

# Расчет времени остывания трубопроводов

Основное назначение систем электрообогрева – поддержание необходимой температуры в обогреваемых трубопроводах путем компенсации тепловых потерь. Однако, в случае необходимости проведения плановых или аварийных ремонтных работ электропитание может быть отключено.

В случае отключения электроэнергии система обогрева трубопровода перестает компенсировать тепловые потери в окружающую среду. Перерыв электроснабжения приведет, кроме того, к остановке насосов. Остановится перекачка жидкости.

Трубопровод начнет постепенно остывать. Трубопроводы, заполненные жидкостью и покрытые тепловой изоляцией, обладают значительной тепловой инерцией и она тем больше, чем больше диаметр трубопровода и чем больше допустимая степень охлаждения жидкости.

Для эксплуатационных и сервисных служб важно знать допустимую длительность отключения электропитания систем обогрева трубопроводов. В приведенных ниже таблицах показаны результаты расчетов времени остывания, которые выполнены для ряда стандартных трубопроводов, с проходным диаметром от 50 до 400 мм. Рассмотрены случаи, когда трубопроводы полностью заполнены нефтью или водой. Трубы покрыты тепловой изоляцией из минеральной ваты, для которой коэффициент теплопроводности принимался равным 0,05 Вт/м·°С. Значения исходных данных, использованных в расчетах, показаны в таблице 1.

Табл. 1  
Исходные данные

Жидкость	Плотность, кг/м <sup>3</sup>	Теплоемкость, Дж/кг·°С	Т начальная, °С	Т конечная, °С	Диапазон температур воздуха, °С
Нефть	852	1900	50	20	-50 ... 20
Вода	1000	4200	8	2	-50 ... 0

В таблице 2 представлены результаты расчетов времени остывания трубопроводов, заполненных нефтью средней плотности в зависимости от температуры окружающего воздуха. Помимо размеров труб указаны также толщина теплоизоляции и ее плотность. Температура нефти в момент отключения электроэнергии 50 °С. Предполагается, что минимальная температура, до которой может охладиться нефть 20 °С. В таблице показаны зависимости как от характеристик трубопровода и теплоизоляции, так и от температуры окружающего воздуха. Естественно, чем выше температура воздуха, тем медленнее остывает трубопровод.

Табл. 2  
Время остывания трубопроводов с нефтью от +50 до +20 °С

D, мм	D <sub>и</sub> , мм	Δ <sub>из</sub> , мм	ρ <sub>из</sub> , кг/м <sup>3</sup>	Температура воздуха, °С								
				-50	-40	-30	-20	-10	0	10	15	20
50	58	30	80	1,1	1,2	1,4	1,6	2,0	2,6	3,8	5,2	8,8
80	89	40	80	2,1	2,4	2,8	3,3	4,1	5,3	7,8	10,5	17,8
100	114	50	90	3,5	4,0	4,6	5,5	6,7	8,8	12,9	17,3	29,5
150	168	50	90	5,4	6,1	7,0	8,3	10,2	13,3	19,6	26,3	44,8
200	219	60	100	8,4	9,5	11,0	13,0	16,0	20,9	30,6	41,1	70,0
250	273	60	100	10,6	12,1	13,9	16,5	20,3	26,5	38,9	52,1	88,9
300	324	80	100	16,5	18,7	21,6	25,6	31,5	41,1	60,3	80,8	138
400	430	100	100	27,4	31,1	36,8	42,5	52,3	68,2	100	134	229

Цветовая маркировка таблицы:

- менее 2 часов,
- от 2 до 3 часов,
- от 3 до 6 часов,
- от 6 до 12 часов,
- от 12 до 24 часов,
- более суток.

Таблица 3 иллюстрирует влияние толщины тепловой изоляции на время остывания. Расчет выполнен для трубопровода с нефтью диаметром 150 мм. Толщина изоляции менялась от 30 до 60 мм. Увеличение толщины теплоизоляции в 2 раза дает почти двукратное увеличение времени остывания. Этот прием может быть использован для продления срока остывания трубопровода.

Табл. 3  
Время остывания трубопровода с нефтью  $\varnothing 150$  мм при разной толщине теплоизоляции.

D, мм	D <sub>из</sub> мм	$\Delta_{изз}$ мм	$\rho_{изз}$ кг/м <sup>3</sup>	Температура воздуха, °C								
				-50	-40	-30	-20	-10	0	10	15	20
150	168	30	90	3,4	3,8	4,4	5,3	6,5	8,4	12,4	16,6	28,3
150	168	40	90	4,4	5,0	5,8	6,8	8,4	10,9	16,0	21,5	36,7
150	168	50	90	5,4	6,1	7,0	8,3	10,2	13,3	19,6	26,3	44,8
150	168	60	90	6,3	7,2	8,3	9,8	12,0	15,7	23,0	30,9	52,7

Цветовая маркировка таблицы:

– от 3 до 6 часов,    
  – от 6 до 12 часов,    
  – от 12 до 24 часов,    
  – более суток.

В таблице 4 представлены времена остывания трубопроводов с водой. Температура воды в обогреваемом трубопроводе в холодное время обычно поддерживается на уровне 5–8 °C, а остывание ниже 2 °C нежелательно. Таблица 4 построена аналогично табл. 2. Хотя теплосодержание 1 кг воды в 2,6 раза больше, чем у 1 кг нефти, но меньший допустимый диапазон снижения температуры приводит к уменьшению допустимых времен остывания.

Табл. 4  
Время остывания трубопроводов с водой от +8 до +2 °C.

D, мм	D <sub>из</sub> мм	$\Delta_{изз}$ мм	$\rho_{изз}$ кг/м <sup>3</sup>	Температура воздуха, °C						
				-50	-40	-30	-20	-10	-5	0
50	58	30	80	0,55	0,67	0,86	1,2	2,0	3,0	6,5
80	89	40	80	1,23	1,50	1,93	2,7	4,5	6,8	14,5
100	114	50	90	1,92	2,35	3,0	4,2	7,0	10,6	22,7
150	168	50	90	3,1	3,8	4,9	6,8	11,4	17,1	36,6
200	219	60	100	5,1	6,2	8,0	11,2	18,6	28,1	60,0
250	273	60	100	6,6	8,0	10,3	14,4	24,1	36,3	77,5
300	324	80	100	10,4	12,7	16,3	22,8	38,0	57,4	122,6
400	430	100	100	17,5	21,4	27,4	38,4	64,0	96,6	206,0

Цветовая маркировка таблицы:

– менее 2 часов,    
  – от 2 до 3 часов,    
  – от 3 до 6 часов,    
  – от 6 до 12 часов,    
  – от 12 до 24 часов,    
  – более суток.