м²·К); для не изолированного трубопровода $\alpha_n = 20$ Вт/(м²·К).

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Анализ результатов измерений и расчетов показывает следующее.

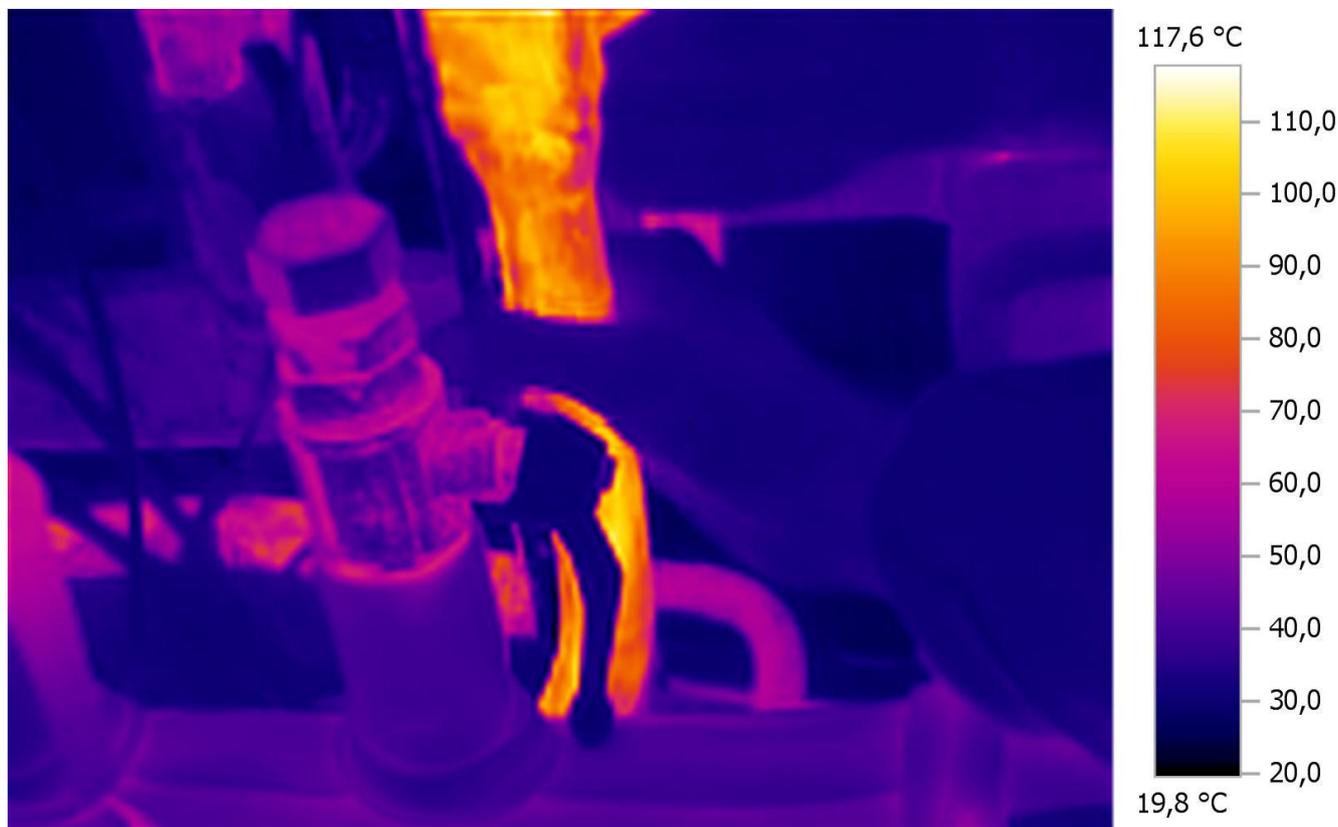
Нет никаких оснований сомневаться в результатах измерения температур $t_{вн}$ и t_n (92 °С и 18 °С соответственно). Измерения температур с помощью Elcometer 319 также оцениваются как наиболее достоверные. На покрытии расхождения между показаниями Elcometer 319 и "Fluke 561" столь существенны, что одно из них нужно признать неверным. С учетом определения температуры на ощупь, а также данных по ИПП-2 (линейная плотность теплового потока отличается не настолько, чтобы привести к такому отлнчию в температурах поверхностей) следует признать показания "Fluke 561" (60,7 °С) неверными. Это можно объяснить следующим.

Обозначение величины	Единица измерения	Расчетные значения величин для участков теплопровода			
		неизолированный трубопровод	существующая изоляция	Сверхтонкая теплоизоляция Броня	
				$\lambda_{из}=0,001$	$\lambda_{из}=0,004$
R _{из}	(м ·К)/Вт	-	0,4023	2,533	0,6333
R _н		0,07936	0,1689	0,3632	0,2632
Q _f	Вт/м ²	1480	175,1	41,2	130,4
q _i	Вт/м	2922	406,8	81,9	259,2
t _{изн}	°С	-	39,9	25,9	39,1

БР ОНЯ

СВЕРХТОНКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

Прибор "Fluke 561" представляет собой пирометр частичного излучения, работающий в диапазоне длин волн 8...14 мкм. Такие пирометры по своим метрологическим свойствам приближаются к свойствам квазимонохроматических пирометров, для которых методическая погрешность измерения определена и может составлять (при температурах до 500 °С) от 5 до 55 °С в зависимости от коэффициента излучательной способности объекта измерения. Поэтому близкую к действительной температуру можно измерить прибором только в случаях, когда излучательная способность заранее известна и является высокой (коэффициент больше 0,9). В приборе предусмотрено изменение настройки на излучательную способность (0,3; 0,7; 0,9), но в документации на прибор подчеркивается, что это не гарантирует повышения точности измерения. Поэтому рекомендуется для каждого объекта измерить температуру поверхности с помощью термопары (термопара типа К может подключаться к прибору), а потом подбором настройки добиться наилучшего совпадения результатов. То есть, пирометр "Fluke 561" по принципу действия может давать значительную погрешность измерения температуры. Поэтому его основное назначение – не для измерения температуры, а для удобного и быстрого обнаружения локальных мест притоков или оттоков теплоты путем сканирования поверхности. Для этого действительная температура поверхности в принципе не нужна, достаточно, чтобы была одинаковой ее излучательная способность. Подтверждением этого является съемка тепловизором, где рука свободно держит участок трубы покрытой жидкой теплоизоляцией Броня, а прибор показывает температуру на поверхности 110 °С.



Показания SUR-25 значительно отличаются от действительной температуры поверхности. Это легко объяснимо, поскольку датчик температуры не имеет контакта с поверхностью и фиксирует температуру пограничного слоя на удалении 1,5 мм от поверхности. Биметаллическая пластина направлена торцом к поверхности и имеет ширину около 3 мм, поэтому общая толщина пограничного слоя увеличивается до 4,5 мм. Кроме того, биметаллическая пластина – ненадежный для измерения температурный датчик.

БР ОНЯ

СВЕРХТОНКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

Данные ИПП-2 для не изолированного трубопровода являются вполне возможными, расчетами (табл. 3) это подтверждается. Этого нельзя сказать о показаниях ИПП-2 на поверхностях с тепловой изоляцией. Как показывают расчеты, значения тепловых потоков 306 и 409 Вт/м² не коррелируются с температурами 38 и 40 °С (табл. 2). Например, для существующей изоляции при $q_F = 306$ Вт/м² и соответствующем ему значении $q_i = 711$ Вт/м температура на поверхности должна быть значительно выше, чем 38 °С. А если принять за основу одновременно и $q_i = 711$ Вт/м², и $t_{изн} = 38$ °С, то при реальных значениях R_n это может быть, если $\lambda_{из}$ будет составлять 2...3 Вт/(м·К), что на порядок больше реальных величин $\lambda_{из}$. При температуре поверхности 39,7 °С (табл. 2), которая оценена выше как близкая к достоверной, и реальных значениях R_n и $\lambda_{из}$ (значения величин оценены выше) тепловой поток q_F должен составлять около 175 Вт/м² (табл. 3) (или $q_i = 406,8$ Вт/м). То есть, для существующей изоляции показания ИПП-2 завышены примерно в 1,7 раза.

Для покрытия изначально в расчет закладывалась величина $\lambda_{из} = 0,001$ Вт/(м·К). Как показали расчеты (табл. 3), получаемые при этом показатели явно не соответствуют измерениям, что может быть из-за несоответствия принятого и фактического значений $\lambda_{из}$. Решение обратной задачи при условии $t_{изн} = 40$ °С, которая оценена выше как достоверная, показало, что при реальных t_n величина $\lambda_{из}$ должна составлять около 0,004 Вт/(м·К). Расчеты при этом значении $\lambda_{из}$ приведены в табл. 3. По расчетам величина q_F должна составлять около 130 Вт/м² в то время, как ИПП-2 показал 409 Вт/м², то есть и в данном случае имеем завышение показаний ИПП-2 в 3,1 раза.

Завышенные показания ИПП-2 на поверхностях теплоизоляции Броня можно объяснить следующим.

$$q_F = \lambda \frac{\Delta t}{\Delta l}$$

Принцип действия ИПП-2 в комплекте с зондом ПТП-9.9П основан на измерении перепада температур на поверхностях пластины (по паспортным данным диаметр пластины 40 мм, толщина 2 мм). Температурный перепад измеряется с помощью ленточной термопары, встроенной в пластину зонда. По измеренному перепаду температур плотность теплового потока можно определить по формуле

где λ - коэффициент теплопроводности материала пластины (в паспорте зонда указано $\lambda = 0,5$ Вт/(м·К)); Δt - измеренный перепад температур; Δl - расстояние между точками измерения температуры (толщина пластины).

Определим Δt , которое фиксировал прибор при измерении, например, $q_F = 306$ Вт/м² (табл. 2)

$$\Delta t = 306 \cdot 2 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1}{0,5} = 1,224$$

При таких перепадах температур небольшие изменения в условиях измерения при контакте зонда с поверхностью могут приводить к значительному изменению измеряемой величины.

Допустим, термопара дает погрешность 0,2 °С, тогда перепад температур будет измерен с погрешностью $\Delta = 0,2/1,224 \cdot 100 = 16,3\%$ и с такой же погрешностью получим значение q_F .

На самом деле для лучшего из термоэлектродных материалов (платинородий платина) допускаемые отклонения показаний в интервале температур 0...300 °С составляют 0,01 мВ, что соответствует 1,09 °С. То есть, только термопара может давать погрешность, которая составляет около 89 % измеренной величины.

Кроме того, на трубопроводах невозможно обеспечить контакт по всей поверхности пластины зонда. На жесткой наружной поверхности контакт будет линейным, на менее жесткой - частично плоскостный. Это может приводить к дополнительным погрешностям измерений. По паспорту зонда ПТП-9.9П приведенная погрешность измерения составляет $\pm 5\%$, что соответствует примерно 500 Вт/м². То есть, допускаемая погрешность измерения превышает измеренные величины (табл. 2).

БР ОНЯ

СВЕРХТОНКАЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

Если отвлечься от абсолютных значений показателей и сравнивать разные теплоизоляции по тепловым потокам, то это надо делать по величинам q_i . По тепловым потокам q_f сравнивать нельзя, так как величина q_f зависит от диаметра, для которого она определена. Сравнение по результатам измерений (табл. 2) показывает, что существующая изоляция и покрытие обеспечивают примерно одинаковые потери теплоты от теплопровода. С учетом возможных отклонений действительных исходных данных от принятых в расчетах и по данным табл. 3 покрытия практически равнозначны по эффективности (с некоторым преимуществом покрытия).

Высокая эффективность покрытия при малой толщине изоляции складывается из трех составляющих: низкого значения λ , уменьшения диаметра наружной поверхности, уменьшения лучистой составляющей переноса теплоты.

Для любой теплоизоляции трубопроводов температура по толщине изоляции уменьшается по логарифмической зависимости, то есть наибольшее падение температуры происходит в близлежащем к изолируемой поверхности слое, а дальше интенсивность изменения температуры падает. Для покрытия Броня это проявляется более ярко из-за низкого λ . Поэтому для теплопроводов увеличение толщины теплоизоляции более 1,5...2 мм может быть не оправданным. Если сравнивать разные теплоизоляции только по величинам λ , то из-за нелинейной зависимости изменения температуры нельзя проводить линейные сравнения вида: если уменьшить λ теплоизоляции в 10 раз, то при той же температуре наружной поверхности толщина слоя изоляции должна быть в 10 раз меньше. Например, если теоретически увеличить толщину покрытия до 5,5 мм, то по расчетам, аналогичным проведенным выше (табл. 3), при $\lambda_{из} = 0,004$ Вт/(м·К) получим $t_{изн} = 26$ °С.

Изложенное выше позволяет сделать следующие основные выводы:

1) Покрытие сверхтонкой теплоизоляцией является высокоэффективным теплоизоляционным материалом. Численное значение коэффициента теплопроводности составляет 0,0012 Вт/(м·С). Это на порядок меньше, чем у лучших теплоизоляционных материалов, которые в большинстве случаев применяются в системах теплоснабжения;

2) Данный материал можно рекомендовать для теплоизоляции:

- участков теплопроводов, которые в настоящее время не изолируются совсем или изолируются частично. Это позволит уменьшить расход топлива на источниках теплоснабжения как минимум на 8 %;
- теплопроводов и других поверхностей в закрытых помещениях (котельные, насосные подстанции, ТРС) и надземных теплопроводов (долговечность, удобства в обслуживании, уменьшение габаритов, улучшение экологии и дизайна и др.);
- любых теплопроводов. В отличие от широко применяющейся стекловаты покрытие длительное время сохраняет первоначальные теплоизолирующие свойства, что подтверждается эксплуатацией натуральных объектов с покрытиями в течение 3-4 лет и результатами ускоренных климатических испытаний, которые оценивают долговечность покрытия не менее 15 лет.

3) Определения температуры наружной поверхности теплоизоляции наиболее надежными и достоверными являются определение температуры на ощупь, с помощью термпары, прибора Elcometr 319, PosiTector DPM или другими аналогичными приборами.

4) Высокая эффективность покрытия при малой толщине изоляции достигается за счет низкого коэффициента теплопроводности, уменьшения наружного диаметра изоляции, уменьшения лучистой составляющей переноса теплоты.

С экологической точки зрения сверхтонкая теплоизоляция безопасна. Она не выделяет вредных для человека веществ и не может принести вред его здоровью.