

4. <http://www.fnm.msu.ru/documents/8/photo.pdf>
5. Барсуков А. Журнал «ТКТ», № 4. М. 2004.
6. Пахомов С. Журнал «Компьютер Пресс». № 3. М. 2004.

КОЭФФИЦИЕНТ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ КАК ОСНОВНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ

Бирюзова Е.А.

*Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет
biruzova@rambler.ru*

Теплоизоляционные материалы в системах теплоснабжения применяются с целью уменьшения потерь тепла трубопроводами и оборудованием тепловых сетей, поддержания заданной температуры теплоносителя, а также недопущения высокой температуры на поверхности теплопроводов и оборудования.

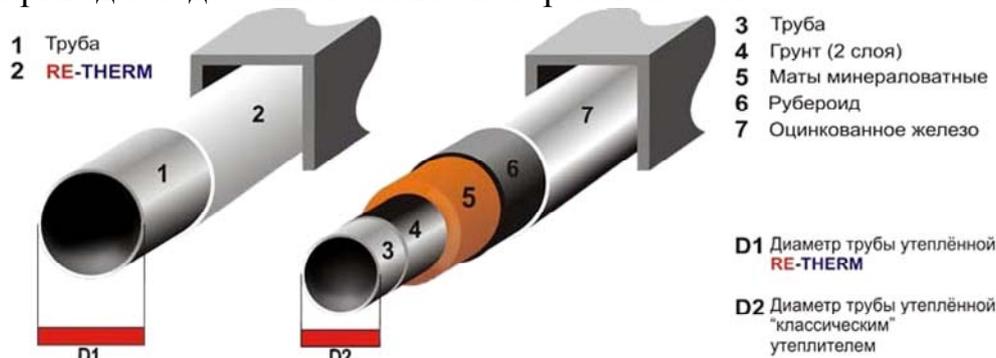
Материалы и конструкции тепловой изоляции непосредственно контактируют с окружающей средой, характеризующейся колебаниями температуры, влажности, а при подземной прокладке – агрессивными действиями грунтовых вод по отношению к поверхности труб и блуждающими токами, вызывающими образование свищей на трубопроводах. Поэтому к материалам тепловой изоляции предъявляются повышенные требования, соответствующие эффективной и безаварийной работе системы теплоснабжения.

Для тепловых сетей, как правило, принимаются теплоизоляционные материалы и конструкции, проверенные практикой эксплуатации. Новые материалы и конструкции допускаются к применению при положительных результатах независимых испытаний, проведенных специализированными лабораториями.

Материалы тепловой изоляции и покровного слоя теплопроводов должны отвечать требованиям СНиП [1], нормам пожарной безопасности и выбираться в зависимости от конкретных условий и способов прокладки.

В настоящее время в практику активно внедряются современные теплоизоляционные материалы, которые имеют малую толщину, обеспечивающие при этом высокую энергоэффективность. В последние годы ряд отечественных и зарубежных фирм предлагает краски и покрытия типа мастик, которые рекламируют как теплоизолирующие и энергосберегающие. Рассмотрим жидко-керамическую тепловую изоляцию на примере покрытия *Re-Therm* [2]: материал, внешне напоминающий краску, имеющий жидкую консистенцию, которую можно наносить на поверхности любых форм и составов красочными инструментами (кистью, валиком, пульверизатором высокого давления). Изоляция *Re-Therm* состоит из керамических (содержание керамических микросфер 75–85 %) и силиконовых микросфер, находящихся во взвешенном состоянии в жидкой фазе из воды, акрилового связующего и целевых добавок (рисунки).

Толщина одного слоя покрытия составляет 0,3–0,4 мм. 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.



Сравнение тепловой изоляции *Re-Therm* с традиционной (минераловатной) изоляцией

Важнейшим показателем при определении потерь тепла для теплоизоляционного материала является коэффициент теплопроводности, согласно закону Фурье.

Исследование величины коэффициента теплопроводности жидко-керамического покрытия *Re-Therm* проводилось методом трубы при стационарном тепловом режиме на экспериментальной установке в лаборатории кафедры ТГС и ОВБ. Для определения температурной зависимости коэффициента теплопроводности материала *Re-Therm* были проведены измерения при различных значениях напряжения и силы тока в электронагревателе.

Измерения проводились при $U=40; 60; 75$ В. Число слоев сверхтонкой жидкой теплоизоляции *Re-Therm* изменялось от одного ($d_2=57,3$ мм) до двух ($d_2=57,6$ мм). Температура на поверхности стальной трубы и теплоизолированной конструкции измерялась при помощи цифрового пирометра С-109 А и пирометра *ARKOM PR280* $k=0,95=const$.

Жидко-керамическое покрытие *Re-Therm* обладает низким коэффициентом теплопроводности, обеспечивающим высокую эффективность применения теплоизоляционной конструкции и отвечающим нормам энергосбережения.

Значения коэффициента теплопроводности λ , при покрытии трубы теплоизоляцией в два слоя:

– при $U=40$ В

Значения коэффициента теплопроводности – при измерении температуры пирометром ARKOM					Значения коэффициента теплопроводности – при измерении температуры пирометром С-109 А				
0,0012	0,0012	0,0013	0,0013	0,0011	0,0011	0,0012	0,0012	0,0012	0,0012
0,0010	0,0011	0,0012	0,0010	0,0011	0,0010	0,0010	0,0011	0,0011	0,0010
0,0010	0,0011	0,0012	0,0012	0,0011	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010

– при $U=60$ В

Значения коэффициента теплопроводности – при измерении температуры пирометром ARKOM					Значения коэффициента теплопроводности – при измерении температуры пирометром C-109 A				
0,0024	0,0028	0,0030	0,0029	0,0026	0,0022	0,0024	0,0027	0,0028	0,0022
0,0019	0,0021	0,0022	0,0022	0,0018	0,0018	0,0019	0,0021	0,0020	0,0019
0,0020	0,0023	0,0025	0,0024	0,0021	0,0017	0,0017	0,0018	0,0018	0,0017

– при $U=75$ В

Значения коэффициента теплопроводности – при измерении температуры пирометром ARKOM					Значения коэффициента теплопроводности – при измерении температуры пирометром C-109 A				
0,0036	0,0042	0,0050	0,0045	0,0036	0,0030	0,0040	0,0045	0,0042	0,0038
0,0028	0,0034	0,0039	0,0035	0,0032	0,0031	0,0039	0,0041	0,0038	0,0034
0,0033	0,0040	0,0042	0,0039	0,0034	0,0032	0,0035	0,0038	0,0035	0,0030

Средние значения коэффициента теплопроводности при разной мощности ТЭНа, соответственно:

$$\lambda_1 = 0,0011 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}), \lambda_2 = 0,002 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}), \lambda_3 = 0,0037 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}).$$

Проанализировав результаты экспериментальных исследований, была получена ориентировочная формула для определения коэффициента теплопроводности жидко-керамической тепловой изоляции:

$$\lambda = 0,00035 + 0,00003 t_{\text{т.п.}},$$

где $t_{\text{т.п.}}$ – температура теплоизолированной поверхности трубопровода, $^\circ\text{C}$.

Полученные экспериментальным путем значения коэффициента теплопроводности отличаются от заявленных производителем значений, что говорит о недостаточности толщины наносимого слоя тепловой изоляции и необходимости повторения исследований. В то же время, значения коэффициента λ жидко-керамической тепловой изоляции выгодно отличаются от значений коэффициента теплопроводности остальных теплоизоляционных материалов (таблица).

Теплотехнические характеристики теплоизоляционных материалов

Теплоизоляционный материал	Коэффициент теплопроводности, Вт/($\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$)	Плотность, кг/ м^3	Диапазон рабочих температур, $^\circ\text{C}$	Период эксплуатации, лет
Пенополиуретан	0,019–0,035	45–60	–200 +150	30–50
Минвата	0,052–0,058	15–150	–40 +250	5–7
Пенобетон	0,145–0,160	250–400	–30 +120	10
Вспененный полиэтилен	0,038–0,042	20–40	–80 +100	до 30
Вспененный каучук	0,032–0,042	60–85	–70 +150	20–30
Пенополистирол	0,043–0,064	15–45	–80 +80	15
<i>Re-Therm</i>	0,0011	390	–60 +250	не менее 15

Библиографический список

1. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.
2. Покрытия *Re-Therm*. Казань: ООО «Инновационные технологии», 2012. [Электронный ресурс] URL: www.re-therm.ru
3. М-001–2003. Метод постановки опыта и расчета коэффициента теплопроводности для сверхтонких тепловых изоляционных материалов, методические рекомендации по тепло-техническим расчетам. М.: ФГУП НИИ «Сантехники», 2003. 25 с.

ОЦЕНКА СХЕМНОЙ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЁТОМ ПЕРИОДОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ ОСНОВНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

*Близнюк Д.И., Котов О.М.
УрФУ, d-i-b@inbox.ru, o.m.kotov@ustu.ru*

Для повышения объективности результатов оценки схемной надежности электрических систем разрабатывается подсистема подготовки данных, учитывающая зависимость аварийности основного оборудования от продолжительности его эксплуатации. Функционирование данной подсистемы осуществляется в составе комплекса «Струна», созданного на кафедре АЭС УрФУ.

Расчётная схема для задачи оценки схемной надёжности соответствует главной схеме электрических соединений и содержит набор исходных параметров, в общем случае различный для соответствующих типов оборудования [1]. При этом для таких элементов расчётной схемы, как силовые трансформаторы, сборные шины, разъединители набор показателей составляют частота отказов и среднее время аварийного восстановления. Аварийность линий электропередач характеризуется отдельно частотой устойчивых и неустойчивых отказов, а модель надёжности силового выключателя характеризуется частотами отказов типа «короткое замыкание в обе стороны», «разрыв цепи» и относительной частотой неотключения коротких замыканий.

Центральным элементом подсистемы подготовки данных является база данных, состоящая из набора таблиц. В основной таблице перечисляются все категории элементов электрической сети, каждая из которых может иметь подкатегории. Например, категория «выключатели» (категория первого уровня) может иметь подкатегории «элегазовые», «масляные», «воздушные», «вакуумные» и т. д. (категории второго уровня). Вспомогательные таблицы содержат соответствующие показатели конкретной динамической модели. В итоге вся необходимая для расчётов надёжности статистика оказывается представленной в виде динамически обновляемой многоуровневой иерархической структуры.

Тестируемая версия подсистемы подготовки исходных данных ориентирована на представление хорошо известной «корытообразной» кривой частоты отказа технического изделия, которая может быть реализована как в линеаризованном, так и в полиномиальном варианте. В первом случае запись во вспомогательной таблице состоит из следующих полей:

- Значение показателя в период стабильной эксплуатации;
- Коэффициент наклона отрезка, соответствующего периоду приработки;