

УДК 699.865

***ВЛИЯНИЕ МАТЕРИАЛА И ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ  
НА ЭЛЕКТРОПОДОГРЕВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ***

***Перов М.В.,***

*Самарский государственный технический университет,  
Россия, Самара*

**Аннотация**

Рассмотрено влияние нескольких видов тепловой изоляции на затраты энергии при электроподогреве технологических трубопроводов.

Кабельные системы обогрева эффективнее паровых и водяных, так как они просты в установке, требуют мало материалов, не подвергаются коррозии и управляются автоматической системой, которая поддерживает заданный режим, поэтому их применение становится более популярным.

Цель написания статьи - показать способ снижения затрат предприятий на электроэнергию.

Таким способом является подбор хорошей теплоизоляции с низкой теплопроводностью. Будет продемонстрировано расчетным способом преимущество аэрогелевой изоляции над распространенными пенополиуретаном и минеральной ватой, показаны оптимальные значения толщины материалов, а так же построен график для наглядного сравнения.

**Ключевые слова:** Теплоизоляция, трубопроводы, электроподогрев, пенополиуретан, аэрогель, минеральная вата, энергозатратность.

***EFFECT OF MATERIAL AND THICKNESS OF THERMAL  
INSULATION ON ELECTRICAL HEATING OF TECHNOLOGICAL  
PIPELINES***

***Perov M.V.***

*Samara State Technical University,  
Russia, Samara*

**Annotation**

The influence of several types of thermal insulation on energy consumption during electric heating of technological pipelines is considered.

Cable heating systems are more efficient than steam and water heating systems, as they are easy to install, require few materials, do not corrode and are controlled by an automatic system that maintains a given mode, so their use is becoming more popular.

The purpose of this article is to show a way to reduce the cost of electricity for businesses.

This way is the selection of good thermal insulation with low thermal conductivity. The advantage of airgel insulation over common polyurethane foam and mineral wool will be demonstrated by a calculation method, the optimal values of the thickness of the materials will be shown, and a graph is also built for visual comparison.

**Keywords:** Thermal insulation, pipelines, electric heating, polyurethane foam, airgel, mineral wool, energy consumption.

**Введение**

На затраты электроэнергии влияют различные факторы такие как: климат окружающей среды, количество подогреваемого продукта, температура, которую требуется поддерживать и др.

Чем выше требуемая температура среды в трубопроводе, тем больше мощности используется для ее нагрева. Важно, чтобы это тепло как можно меньше тратилось в окружающий воздух. Для этого требуется покрывать трубопровод с нагревательным кабелем теплоизоляционным слоем. На потери влияет теплопроводность материала, чем она ниже, тем лучше будет сохраняться тепло под изоляцией. Поэтому нужно изучать характеристики изоляции и выбирать подходящую.

### Материалы и методы исследования

Аэрогель - это высушенный гель, сохранивший структуру твердой фазы, то есть его механические характеристики и объем. Больше 90% объема в нем занимает воздух, что делает его очень легким, но достаточно прочным для использования. Его теплопроводность уникально низкая, а именно от 0,014 до  $0,021 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot^{\circ}\text{C}}$ , так как молекулы воздуха заперты в нанопорах материала и не могут обмениваться энергией.

Материал гидрофобен и негорюч, что очень важно при транспортировке в трубопроводах взрывоопасных веществ.

Пенополиуретан - это вещество, состоящее из эластичных полимерных молекулярных цепочек, изготовленное из продуктов нефтехимической промышленности. ППУ заполнено на 80% инертным газом и имеет теплопроводность от 0,033 до  $0,037 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot^{\circ}\text{C}}$ .

ППУ слабогорюч и при обнаружении влаги под изоляцией требует замены.

Минеральная вата - это волокнистое вещество изготавливаемое из горных пород, отработанного шлака и стекла. Поэтому она делится на такие виды как:

1. Каменная вата - переработанные расплавы горных пород (базальт и габбро), формальдегидная смола, известняк и глина.
2. Кварцевая вата - расплав кварца, что делает ее более упругой чем каменная вата.
3. Шлаковата - изготавливается из шихты, доменных шлаков и прочих отходов металлургии.
4. Стекловата - материал из стекла, песка, соды, доломита. Стойкая к химическим веществам.

Теплопроводность минеральной ваты растягивается от 0,042-0,06 в зависимости от вида и плотности.

При намокании значительно ухудшает свои свойства и не поддерживает горение.

### Основная часть

Предположим, что трубопровод находится в Ямало-Ненецком автономном округе.

Температуру окружающей среды примем равной температуре самой холодной пятидневки [1] с обеспеченностью 0,92. Скорость ветра так же на основе климатический справочников [1] как среднюю скорость ветра за период со среднесуточной температурой окружающего воздуха ниже или равной 8°C.

Диаметром трубопровода и температурой нефти зададимся.

### Исходные данные

№ п/п	Наименование параметра	Обозначение	Единица измерения	Значение
1	Температура окружающей среды	$t_0$	°С	-46
2	Значение требуемой температуры нефти	$t_n$	°С	6
3	Кинематическая вязкость воздуха при температуре $t_0$	$\nu_B$	м <sup>2</sup> /с	$9,55 \cdot 10^{-6}$
4	Коэффициент теплопроводности воздуха при температуре $t_0$	$\lambda_B$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°С}}$	0,0207
5	Коэффициент теплопроводности изоляции: 1. Минеральная вата 2. Аэрогель 3. ППУ (пенополиуретан)	$\lambda_{из}$	$\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°С}}$	1) 0,047 2) 0,017 3) 0,035
6	Скорость ветра	$w_B$	м/с	6
7	Внешний диаметр трубопровода	$D_2$	м	0,82
8	Толщина тепловой изоляции	$\delta_{из}$	м	0,05
9	КПД электроподогрева	$\eta_{эл}$	доли ед.	0,93

Последовательность вычислений (расчет для аэрогеля  $\delta_{из}=0,05$  м):

- 1) Вычисляем число Рейнольдса для воздуха по формуле:

$$Re_B = \frac{w_B \cdot (D_2 + 2 \cdot \delta_{из})}{\nu_B} = \frac{6 \cdot 0,92}{9,55 \cdot 10^{-6}} = 578010,471$$

- 2) По таблице 1 [3] определяем параметры  $C=0,023$ ;  $m=0,8$ ;

Таблица 1. Значения констант

Re	5-80	$80 \div 5 \cdot 10^3$	$(0,5 \div 5) \cdot 10^4$	$>5 \cdot 10^4$
C	0,81	0,695	0,197	0,023
m	0,40	0,46	0,60	0,8

- 3) Рассчитываем значение параметра Нуссельта:

$$Nu = C \cdot Re_B^m = 0,23 \cdot 578010,471^{0,8} = 936$$

- 4) Определяется коэффициент внешней теплоотдачи:

$$\alpha_2 = \frac{Nu \cdot \lambda_B}{D_2 + 2 \cdot \delta_{из}} = \frac{936 \cdot 0,0207}{0,82 + 2 \cdot 0,05} = 21,06 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}$$

- 5) Определим температуру поверхности изоляции:

$$t_{из} = \frac{2 \cdot \lambda_{из} \cdot t_H + \alpha_2 \cdot (D_2 + 2 \cdot \delta_{из}) \cdot t_0 \cdot \ln \frac{(D_2 + 2 \cdot \delta_{из})}{D_2}}{2 \cdot \lambda_{из} + \alpha_2 \cdot (D_2 + 2 \cdot \delta_{из}) \cdot \ln \frac{(D_2 + 2 \cdot \delta_{из})}{D_2}}$$

$$= \frac{2 \cdot 0,017 \cdot 6 + 21,06 \cdot 0,92 \cdot (-46) \cdot \ln \frac{0,92}{0,82}}{2 \cdot 0,017 + 21,06 \cdot 0,92 \cdot \ln \frac{0,92}{0,82}} = -45,22 \text{ °C}$$

- 6) Полезная мощность нагревающего кабеля на 1 м длины:

$$N_{потр} = 1,05 \cdot \pi \cdot \alpha_2 \cdot (D_2 + 2 \cdot \delta_{из}) \cdot (t_{из} - t_0)$$

$$= 1,05 \cdot 3,14 \cdot 21,06 \cdot 0,92 \cdot (-45,22 + 46) = 49,9 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

- 7) Требуемая мощность электроподогрева:

$$N_{треб} = \frac{N_{потр}}{\eta_{эл}} = \frac{49,9}{0,93} = 53,65 \frac{\text{Вт}}{\text{м}}$$

Дальше вычисляем для различных значений толщины изоляции (с шагом 0,025м) и записываем всё в таблицу 2 для последующего выбора оптимального значения.

### Результаты расчета

Таблица 2. Результаты расчета

Материал изоляции	$\delta_{из}, м$	Re	Nu	$\alpha_2, \frac{Вт}{м^2 \cdot ^\circ C}$	$t_{из}, ^\circ C$	$N_{потр}, \frac{Вт}{М}$	$N_{треб}, \frac{Вт}{М}$
Аэрогель	0,05	578010,47	936	21,06	-45,22	49,9	53,65
	0,075	609424,08	976,48	20,84	-45,48	34,35	36,94
	0,1	640837,69	1016,54	20,62	-45,61	26,51	28,5
Минеральная вата	0,05	578010,47	936	21,06	-43,89	134,39	144,5
	0,075	609424,08	976,48	20,84	-44,59	93,35	100,37
	0,1	640837,69	1016,54	20,62	-44,95	72,36	77,8
	...	...	...	...	...	...	...
	0,34	942408,37	1383,95	19,09	-45,72	26,54	28,54
ППУ	0,05	578010,47	936	21,06	-44,41	101,12	108,73
	0,075	609424,08	976,48	20,84	-44,95	69,99	75,26
	0,1	640837,69	1016,54	20,62	-45,22	54,16	58,24
	...	...	...	...	...	...	...
	0,23	804188	1219,03	19,71	-45,68	26,78	28,8

В Microsoft Office Excel строим график:

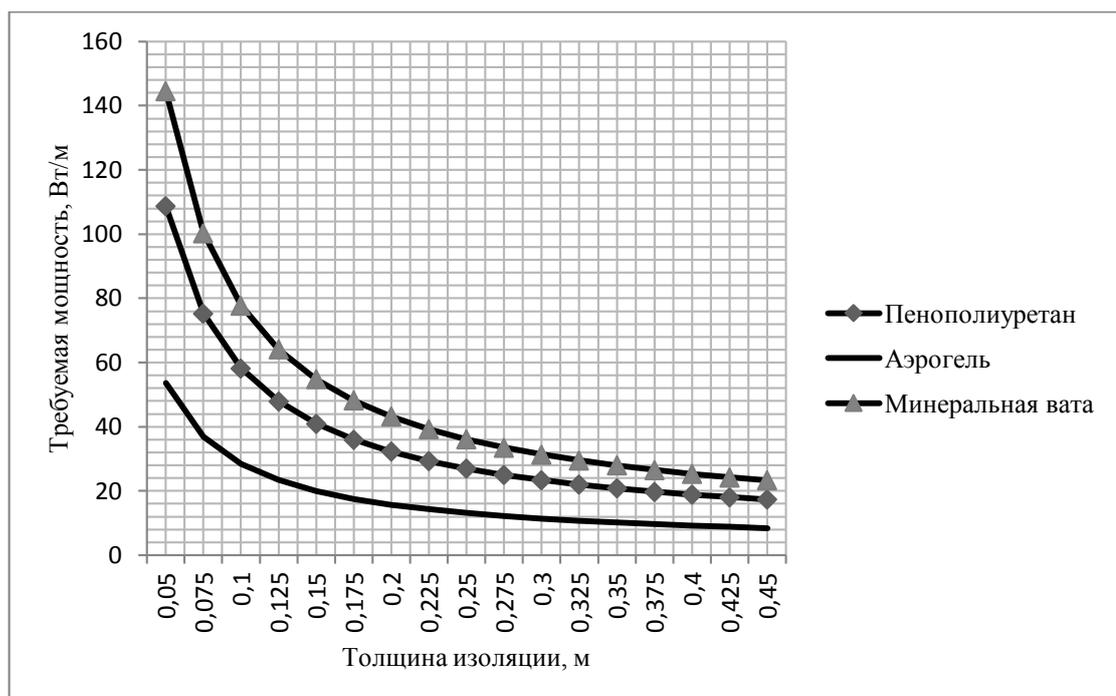


Рис. 1 Зависимость требуемой мощности электроподогрева от материала и толщины изоляции

### Заключение

По таблице 2 и рисунку 1 видно, что для достижения такой же мощности электроподогрева, как у аэрогеля при толщине изоляции 10 см, пенополиуретана требуется в 2,3 раза больше, а минеральной ваты в 3,4 раза. Это увеличивает объемы изолированных трубопроводов, что создает неудобства при их монтаже и эксплуатации.

При сравнении этих трех изоляционных материалов толщиной 5 см, получим, что для поддержания температуры нефти на уровне 6°C, применяя аэрогель, потребуется в 2,03 раза меньше мощности на электрообогрев, чем при пенополиуретане, и в 2,7 раза, чем при минеральной вате.

На основе выше изложенного делаем вывод, что применение аэрогеля в качестве теплоизоляции делает эксплуатацию технологических трубопроводов с электрообогревом менее энергозатратным.

### Библиографический список

1. СП 131.13330.2012. Строительная климатология.
2. Тугунов П.И., Новоселов В.Ф., Коршак А.А., Шаммазов А.М. Типовые расчеты при проектировании и эксплуатации нефтебаз и нефтепроводов. - Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2002.
3. РД-75.180.00-КТН-198-09. Унифицированные технологические расчеты объектов магистральных нефтепроводов и нефтепродуктопроводов.
4. СНиП 41-03-2003. Тепловая изоляция оборудования и трубопроводов.
5. Хижняков С.В. Практические расчеты тепловой изоляции промышленного оборудования и трубопроводов [Текст]. - Москва; Ленинград: Госэнергоиздат, 1959. - 128 с.

*Оригинальность 96%*