

ТЕХНИЧЕСКИЙ ОБЗОР

Основные проблемы и особенности применения и эксплуатации саморегулирующихся греющих кабелей в системах промышленного электрообогрева нефтегазовой отрасли.

Tел.: +7 (3822) 33-49-30 Сайт: www.sibcontrols.com E-mail: info@sibcontrols.com ИНН 7017286897 / КПП 701701001

ОКПО 90302644

Расчетный счет: 40702810732080002974 Корр. счет: 30101810400000000725

Банк: Филиал ОАО «УРАЛСИБ» в г.Новосибирск

БИК: 045004725



Введение.

В настоящее время для обогрева технологических объектов нефтегазовой отрасли широкое распространение получили системы промышленного электрообогрева. В реализации и последующей эксплуатации данных систем участвуют множество специалистов различных специальностей, но в технической литературе данный вопрос освещен, мягко сказать, недостаточно.

В данной статье мы не будем пытаться охватить все типы нагревательных элементов, применяемых для построения систем электрообогрева, а остановимся на особенностях применения саморегулирующихся греющих кабелей, как наиболее быстроразвивающихся и популярных в настоящее время источников тепловой энергии. Вся имеющаяся в наличии информация о саморегулирующихся греющих кабелях зачастую получается специалистами проектных и эксплуатирующих организаций только от производителей данного рода кабелей, которые в один голос говорят: «Наша продукция отличного качества и практически лишена недостатков, за исключением, возможно, немного высокой стоимости по отношению к другим типам нагревательных элементов!». Попытаемся разобраться, так ли это на самом деле, и какие недостатки присущи саморегулирующимся греющим кабелям.

Учитывая важность работы систем электрообогрева промышленных объектов в общей инфраструктуре предприятия, вопрос понимания основных технических особенностей применения и эксплуатации саморегулирующихся греющих кабелей позволит ответственным специалистам эксплуатации и проектных организаций:

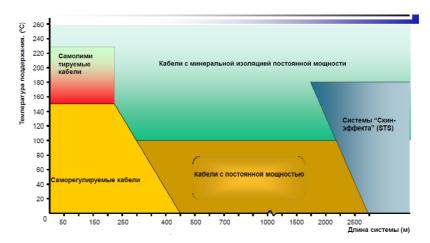
- Получить в результате проектирования и строительства технически обоснованную, безопасную и бесперебойно работающую систему электрообогрева.
- Снизить затраты на покупку кабельной и вспомогательной продукции.
- Снизить затраты на последующую эксплуатацию системы.
- Снизить затраты на электроэнергию в рамках программы энергосбережения объекта.



Особенности конструкции и технические характеристики саморегулирующихся греющих кабелей.

Важнейшим шагом в развитии систем электрообогрева стало изобретение и начало производства нагревательных кабелей на основе эффекта саморегуляции. Это изобретение было сделано в ходе изучения свойств проводящих угленаполненных пластмасс. Выделяемые мощности таких кабелей существенно ниже, чем у резистивных лент, но благодаря появлению эффективных теплоизоляционных материалов, данной мощности достаточно для решения широкого спектра вопросов обогрева технологических объектов.

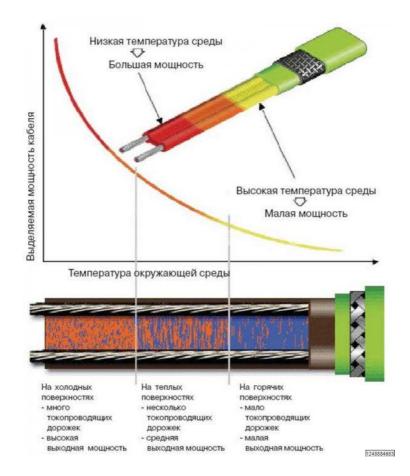
На данной диаграмме схематически показана область применений саморегулирующихся кабелей в зависимости от температуры объекта нагрева и длины кабельной линии.



В связи с тем, что основные преимущества и недостатки саморегулирующихся греющих кабелей вытекают из их конструктивных особенностей, рассмотрим данный вопрос более подробно.

По схеме тепловыделения данные кабели относятся к следующему типу – саморегулирующиеся кабели (ленты) с тепловыделением в проводящей полимерной матрице или проводящих пластмассовых элементах.

Саморегулирующиеся кабели имеют, как правило, овальную форму и следующую типовую конструкцию: две параллельные токопроводящие жилы, покрытые слоем полупроводящего, наполненного углеродом полимера, так называемой матрицей. Поверх матрицы укладываются слои электрической изоляции, экранирующая оплетка и защитная оболочка.



Полупроводящую матрицу можно условно представить в виде очень большого числа сопротивлений, подключенных параллельно токопроводящим жилам. При подаче напряжения на токопроводящие жилы в полупроводящей матрице возникает ток, вызывающий выделение тепла. За счет выделения тепла материал матрицы расширяется и контактные связи между отдельными частицами углерода нарушаются. Сопротивление матрицы растет и ток уменьшается. Через некоторое время ток и температура стабилизируются. Сопротивление матрицы, приведенное к одному метру кабеля, обычно составляет несколько сот Ом.



Благодаря данным свойствам саморегулирующиеся нагревательные кабели обладают следующими уникальными свойствами:

- Могут использоваться при подключении на полное напряжение любыми длинами от минимальных (десятки сантиметров), до предельно допустимых. Данное свойство особенно ценно, когда заранее не известна длина обогреваемого трубопровода.
- Способны изменять свое тепловыделение локально. Если на обогреваемом объекте в какой-либо зоне температура повышается, то тепловыделение кабеля в этой зоне падает. Данное свойство значительно повышает безопасность системы обогрева и упрощает процесс монтажа саморегулирующихся кабелей, поскольку допускается сближение и пересечение кабелей друг с другом.

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 4 из 16



Данные положительные характеристики рекламируют практически все производители и поставщики саморегулирующихся кабелей. Попытаемся, однако, разобраться в определенных недостатках и особенностях данной продукции. Для этого рассмотрим основные технические характеристики саморегулирующихся кабелей, их связь между собой, влияние на надежность и на другие немаловажные характеристики проекта системы электрообогрева.

Техническая характеристика: Напряжение питания, Вольт.

Некоторые производители саморегулирующихся кабелей просто указывают диапазон напряжения питания, к примеру: 220 — 275 Вольт., без дополнительных комментариев и таблицы коэффициентов перерасчета выделяемой мощности в зависимости от напряжения питания. Дело в том, что номинальная мощность саморегулирующихся кабелей, указанная в документации и рекламных проспектах производителей, нормируется при напряжении питания не 220, а 230 или 240 Вольт. Данное напряжение нужно уточнять у производителя.

Момент первый. Отклонения питающего напряжения должны учитываться для оценки мощности, выделяемой саморегулирующимся кабелем. Производители предлагают специальные таблицы с коэффициентами для пересчета выделяемой мощности в зависимости от отклонения напряжения питания от величины 230/240 Вольт. К примеру, для некоторых моделей кабелей данный коэффициент равен 0,9. Соответственно, при напряжении питания 220 Вольт погонная мощность данного кабеля снизится на 10%. Этот факт нужно обязательно учитывать в момент проектирования.

Момент второй. Для каждой марки саморегулирующего кабеля установлены ограничения по величине питающего напряжения. К примеру, для кабелей, рассчитанных на напряжение 230 Вольт, недопустимо питающее напряжение, превышающее 275 Вольт. Повышение питающего напряжения (например из за ошибок монтажа иногда на нагревательную секцию подается напряжение 380 Вольт) вызывает усиленное выделение тепла в матрице и ее скорую деградацию и полное прекращение нагрева, т. е. выход кабеля из строя.

Техническая характеристика: *Номинальная мощность погонного метра кабеля, Вт/м при указанной температуре в градусах Цельсия.*

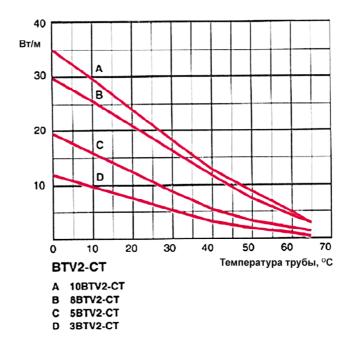
В связи с тем, что это основная техническая характеристика данного изделия, остановимся на ней наиболее подробно.

Существенная зависимость мощности тепловыделения от температуры диктует определенные правила нормирования и измерения тепловой мощности саморегулирующихся кабелей. Мощность саморегулирующейся ленты нормируется при следующих стандартных условиях — отрезок измеряемого кабеля устанавливается на металлической трубе диаметром не менее 50 мм. так, чтобы обеспечить хороший тепловой контакт. По трубе прокачивается охлаждающая жидкость с температурой $10 \pm 0,5$ °C. (в отдельных случаях измерения проводят при 5°C). Труба с кабелем закрывается тепловой изоляцией толщиной не менее 20 мм. Номинальная мощность саморегулирующихся кабелей, указанная в каталогах производителей — это мощность, измеренная в стандартных условиях. Для снятия зависимости мощности от температуры необходимо задавать и поддерживать соответствующую температуру трубопровода.

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 5 из 16

Зависимость мощности от температуры снимается на подобной установке не менее, чем при трех значениях температуры трубопровода. Кривые зависимости мощности конкретных марок саморегулирующихся кабелей от температуры, приводимые в каталогах фирм-поставщиков, показывают зависимости мощности тепловыделения от температуры трубы, а не от температуры кабеля. Это весьма существенный момент, который следует учитывать при применении саморегулирующихся кабелей. На следующем рисунке показана подобная зависимость для кабеля марки BTV2-CT фирмы Тусо - Raychem.



При других условиях, например при плохом контакте с обогреваемым объектом, выделяемая саморегулирующимся кабелем мощность не будет соответствовать справочной кривой. Если саморегулирующийся кабель, свободно подвесить в воздухе, то за счет ухудшения условий теплоотдачи измеренная мощность будет примерно на 30% меньше нормируемой.

Вывод: Важно обеспечить должный контроль над проведением монтажных работ на объекте для обеспечения необходимого качества работ. В противном случае система электрообогрева на основе саморегулирующихся кабелях будет функционировать с падением мощности по отношению к проектной и данный факт приведет к существенному перерасходу электроэнергии.

Техническая характеристика: Величина удельного пускового тока, Ампер.

Саморегулирующиеся кабели помимо номинальной мощности и зависимости мощности от температуры трубы характеризуются величиной удельного пускового тока в зависимости от температуры в момент включения. Это такое значение тока, приведенное к одному метру кабеля, которое имеет место в момент включения питания. Пусковой ток в основном спадает в течение первой минуты, но полная стабилизация занимает примерно 5 минут. Максимальная абсолютная величина пускового тока определяется длиной нагревательного кабеля, температурой объекта и конструкцией конкретного нагревательного кабеля.

Преимущественная область применения саморегулирующихся кабелей — обогрев трубопроводов и резервуаров, эксплуатируемых при отрицательных температурах окружающего воздуха. Как правило, запуск систем выполняется, когда и трубы и тепловая изоляция холодные. Для целей проектирования и расчета характеристик системы обогрева в момент пуска и эксплуатации требуется знать свойства саморегулирующихся кабелей при низких температурах. Исходя из конструкции саморегулирующихся кабелей, можно сделать вывод, что чем ниже температура, тем ниже сопротивление нагревательной матрицы кабеля и тем выше пусковой/стартовый ток.

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 6 из 16

В связи с тем, что технические характеристики автоматов защиты от короткого замыкания, перегрузок по току, защиты от утечек на землю, сечение питающих кабелей, а следовательно и их цена напрямую зависят от величины пускового тока, проектным организациям и конечным заказчикам следует обращать на данный момент пристальное внимание.

Ниже по тексту представлены результаты исследований трех марок саморегулирующихся кабелей в диапазоне от +10 до -40°C. Кабель 23ФСЛе2-СТ преимущественно устанавливается на трубопроводах диаметром до 100 мм. Кабель 31ФСР2-СТ находит применение при обогреве более крупных трубопроводов. Оба кабеля устойчиво работают под напряжением при температуре не более 65°C. В отключенном состоянии способны выдерживать до 85°C. Среднетемпературный кабель 55ФСС2-СФ имеет теплостойкую матрицу, а изоляция и оболочка выполнены из фторполимеров.

Краткие характеристики исследованных кабелей приведена в следующей таблице.

Характеристики исследованных кабелей

Марка	Размеры,	Мощность при	Сечение ТПЖ,	Допустимая темпе-				
	MM	+10°C, B _T / _M	MM ²	ратура, °С				
23ФСЛе2-СТ	10,5 x 5,9	21,5	1,0	≤ 65/85				
31ФСР2-СТ	13.1 x 6,0	31	1,1	≤ 65/85				
55ФСС2-СФ	10,7 x 5,1	55	1,25	≤ 120/200				

Исследования зависимости характеристик от температуры были выполнены в климатической камере. При этом была обеспечена такая циркуляция воздуха в камере и остальные условия эксперимента, при которых значения мощности, измеренные в камере, были близки к результатам, полученным на стандартизованной установке. Измерения проводились при температурах: +10; +3; 0; -10; -20; -30; -40°C. Каждая марка кабеля была представлена тремя образцами. По достижении заданной температуры образец выдерживался в камере в течение 1 часа. Затем на образец подавалось номинальное напряжение. Фиксировался стартовый ток и его снижение по мере разогрева кабеля. Типовой вид таблицы измеренных значений показан ниже.

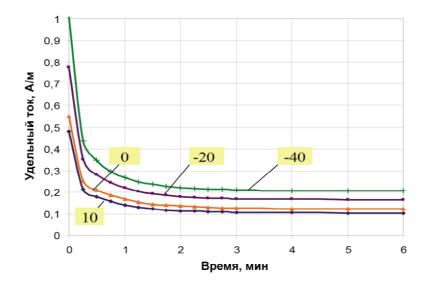
Ткам.°С	10	3	0	-10	-20	-30	-40		
t, мин	Удельный ток, А/м								
0,00	0,482	0,500	0,549	0,659	0,777	0,884	1,010		
0,25	0,213	0,236	0,252	0,297	0,349	0,381	0,438		
0,50	0,177	0,195	0,209	0,243	0,281	0,311	0,348		
0,75	0,158	0,176	0,185	0,214	0,244	0,271	0,294		
1,00	0,142	0,158	0,168	0,193	0,219	0,244	0,267		
1,25	0,130	0,147	0,154	0,179	0,203	0,227	0,248		
1,50	0,123	0,139	0,146	0,171	0,193	0,214	0,236		
1,75	0,118	0,133	0,141	0,163	0,185	0,205	0,227		
2,00	0,115	0,129	0,136	0,158	0,180	0,199	0,221		
2,25	0,112	0,126	0,133	0,155	0,175	0,195	0,217		
2,50	0,110	0,124	0,131	0,153	0,173	0,192	0,214		
2,75	0,109	0,122	0,128	0,151	0,171	0,189	0,212		
3,0	0,107	0,121	0,127	0,149	0,170	0,188	0,211		
4,0	0,105	0,119	0,125	0,145	0,167	0,185	0,207		
5,0	0,104	0,117	0,124	0,145	0,165	0,185	0,206		
6,0	0,103	0,117	0,123	0,144	0,165	0,183	0,205		
10,0	0,103	0,117	0,123	0,144	0,165	0,183	0,205		
Т кам. °С	10	3	0	-10	-20	-30	-40		
Knm	4,274	3,881	4,041	4,1	4,281	4,404	4,391		
Pl, Bm/M	23,8	27	28,4	33,1	38	42,2	47,2		
Ткаб, °С	31	27	25	20	14	10	4		
Гкаб-Ткам	21	24	25	30	34	40	44		

Сокращения, принятые в таблице: Ткам — температура в камере; Кпт — коэффициент пускового тока, равный отношению пускового тока к установившемуся; Pl — линейная мощность кабеля при соответствующей температуре; Ткаб — температура оболочки кабеля; Ткаб-Ткам — разность температур поверхности кабеля и камеры.

На следующем рисунке показаны графики снижения пускового тока кабеля 23ФСЛе2-СТ построенные по данным данной таблицы. С понижением температуры растет как пусковой, так и установившийся ток. Наблюдается также незначительный рост коэффициента пускового тока.

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 7 из 16



Помимо установившихся значений мощности для всех кабелей определены коэффициенты пусковых токов, знание которых поможет при проектировании систем обогрева, использующих саморегулирующиеся кабели. Средние значения пусковых и установившихся токов и значения Кпт (коэффициента пускового тока) приведены в следующей таблице.

Средние значения пусковых и установившихся токов исследованных кабелей

Средние значения пусковых и установившихся токов исследованных каослен								
Марка	Показа-	Температура, °С						
кабеля	тель	-40	-30	-20	-10	0	3	10
	I_{nycx} , A/M	0,837	0,741	0,647	0,536	0,447	0,409	0,391
23ФСЛе	I_{yer} , A/M	0,190	0,168	0,150	0,130	0,110	0,105	0,091
	$K_{n\tau}$	4,391	4,404	4,281	4,100	4,041	3,881	4,274
	I_{nyck} , A/M	1,494	1,299	1,178	0,958	0,823	0,745	0,712
31ФСР	$I_{\rm ycr}$, A/M	0,225	0,202	0,182	0,158	0,139	0,133	0,119
	K_{mt}	6,625	6,418	6,473	6,121	5,912	5,615	6,005
	I_{myck} , A/M	1,151	1,037	0,983	0,900	0,831	0,784	0,740
55 ΦCC	$I_{\rm ycr}$, A/M	0,377	0,359	0,344	0,324	0,306	0,298	0,283
	K_{nr}	3,020	2,859	2,833	2,760	2,710	2,624	2,624

Основные выводы по результатам данных исследований:

- Чем ниже температура, тем выше пусковой ток.
- Для некоторых типов кабеля пусковой ток может быть в шесть с лишним раз выше установившегося тока.
 - С понижением температуры растет значение установившегося тока.

Расчетные параметры нагревательных секций

Трубо- провод	Марка кабеля	Мощность кабеля при +5°C, Вт/м	Мощность секции при +5°C, Вт	Рабочий ток при +5°C, А	Пусковой ток при -20°C. А	Максимальная температура трубы, °С
B1	33HTP2-BP	33,3	766	3,5	27,1	55
B2	33HTP2-BP	33,3	133	0,6	4,7	55
B3	33HTP2-BP	33,3	1032	4,7	36,5	53
B4	33HTP2-BP	33,3	966	4,4	34,2	55
B5	25HTP2-BP	25,7	1311	6,0	33,2	54

Суммарная мощность секций и суммарный рабочий ток при +5°C- 4208 Вт и 19,1 А.

Из прилагаемой таблицы можно сделать вывод, что пусковой ток при -20° Цельсия намного превосходит рабочий ток при поддерживаемой температуре. Дело в том, что саморегулирующиеся

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 8 из 16



кабели характеризуются большими коэффициентами пусковых токов. Для нормальной работы подсистемы питания должны использоваться автоматы серии С, а длина секции не должна быть больше допустимой для заданной температуры холодного пуска. Соответствующие рекомендации приводятся в технических описаниях саморегулирующихся кабелей.

Для снижения значений пусковых токов саморегулирующихся кабелей и одновременного уменьшения номиналов автоматических выключателей и сечений питающих силовых кабелей рекомендуется использовать специализированные устройства управления системой электрообогрева.

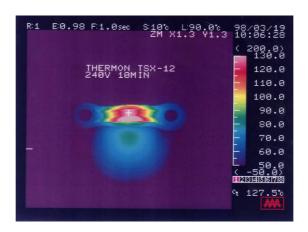
Техническая характеристика: Сечение токоведущей жилы, миллиметров квадратных.

От величины сечения токоведущей жилы саморегулирующего кабеля напрямую зависит длина нагревательной секции. Применение кабеля с большим сечением токоведущей жилы позволит увеличить длину нагревательной секции, сократить количество нагревательных секций для обогрева трубопроводов значительной длины и, соответственно, сократить количество вспомогательных электроустановочных изделий (соединительных коробок, питающих кабелей и. т.), т. о. сэкономить на материалах и монтажных работах.

Техническая характеристика: Максимальная рабочая температура, градусов Цельсия.

<u>Не нужно путать данную температуру с температурой нагрева кабеля в процессе соморегуляции.</u> Дело в том, что саморегулирующий кабель:

- Во-первых, нагревается неравномерно по всей длине в зависимости от неравномерности передачи тепловой энергии обогреваемой поверхности;
- Во-вторых, распределение температуры в самой полупроводящей матрице происходит весьма неравномерно. Диаграмма данного процесса представлена на следующем рисунке.



Соответственно, максимальная рабочая температура саморегулирующего кабеля — это максимально возможная температура именно технологического процесса, а иначе обогреваемой поверхности, превышение которой потребитель не должен допускать в процессе эксплуатации. Если, к примеру, максимальная рабочая температура кабеля составляет 200 °C, то конструкция подсистемы управления обогревом должна исключить превышение указанной температуры обогреваемой поверхности, когда кабель находится во включенном состоянии. В выключенном состоянии кабель может подвергаться кратковременному воздействию температуры 250 °C. Однако это воздействие в сумме не должно превышать 1 000 часов.

Превышение указанных значений приведет к быстрой деградации полупроводящей матрицы и частичному (иногда и полному) снижению тепловыделяющей способности кабеля, соответственно неэффективной работе всей системы электрообогрева и перерасходу электроэнергии.

Техническая характеристика: *Минимальная температура окружающей среды, градусов Цельсия*.

Минимальная температура окружающей среды — это минимальная температура, при которой еще допускается эксплуатация изделия. Рассматривая данную техническую

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 9 из 16



характеристику саморегулирующего кабеля можно заметить весьма любопытный момент. В технической документации, а порою и в сертификатах соответствия, данная температура производителями не указывается. Либо указывается -40 °C, что для проектов, расположенных в Сибири и районах крайнего севера совершенно не достаточно. У небольшого числа производителей минимальная температура окружающей среды составляет требуемую -55/-60 °C, но таблицы расчета максимальной длины обогреваемого контура составлены на минимальную температуру -40 °C. На этот момент следует обратить особое внимание при выборе производителя, модели саморегулирующегося греющего кабеля и подсистемы управления.

Техническая характеристика: *Окно мощности, т. е. отклонение выделяемой мощности от номинального значения, выраженное в %.*

Саморегулирующиеся кабели производятся с некоторым отклонением по мощности от номинального значения. Данный разброс может составлять до +/-30% от номинального значения. По понятным причинам многие производители не указывают данную техническую характеристику в своей документации. Для потребителя применение кабеля с широким окном мощности будет означать либо перерасход греющего кабеля на стадии проектирования, либо перерасход электроэнергии на стадии эксплуатации системы электрообогрева.

Влияние условий эксплуатации на стабильность саморегулирующихся кабелей.

Герметизация кабеля в процессе монтажа.

Как показали испытания, саморегулирующая матрица чувствительна к наличию влаги и к циклам «нагрев-охлаждение». При этих испытаниях образец кабеля 23ФСЛе2-СТ длиной 3 метра с одним не заделанным концом погружался в воду, а затем замораживался в камере холода до температуры -5 °С. Потеря мощности после каждого цикла замораживания составила 10%. Данный эксперимент показал насколько важно обеспечить надежную герметизацию концов саморегулирующей секции.

Влияние теплопроводности обогреваемых объектов на срок эксплуатации саморегулирующихся кабелей.

Результаты исследований показывают, что низкая теплопроводность пластикового трубопровода при обогреве саморегулирующимися кабелями весьма значительно влияет на тепловой режим нагревательного кабеля и самого трубопровода. При постоянной прокачке воды с температурой 8 °C. температура матрицы нагревательного кабеля, установленного на пластиковом трубопроводе, на 12,6 °C. превышает температуру матрицы такого же кабеля, обогревающего стальной трубопровод.

В случае остановки потока воды кабель, установленный на стальном трубопроводе, надежно обеспечивает поддержание требуемой температуры. Температура матрицы несколько повышается за счет ухудшившейся теплоотдачи, при этом наличие жидкости в трубопроводе или ее отсутствие практически не ощущается. Проведенные исследования показывают, что при построении систем обогрева пластиковых трубопроводов особое внимание следует уделить технологическому циклу функционирования трубопроводов. Если ожидаются длительные остановки прокачки жидкости, то необходимо провести расчет возможной потери мощности саморегулирующегося кабеля и принять меры, обеспечивающие улучшение теплопередачи от кабеля к трубе, например, за счет использования обмотки металлической фольгой и применения теплопроводящих паст, а возможно, предусмотреть установку более мощного кабеля. В период остановки прокачки жидкости по пластиковому трубопроводу должен быть усилен контроль за температурным режимом. Данные мероприятия следует проводить для снижения температуры рабочей матрицы кабеля и ее преждевременной деградации.

Что означает деградация греющей матрицы кабеля? <u>Деградация означает снижение</u> <u>тепловыделяющей способности (падение мощности)</u> греющего кабеля. <u>Кабель с дефектами</u> <u>греющей матрицы может частично (или полностью)</u> терять тепловыделяющие свойства на некоторых участках кабеля, т.е некоторые участки кабеля будут выделять тепло (нагреваться), а некоторые нет. В таком случае система обогрева будет работать с падением проектной мощности,

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 10 из 16



<u>что может привести, в худшем случае, либо к перемерзанию обогреваемого оборудования, либо к существенному перерасходу электроэнергии.</u>

Надежность кабельных нагревательных элементов.

В основном, на вопрос о надежности саморегулирующих греющих кабелях продавцы и производители заявляют следующее:

- Наша продукция производится на самом современном оборудовании, при строгом контроле качества.
- Некоторые из наших кабелей эксплуатируются без замечаний десятки лет на тех-то и тех-то объектах.

Достаточно ли для потребителя данной информации?

Рассмотрим более подробно вопросы обеспечения надежности кабельных нагревательных элементов. Надежность кабелей определяется их способностью выполнять свои функции в заданных условиях в течение заданного времени. Основная задача конкретного кабельного изделия определяется его назначением и конструкцией. Нагревательные кабели предназначены для выделения теплового потока заданной удельной мощности. Потеря работоспособности у кабелей наступает при каких-либо отказах. Типичными видами отказов нагревательных кабелей являются: обрыв токопроводящих элементов, нарушение целостности изоляции и защитных покровов, возрастание сопротивления проводников выше предельно допустимых норм, деградация греющий полупроводящей матрицы и соответствующее снижение тепловыделяющей способности.

Принимая во внимание, что снижение тепловыделяющей способности - это основополагающий дефект нагревательного кабеля, влияющий на работу системы электрообогрева, рассмотрим следующий показатель надежности нагревательных кабелей - минимальная наработка.

Минимальная наработка.

В приложении к кабелям это понятие подразумевает период времени, в течение которого в кабельном изделии не должно быть отказов. При этом вероятность случайных отказов крайне мала и они вызваны конструкторско-технологическими недоработками или нарушениями условий эксплуатации. Показатель минимальной наработки рекомендуется устанавливать в виде одного из значений стандартизованного ряда: минимально 500 часов и максимально более 150 000 часов. Допускается устанавливать наработку в виде числа циклов - например, циклов включения – выключения.

<u>Для саморегулирующегося кабеля число циклов включения – выключения весьма важный</u> фактор, определяющий старение полупроводящей греющий матрицы.

При разработке новых кабельных изделий для оценки их надежности принято проводить прямые испытания на надежность с целью подтверждения минимальной наработки длительностью 1000 часов. Отобранные для испытаний образцы подвергают воздействию повторяющихся испытательных циклов. Последовательность воздействий в каждом испытательном цикле и количество циклов должны быть определены в программе испытаний. Количество испытываемых образцов, необходимое для подтверждения вероятности безотказной работы изделия на уровне 0,9 при достоверности 0,9 составляет 22 образца. При такой постановке испытаний предполагаемое число отказов (так называемое приемочное число) должно быть равно нулю. При допущении одного отказа требуется выборку увеличить до 37 образцов. Испытания для получения большей вероятности безотказной работы требуют значительного увеличения числа образцов, а следовательно больших затрат. Подтверждение наработки большей, чем 1000 часов, существенно увеличивает трудоемкость испытаний.

Для подтверждения наработки 1000 часов рекомендуется запрашивать у производителя нагревательных кабелей результаты проведения испытаний для подтверждения указанного выше показателя надежности.

Обманчивая иллюзия абсолютной надежности кабельных изделий снижает внимание потребителей к таким вопросам как облегчение режимов работы и постоянный мониторинг основных параметров в процессе ведения технологического процесса. Основная доля отказов кабельных изделий возникает при эксплуатации изделий в недопустимых режимах, из-за

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 11 из 16

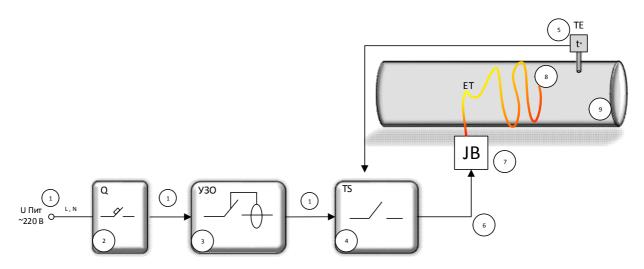
недопустимых воздействий, имевших место при монтаже, либо при наличии производственных дефектов. Технологическая надежность, определяемая однородностью характеристик изделия и стабильностью технологических процессов, не учитывает динамики изменения характеристик нагревательных элементов и других составляющих систем обогрева с течением времени. При достаточно интенсивном нагреве кабелей и одновременном воздействии внешней среды (температура, влага, вибрации и удары и др.) происходит старение полимерных покрытий, окисляются проводники. Периодически следующие циклы нагрева и охлаждения в процессе эксплуатации могут вызывать нежелательные механические напряжения и деградацию нагревательной матрицы в нагревательных саморегулирующихся кабелях.

Подсистемы контроля и управления.

Практически все системы электрообогрева, кроме самых примитивных, оснащаются набором датчиков температуры, тока, напряжения, управляющими приборами и системами сбора информации. Назначение подсистем управления (далее по тексту системы управления) — не только поддерживать заданный алгоритм работы системы, но и предоставлять обслуживающему персоналу информацию о ее функционировании.

Рассматривая имеющиеся в настоящее время системы управления электрообогревном, можно прийти к парадоксальному выводу: предприятия-заказчики используют в качестве систем управления технологическим процессом самые современные системы от ведущих производителей, а в качестве систем управления электрообогревом используются самые примитивные системы на основе простейших капиллярных термостатов. Однако, в случае взрывозащищенного исполнения, капиллярные термостаты предлагаются производителями за весьма существенные деньги.

Рассмотрим типичную схему управления цепью нагрева на основе саморегулирующегося греющего кабеля с применением капиллярного термостата.



Элементы структурной схемы:

- 1. Линия электропитания.
- 2. Автоматический выключатель (защита от перегрузок по току и тока короткого замыкания).
- 3. Устройство защитного отключения/устройство дифференциального тока (УЗО).
- 4. Термостат.
- 5. Чувствительный элемент термостата/датчик температуры.
- 6. Кабель питания нагревательной секции.
- 7. Соединительная коробка.
- 8. Нагревательный кабель.
- 9. Обогреваемый трубопровод.

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 12 из 16



Недостатки системы управления электрообогревом на основе саморегулирующихся греющих кабелей с применением капиллярных термостатов:

- Необходимость установки дополнительных дорогостоящих устройств УЗО.
- Отсутствие мониторинга и выявления тенденций роста величины тока утечки на землю в процессе эксплуатации. <u>Факт выхода из строя нагревательного кабеля в зимний период существенно усложнит проведение ремонтных работ и вызовет сбои в работе технологического оборудования.</u>
- Отсутствие контроля перегрева обогреваемой технологической поверхности в процессе ведения технологического процесса при котором температура может превысить максимальное значение для данного типа саморегурирующегося нагревательного кабеля, <u>что приведет к преждевременному выходу кабеля из строя</u>.
- Отсутствие контроля недогрева обогреваемой поверхности в процессе ведения технологического процесса при котором температура может снизиться ниже допустимого значения для данного технологического процесса. Не нужно путать данную температуру с температурой включения нагревательного элемента.
 - Отсутствие контроля минимального значения тока потребления нагревательной секции.
 - Отсутствие контроля максимального значения тока потребления нагревательной секции.
- Отсутствие функции ограничения пускового тока, т.е. ступенчатой подачи питающего напряжения на саморегулирующийся кабель, находящийся при низкой температуре для ограничения величины пускового тока.
- Отсутствие функции мониторинга основных параметров работы нагревательного кабеля в период летнего отключения системы электрообогрева.
- Отсутствие функции мониторинга затрат электроэнергии на работу системы электрообогрева для определения эффективности ее работы в рамках программы энергосбережения предприятия.

Вывод:

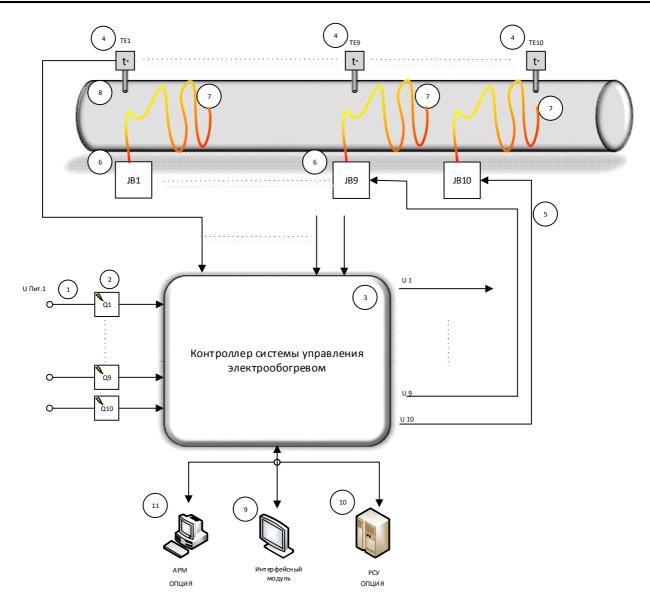
Системы управления электрообогревом на основе саморегулирующегося греющего кабеля с применением капиллярных термостатов могут применяться на неответственных участках с небольшим количеством нагревательных секций и малопригодны для контроля и мониторинга электрообогрева основных технологических объектов нефтегазовой отрасли.

Учитывая вышеизложенную информацию об особенностях конструкции и эксплуатации саморегулирующихся греющих кабелей, можно сделать ввод о необходимости применения в качестве систем управления электрообогревом специализированных систем. Поскольку затраты на устранение неполадок, ремонт и замену нагревательных секций, издержки от простоя увеличиваются с размером промышленного объекта, вышеуказанные системы могут быть рекомендованы к применению в процессе нового строительства или могут быть добавлены в течении последующей эксплуатации.

В качестве примера рассмотрим структурную схему управления системой электрообогрева на основе саморегулирующегося греющего кабеля с применением специализированных контроллеров.

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 13 из 16



Элементы структурной схемы:

- 1. Линия электропитания.
- 2. Автоматический выключатель (защита от перегрузок по току и тока короткого замыкания).
- 3. Контроллер, рассчитанный для управления 10-ю цепями нагрева.
- 4. Датчики температуры.
- 5. Кабель питания нагревательной секции.
- 6. Соединительная коробка.
- 7. Нагревательный кабель.
- 8. Обогреваемый трубопровод.
- 9. Интерфейсный модуль.
- 10. Распределенная система управления технологическим процессом (РСУ).
- 11. Автоматизированное рабочее место (АРМ).

Преимущества системы управления электрообогревом с применением специализированных контроллеров:

- Отсутствие необходимости в установки дополнительных дорогостоящих устройств УЗО. Дело в том, что специализированные контроллеры управления работой систем обогрева имеют в своем составе интегрированные цепи контроля дифференциального тока и позволяют производить отключение цепи питания линии нагревательной секции при превышении допустимого значения тока утечки на землю, например 30 мА. При средней стоимости блоков УЗО на 40 Ампер в размере

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 14 из 16



<u>10 000 рублей выгода от применения специализированных котроллеров в следствии экономии средств только на покупку УЗО, при числе каналов обогрева 30 и более, составит весьма существенную цифру.</u>

- Возможность мониторинга и выявления тенденций роста величины тока утечки на землю в процессе эксплуатации. <u>Возможность прогнозирования ремонта потенциально ненадежных линий обогрева в период летнего остановочного ремонта.</u>
- Контроль различных уровней температуры с помощью одного датчика: сигнализация падения температуры обогреваемого объекта ниже критической, температура включения нагревателя, максимальная температура обогреваемой технологической поверхности в процессе ведения технологического процесса при котором температура может превысить максимальное значение для данного типа саморегурирующегося нагревательного кабеля, что приведет к преждевременному выходу кабеля из строя.
- Контроль минимального значения тока потребления нагревательной секции. Контроль данного значение позволяет потребителю оценить эффективность работы нагревательного кабеля (отдельные участки нагревательного кабеля могут иметь деградированную нагревательную матрицу) и выявить потенциально малоэффективные нагреватели и, соответственно, спрогнозировать проведение ремонтных работ и исключить лишние затраты на электроэнергию.
- Контроль максимального значения тока потребления нагревательной секции. Возможность прогнозирования ремонта потенциально ненадежных линий обогрева в период летнего остановочного ремонта. <u>Факт выхода из строя нагревательного кабеля в зимний период существенно усложнит проведение ремонтных работ и вызовет сбои в работе технологического оборудования.</u>
- Функция ограничения пускового тока саморегулирующегося кабеля, находящийся при низкой температуре. Данная функция позволит потребителю:
 - <u>Снизить</u> проектные требования к величине рабочего тока для автоматических защитных выключателей цепей электропитания каналов нагрева и, соответственно стоимость, данных материалов. К примеру, стоимость автоматического защитного выключателя на 40 Ампер практически на 40% процентов выше, чем стоимость аналогичного выключателя на 20 Ампер.
 - Увеличить максимальную длину нагревательной секции, тем самым сократить количество улектроустановочных изделий и стоимость монтажных работ.
 - Снизить проектные требования к величине рабочего тока для кабельных линий электропитания каналов нагрева и, соответственно стоимость, данных материалов и трудоемкость строительно-монтажных работ. К примеру, стоимость погонного метра кабеля (применяемого в качестве кабеля для электропитания нагревательной секции) сечением 6 квадратных миллиметров более чем на 40% выше, чем стоимость аналогичного кабеля сечением 4 квадратных миллиметра, а стоимость погонного метра кабеля сечением 10 квадратных миллиметров уже в два раза выше, чем сечением 4 квадратных миллиметра. Учитывая значительное количество кабельных линий электропитания, применяемых в каждом проекте системы электрообогрева суммарная экономия на кабельной продукции и ее монтаже может составить весьма внушительную сумму.
 - Снизить пиковые токовые нагрузки на энергосистему предприятия.
- Функция пропорционального регулирования температуры обогреваемой поверхности. Данная функция позволяет минимизировать число циклов включение/выключения питания нагревательной секции и тем самым продлить срок службы нагревательной матрицы саморегулирующегося греющего кабеля.
- Функция мониторинга состояния кабельных нагревательных линий временно выведенных из эксплуатации или отключенных на летний период. Специализированные контроллеры обеспечивают автоматическое периодическое включение каждой нагревательной секции для контроля основных параметров. Потребителю не придется столкнуться с ситуацией, когда во время включения системы электрообогрева в осенний период некоторые каналы обогрева окажутся в неработоспособном состоянии.
- Функция ограничения/плавного регулирования потребляемой мощности, устанавливаемая оператором, для каждого канала нагрева.

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 15 из 16



- Функция учета затрат на электроэнергию, потребляемую системой электрообогрева для контроля эффективности работы системы в рамках программы энергосбережения предприятия.
- Программирование основных параметров каналов нагрева удаленно, в зависимости от условий проекта: с панели управления, размещенной на технологической площадке; с автоматизированного рабочего места (АРМ), размещенного в помещении управления технологическим процессом.
- Возможность визуализации и управления системой электрообогрева с применением имеющийся в наличии у потребителя распределенной системы управления технологическим процессом (РСУ).

Основные выводы и рекомендации по результатам рассмотренной информации.

Саморегулирующийся греющий кабель.

При выборе саморегулирующегося греющего кабеля следует обращать внимание на следующие моменты:

- Минимальное окно мощности. Минимальный разброс данного параметра при выборе модели и производителя позволит снизить затраты на кабельную продукцию.
- Использовать нагревательный кабель с большим сечением токоведущей жилы, что позволит использовать греющие секции большей длины и снизить затраты на вспомогательные электроустановочные изделия и их монтаж.
- У производителя греющего кабеля рекомендуется запрашивать: опыт применения, информацию о минимальной наработке на отказ, протоколы испытаний.

Применение греющего кабеля должного качества позволит существенно продлить срок службы системы электрообогрева, минимизировать затраты на внеплановый ремонт, снизить риски аварийного простоя технологического оборудования, вызванного отказами системы электрообогрева, существенно снизить затраты на электроэнергию, потребляемую системой электрообогрева.

Подсистема управления системой электрообогрева на основе саморегулирующихся кабелей.

Для контроля и мониторинга электрообогрева основных технологических объектов нефтегазовой отрасли рекомендуется применять подсистемы управления с применением специализированных контроллеров. Данные системы управления позволят эксплуатирующей организации:

- Снизить единовременные затраты на проектные материалы: автоматы защиты, УЗО, кабельные линии питания нагревательных секций.
 - Продлить срок эксплуатации системы электрообогрева.
 - Снизить риски и убытки от внеплановых остановов технологического оборудования.
- Оптимизировать работу персонала, ответственного за эксплуатацию и техническое обслуживание системы электрообогрева.

Используемая литература.

- Струпинский М.Л. Проектирование и эксплуатация систем электрического обогрева в нефтегазовой отрасли: справочная книга / М.Л. Струпинский, Н.Н. Хренков, А.Б. Кувалдин. М.: Инфра-Инженерия, 2015. 272 с.
- Презентация компании Pentair Thermal Management.

Саморегулирующиеся греющие кабели.

стр. 16 из 16