



Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

Стр. 1 из 14



Термальная жидкость



Электрообогрев



Пар

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	2
МЕТОДЫ ОБОГРЕВА И ИСТОРИЯ ЕГО РАЗВИТИЯ	2, 3
ОБЗОР: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕРМОЖИДКОСТНЫЕ СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА	3
ОБЗОР: СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА	4
ОБЗОР: СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПАРОВОГО ОБОГРЕВА	5-7
ОБЗОР: СОПУТСТВУЮЩИЙ ПАР	7
НЕКОТОРЫЕ БАЗОВЫЕ СРАВНЕНИЯ	8
ПРЕИМУЩЕСТВА ОБОГРЕВА ТЕРМАЛЬНЫМИ ЖИДКОСТЯМИ	8
НЕДОСТАТКИ ОБОГРЕВА ТЕРМАЛЬНЫМИ ЖИДКОСТЯМИ	8
ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРООБОГРЕВА	9
НЕДОСТАТКИ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА	9
ПРЕИМУЩЕСТВА ПАРОВОБОГРЕВА	9-10
НЕДОСТАТКИ ПАРОВОБОГРЕВА	10-11
АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА:	11-14
1. Применение для конкретного случая	11
2. Функциональные показатели систем обогрева	12
3. Энергетические показатели системы обогрева/труба	12
• Система изоляции	12
• Контроль температуры обогрева	12
• Источник тепла	12, 13
4. Стоимость установки системы обогрева	13
• Сложность системы трубопроводов	13
• Контроль и регулирование температуры	13
• Классификация зон	13
ИТОГИ	14
Примечания и справочные материалы	14

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ



ТЕРМОН . . . Ваши специалисты по электрообогреву®

www.thermon.com Форма PAF0036R-0803 © Thermon Manufacturing Co. Представленная здесь информация может быть изменена без предупреждения.



Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

Стр. 2 из 14

ВВЕДЕНИЕ

При выборе системы обогрева для трубопроводов предприятия и оборудования важную роль играет сравнительная стоимость различных систем обогрева при условии, что все системы способны обеспечить требуемые эксплуатационные показатели. Однако на сегодняшний день долгосрочные показатели энергоэффективности и снижение выбросов углекислого газа могут стать важнейшим критерием в вопросе выбора оборудования на предприятии, в том числе систем электрообогрева. Энергосбережение и снижение выбросов парниковых газов (ПГ) неразрывно связаны друг с другом. По мере роста энергопотребления выбросы парниковых газов так же растут. В настоящее время большинство стран обозначили свои цели по снижению энергопотребления и выбросов ПГ. В США в результате общих усилий, направленных на сокращение энергопотребления и выбросов парниковых газов, сформировалось партнерство между Министерством энергетики США (Department of Energy, DOE) и Офисом по промышленным технологиям (Office of Industrial Technology, OIT), с одной стороны, и промышленными предприятиями США, с другой стороны. Основными задачами партнерства стали три важнейшие цели: (1) снижение потребления сырья и невозобновляемых источников энергии на единицу готовой продукции, (2) повышение производительности труда и эффективности использования капитала и (3) снижение объемов вырабатываемых отходов и загрязняющих веществ.¹

Потребители промышленного пара вносят свой вклад в огромные объемы отходов многих стран. Согласно предварительным оценкам, в одних только США за счет программ повышения энергоэффективности в промышленных паровых системах можно сберечь около 2,8 трлн. БТЕ энергии.²

Пар используется на большинстве промышленных установок. С его помощью приводятся в действие турбины, вращающие электрогенераторы, а также насосы и прочее оборудование. Пар также используется для передачи тепла в теплообменниках и реакторах.

При рассмотрении вопросов, касающихся возможных путей снижения энергопотребления на предприятии, системы электрообогрева зачастую не рассматриваются. Однако если принять во внимание длину теплоспутников, устанавливаемых на стандартном нефтеперерабатывающем заводе или химическом комплексе, можно увидеть огромный потенциал снижения энергопотребления и выбросов углекислого газа.³

При рассмотрении систем обогрева зачастую возникает вопрос: "Какая система обогрева наиболее экономична — паровая, электрическая или терможидкостная?" В 1977 году М. А. Люк (M.A. Luke) и К. К. Мизерлс (C.C. Miserles) в своей статье сделали следующее утверждение, которое справедливо и по сей день:

"Определенного ответа по проблеме выбора системы обогрева не существует. Следование рекомендациям, которые основаны только на усредненных или допускаемых показателях в промышленности, скорее приведет к неправильным выводам в отношении конкретной ситуации. Полагаясь на прошлые аналитические выводы и пытаясь найти новые решения, мы можем не заметить последние разработки или меняющиеся факторы. Пренебрежение решающими факторами, такими как способность оперативного и ремонтного персонала изучить и нормально эксплуатировать систему, может привести к катастрофе."⁴

Как и предсказывали авторы высказывания, после выхода их статьи в свет в 1977 году были реализованы многочисленные важные разработки в области технологии обогрева.

МЕТОДЫ ЭЛЕКТРООБГРЕВА

История

С начала прошлого века основным способом поддержания температуры нефтяных отходов, гудронов и воска в трубопроводах и прочем промышленном оборудовании нефтяной и химической промышленности был паровой обогрев. Если требовалось обеспечить более высокую температуру, чем ее мог обеспечить паровой обогрев, часто применялся жидкостный обогрев на минеральном масле. Минеральные масла можно было применять для поддержания температуры до 316 °C (600 °F). Для такой температуры насыщенный пар необходимо поддерживать под давлением 107,0 бар ман. (1549 фунт/кв. дюйм ман.).⁵

После Второй мировой войны получили развитие нефтяная и химическая промышленности; стали появляться новые продукты в ответ на потребности общества, которое только восстанавливалось после Великой депрессии. Многие сырьевые материалы для обеспечения качества конечных продуктов необходимо было хранить при температурах в узком диапазоне ниже 66 °C (150 °F). Для выполнения этих требований "простого" парового обогрева уже было недостаточно. В начале 1950-х годов были созданы теплопроводные смеси, однако они предназначались для повышения, а не для снижения скорости теплообмена в пароспутниках. Зачастую изменение температуры окружающей среды было слишком большим, что не давало возможности должным образом регулировать температуру с помощью неизолированных систем парового обогрева. Для снижения количества теплоты, передаваемой неизолированным спутником после достижения паром заданного давления и температуры на минимальном уровне, были испробованы различные методы. Один из таких методов — подвешивание спутника над трубой и установка разделительных блоков для обеспечения воздушного зазора между трубой и спутником. Такая система была весьма неудобной. Во время сборки системы

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ



ТЕРМОН . . . Ваши специалисты по электрообогреву®

www.thermon.com



Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

блоки сдвигались, и приходилось прилагать большие усилия, чтобы удерживать их на месте, поэтому на установку такой системы требовалось значительное время и трудозатраты. Во время работы спутника из-за естественного расширения и сжатия трубы спутника блоки часто смещались со своих мест. Система имела множество недостатков: непрогнозируемую скорость теплообмена, горячие участки трубы и высокие расходы на установку.

В этот период времени инженеры на предприятиях старались использовать жидкостные системы обогрева (гликоли и горячие масла) везде, где это возможно, благодаря простоте регулирования расхода жидкости для поддержания требуемой температуры. Но в таких системах из-за недостаточной герметичности соединений зачастую возникали утечки. В начале XX-го столетия появились также системы обогрева на базе электронагревателей, и некоторые типы таких систем были адаптированы для обогрева трубопроводов. Однако такие системы не получили большого распространения из-за частых случаев возгорания, которое возникало благодаря чрезмерной температуре оболочки у мощных систем. Фитинги и соединения также были слабым местом таких систем. В 1950-х годах инженеры начали проводить изыскания с целью создания более надежных систем электрообогрева, которые можно было бы сочетать с автоматическими методами регулирования температуры. В результате таких изысканий удалось достичь значительного прогресса, и к 1960-м годам электрообогрев начал уверенно завоевывать позиции в качестве альтернативы паровому и жидкостному обогреву на трубопроводах и оборудовании технологических установок.

Сегодня методы управления спутниками с жидкостными теплоносителями стали такими сложными, как никогда ранее. На рис. 1 приведен микропроцессорный контроллер (компании Sterling, www.sterlco.com) с непрерывной логикой, обладающий высокой точностью вычислений. Для систем с высокой и низкой температурами имеется большой выбор жидкостных теплоносителей. Существуют переносные и стационарные установки жидкостного обогрева и охлаждения. Для нагревательных установок используются электрические, паровые и топливные нагреватели для подъема температуры жидкого теплоносителя. В зависимости от типа нагревателя и схемы управления комплектные установки с термальной жидкостью могут быть оборудованы микропроцессорным управлением для надежной, безопасной и точной работы. Современные герметичные соединители труб позволяют избежать затратных и, в некоторых случаях, опасных утечек жидкости, что делает полужесткий трубопровод идеальным способом передачи тепла с жидкостным теплоносителем. Трубные фитинги можно приваривать вручную или автоматически при условии, что номинальное давление соответствует стандарту ANSI B31.1. Следует выполнить расчеты, если это необходимо. В полужестком

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ

ОБЗОР: СОВРЕМЕННЫЕ ТЕРМОЖИДКОСТНЫЕ СИСТЕМЫ

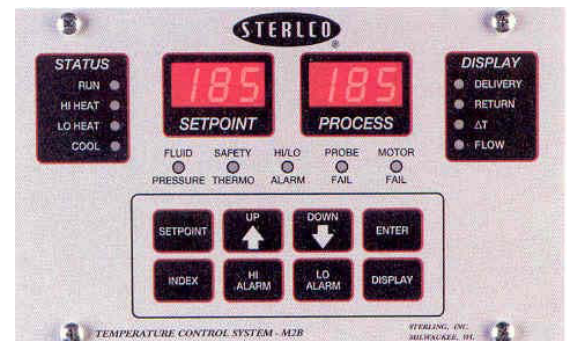


Рис. 1

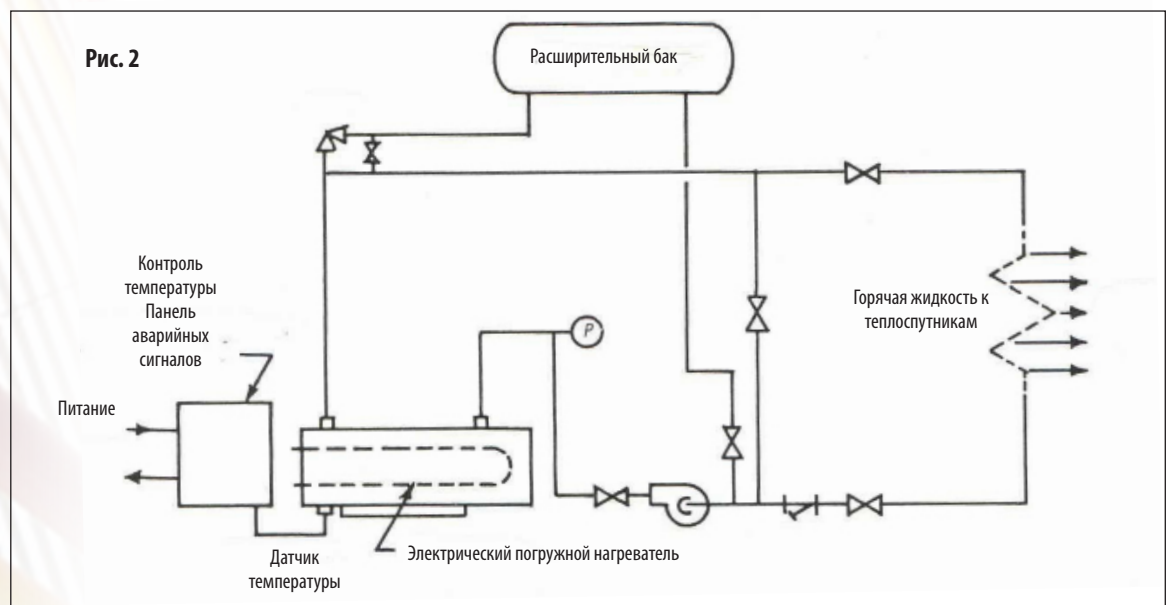


Рис. 2





Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

Стр. 4 из 14

трубопроводе легко выполняются колена и сгибы, либо отводы для клапанов и насосов. Спутники с теплопроводными смесями обеспечивают ровное распределение температуры по трубе даже в установках охлаждения. Помимо этого, теплоспутники позволяют использовать жидкости при низких температурах (в отличие от неизолированной теплоподачи) в установках обогрева, поскольку коэффициент теплопередачи в этом случае сильно увеличивается. На рис. 2 приведена типовая система жидкостного обогрева с парообогревом.

ОБЗОР: СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРООБГРЕВА

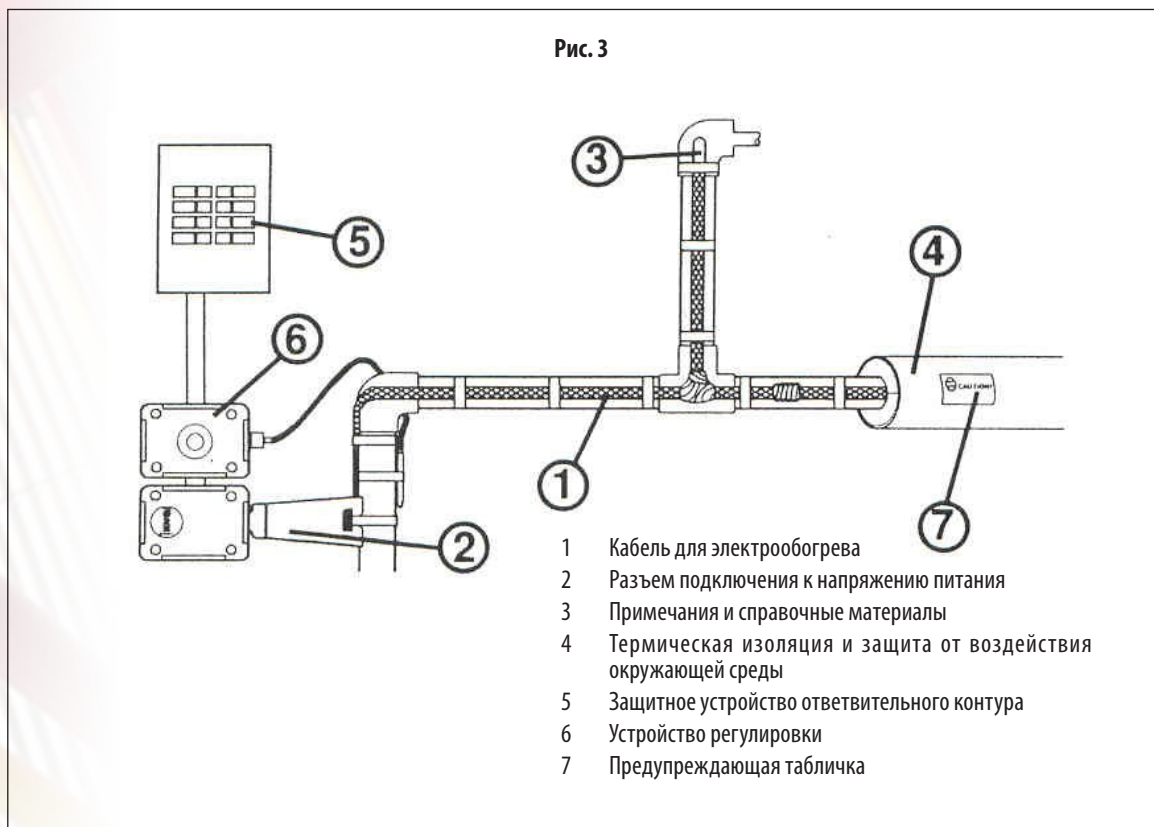
Современные системы электрообогрева характеризуются крайне низкой частотой отказов по сравнению с системами электрообогрева на базе электрического сопротивления, устанавливаемых в прошлом. Это объясняется более совершенной технологией и требованиями промышленных стандартов, которые все поставщики данного сегмента рынка обязаны соблюдать. Система управления на базе микропроцессоров способна поддерживать температуру трубы с весьма высокой точностью. Самые современные высокотемпературные полимеры и способы обработки обусловили появление новых и усовершенствованных гибких нагревательных кабелей с саморегулированием и ограничением по мощности. Эти гибкие нагреватели применяются для поддержания температуры трубы в диапазоне приблизительно 149 °C (300 °F) в тех установках, на которых в прошлом использовались паровые, терможидкостные



Рис. 4

Блоки управления и регулирования на базе микропроцессоров для систем электрообогрева — диапазон регулирования, программируемый с шагом 1 градус.

и медные нагревательные кабели с минеральной изоляцией и оболочкой. Благодаря созданию высокотемпературных сплавов металлов появился способ повысить номинальную температуру поддержания современных полугибких электрических нагревательных кабелей с минеральной изоляцией вплоть до 500 °C (932 °F) с температурой воздействия до 593 °C (1100 °F). Типовая система электрообогрева и контроллер на базе микропроцессора приведены на рис. 3 и 4.



ТЕРМОН . . . Ваши специалисты по электрообогреву®

www.thermon.com

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ



Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

Стр. 5 из 14

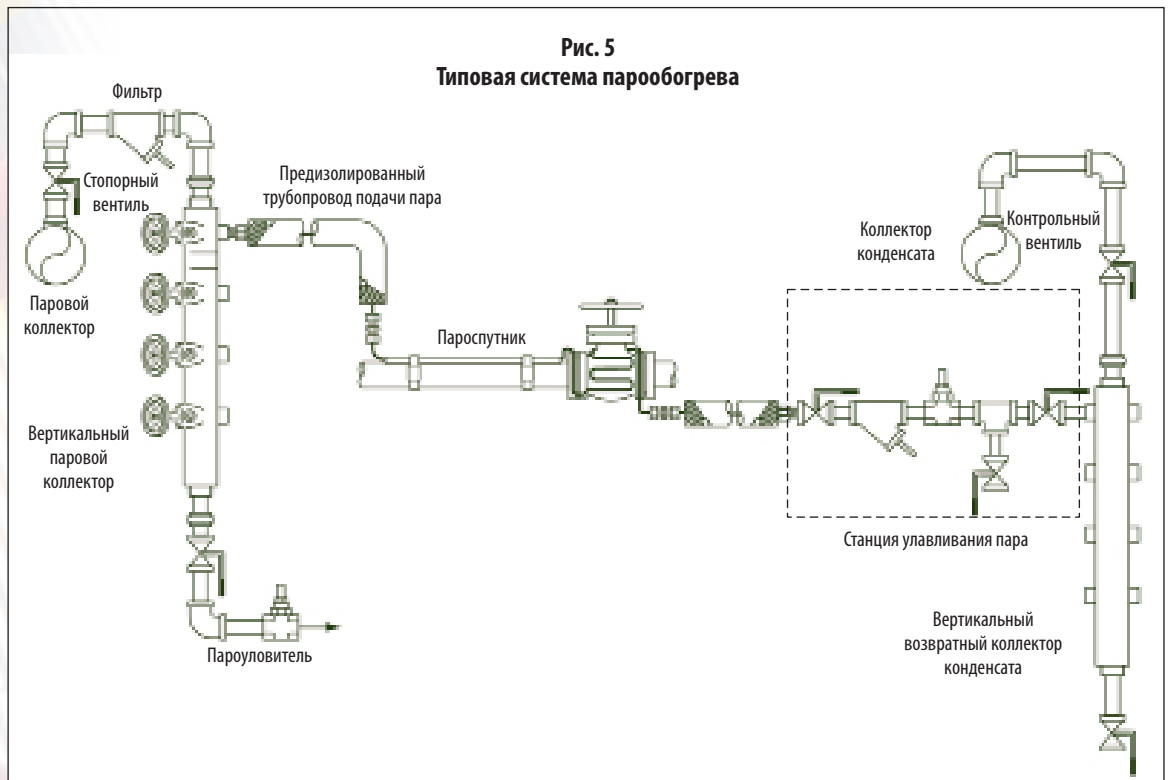
ОБЗОР:

СОВРЕМЕННЫЕ СИСТЕМЫ ПАРООБОГРЕВА

На сегодняшний день существует большое число способов парового обогрева. Разработаны новые пароспутники заводского исполнения, которые обладают широким диапазоном теплопередачи для регулирования низкой и высокой температуры, а также повышенной безопасностью. Эти спутники могут применяться в местах, где имеется пар под низким давлением, для нагрева таких материалов как едкий натр, смолы, кислоты и линии подачи воды. Эти материалы ранее нельзя было нагреть неизолированным пароспутником из-за чрезмерной теплоты, которая могла стать причиной коррозии, испарения и образования некондиционных продуктов. Изолированные спутники используются также для контроля температуры в системах с паром под высоким давлением. Это альтернатива установке редукционных клапанов. Для высокотемпературных установок пар может быть использован как среда передачи тепла в современных "проводящих" системах обогрева, где теплопроводная смесь устанавливается поверх спутника и покрывается стальной демонтируемой

оболочкой. Эта оболочка обеспечивает надежный и максимальный контакт с поверхностью трубопровода. Один проводящий спутник проводит столько же теплоты, сколько 3-6 неизолированных спутников, и может подавать теплоноситель с повышающейся температурой. На рис. 5 изображена типовая система парового обогрева. Большинство систем парового обогрева используются в системах без регулирования температуры, где не предусмотрено каких-либо способов контроля температуры кроме редукционных клапанов, как показано на рис. 6. Однако некоторые методы контроля все-таки имеются. На рис. 7 и 8 показаны дополнительные способы контроля трубопровода и регулирования по температуре окружающей среды. На рис. 9 показан способ контроля при помощи клапанов равновесного давления, которые удерживают конденсат; на рис. 10 показан изолированный пароспутник, который используется для снижения температуры трубопровода путем снижения скорости передачи тепла от спутника к трубе, в сравнении с обычным неизолированным спутником.

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ



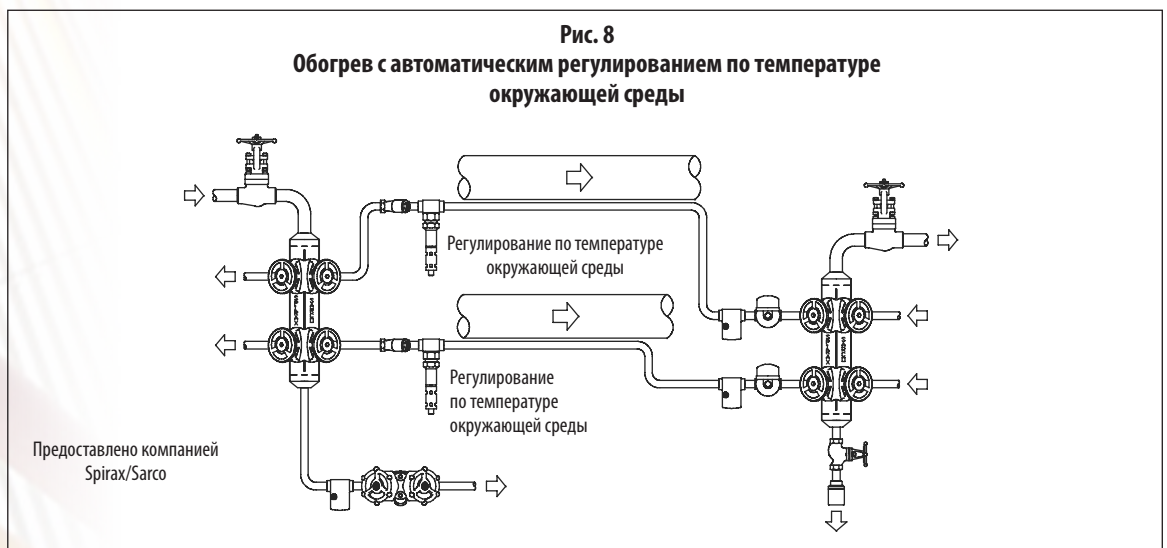
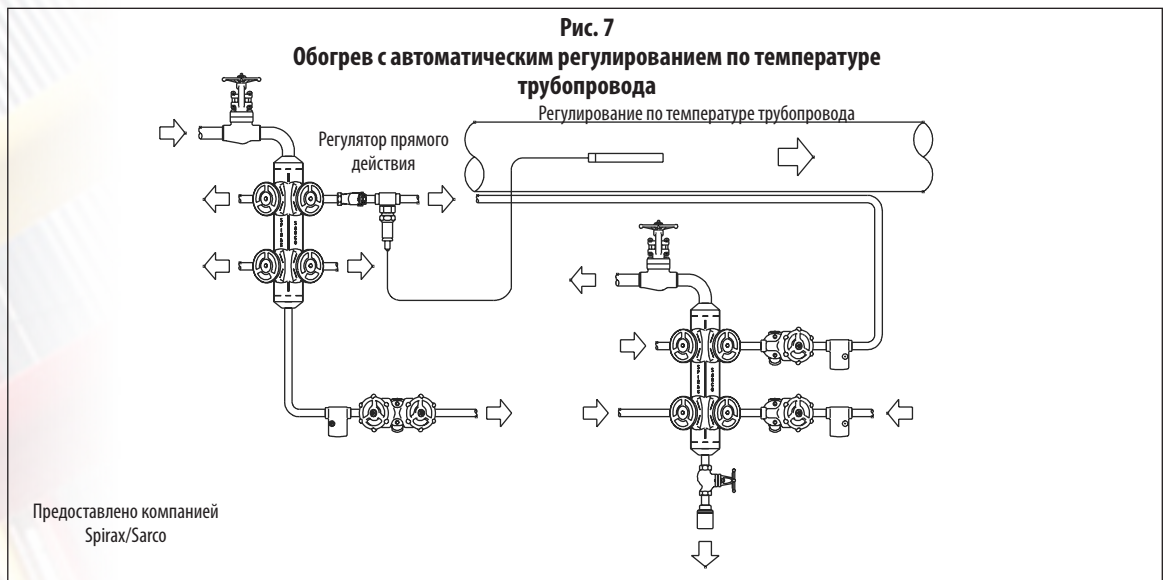
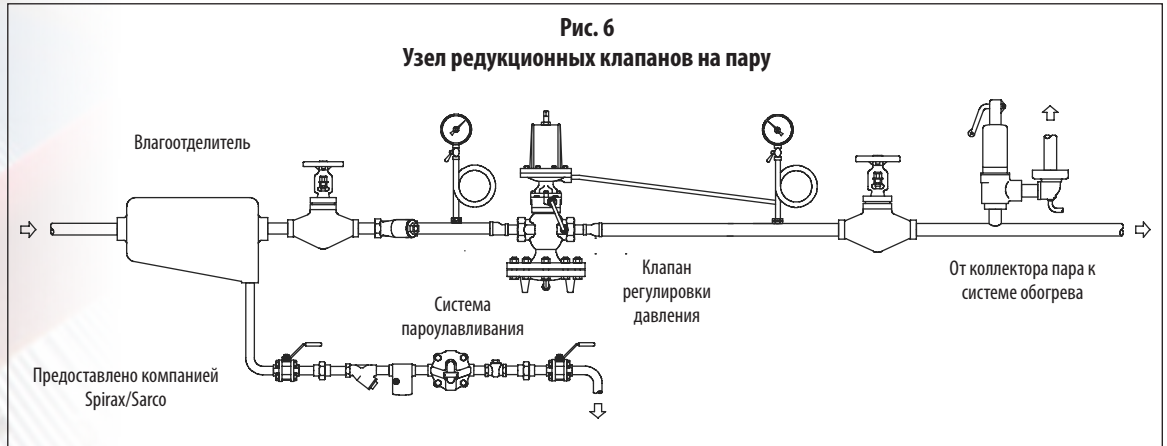
ТЕРМОН . . . Ваши специалисты по электрообогреву®

www.thermon.com



Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

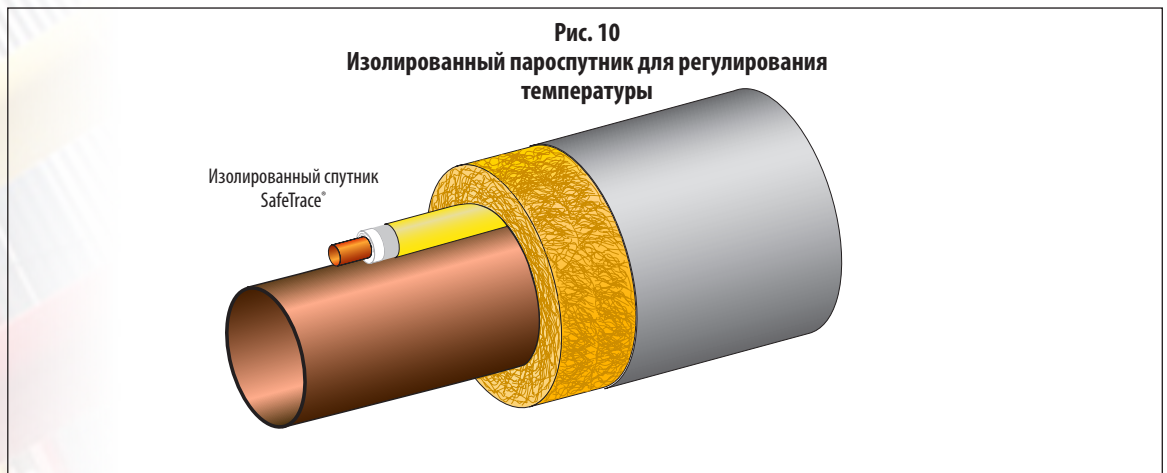
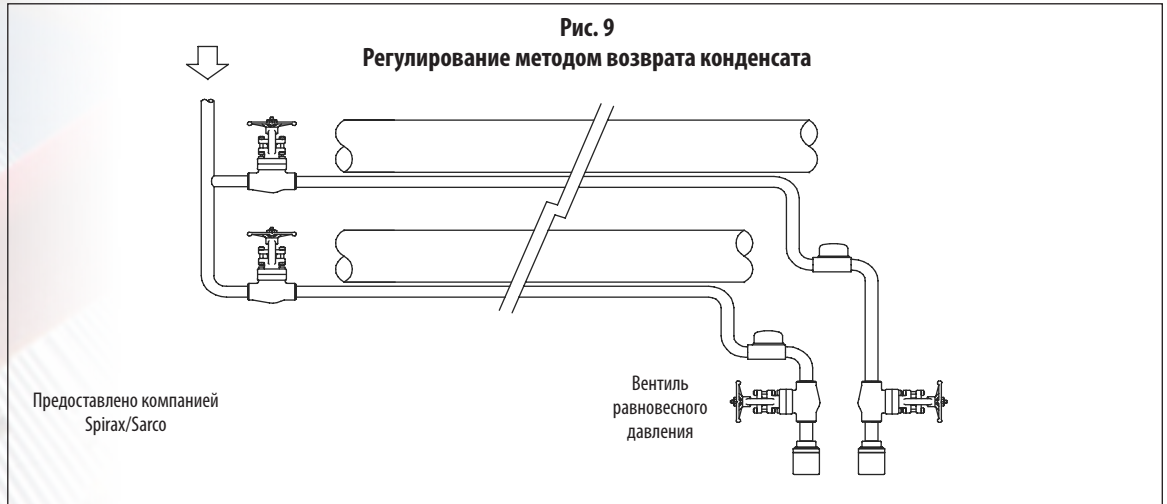
СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ





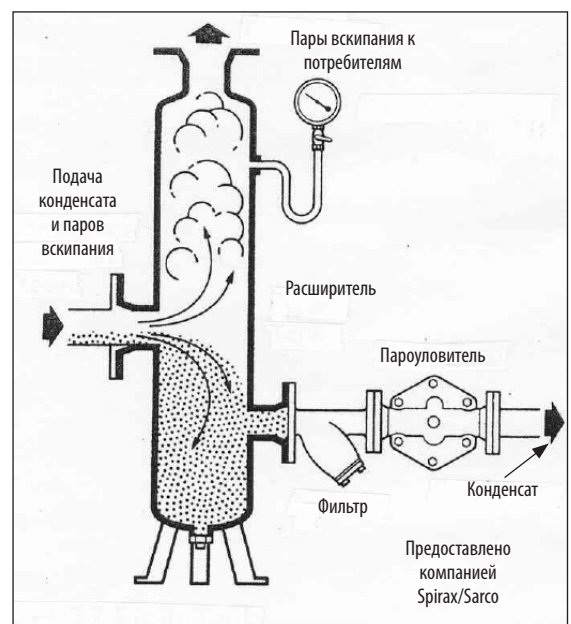
Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ



ОБЗОР: СОПУТСТВУЮЩИЙ ПАР

В контурах пароспутников часто могут применяться пары вскипания от горячего конденсата, пар, образующийся в котлах-утилизаторах, и пар в экзотермических процессах. Энергию от этих источников часто называют "сопутствующий (бесплатный) пар". Однако в испарительных емкостях (см. рис. 11), оборудовании для регенерации отходящего тепла и различных дополнительных устройствах необходимо регулировать и передавать этот пар. Такое оборудование и его сервисное обслуживание не бесплатны. Но для производства этого пара дополнительные объемы топлива не расходуются, поэтому такой пар считается дешевым источником энергии и называется "сопутствующий пар".





Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

Стр. 8 из 14

НЕКОТОРЫЕ БАЗОВЫЕ СРАВНЕНИЯ

Ниже представлены относительные преимущества и недостатки каждой системы в различных областях применения:

ПРЕИМУЩЕСТВА ОБОГРЕВА ТЕРМАЛЬНЫМИ ЖИДКОСТЯМИ

- На сегодняшний день существует множество термальных жидкостей, которые могут быть использованы в самых разных нагревательных и охлаждающих системах. Благодаря своей доступности, термической стабильности и теплофизическим свойствам в низко- и среднетемпературных системах обогрева часто используется ВОДА. В системах с диапазоном температур от 320 °C до 400 °C (608 °F до 752 °F) могут использоваться АРОМАТИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА; ЖИДКОСТИ НА СИЛИКОНОВОЙ ОСНОВЕ могут использоваться в системах с температурой до 400 °C (750 °F), а также в системах технологического охлаждения. В течение многих лет применялись УГЛЕВОДОРОДЫ, у которых, как правило, максимальная рабочая температура теплоносителя не превышает 321 °C (610 °F).⁶
- Обогрев термальными жидкостями можно назвать целесообразным решением для систем, где требуется достаточно точное регулирование температуры. В целом, теплопроводные смеси рекомендуют использовать как для обогрева, так и для охлаждения, поскольку эти вещества обладают более высоким коэффициентом теплопередачи и положительным контактом жидкостного спутника и нагреваемой (охлаждаемой) технологической линией. Более высокая скорость теплообмена и хороший контакт обеспечивают ровное распределение температуры по трубопроводу.
- Системы обогрева на термальных жидкостях могут быть рассчитаны на работу во взрывоопасных местах.
- Большинство термальных жидкостей менее подвержены замерзанию и менее часто являются причиной разрыва спутника и транспортировочного оборудования во время отключений по сравнению с конденсатом пароспутников при температуре окружающей среды ниже -29 °C (-20 °F).
- "Идеальная" термальная жидкость обладает следующими характеристиками:⁶
 - **Термическая стабильность:** жидкость не должна значительно менять свой химический состав после нескольких циклов нагрева и охлаждения.
 - **Искробезопасность:** жидкость должна быть относительно пожаро- и взрывобезопасной в нормальных условиях работы. Во время выбора жидкости для работы следует учитывать такие ее свойства, как температура вспышки и температура возгорания. Большинство термальных

жидкостей можно эксплуатировать при температурах выше этих значений, поскольку объемы их утечек, как правило, небольшие, что значительно снижает риск попадания искр на жидкость. Ввиду опасности взрыва паров жидкости вблизи утечек термальную жидкость запрещается эксплуатировать при температуре выше точки кипения при атмосферном давлении.

- **Химическая безопасность:** аварийные разливы жидкости не должны представлять опасности для эксплуатационного персонала.
- **Низкая вязкость при температуре окружающей среды:** в системах с жидкостями с высокой вязкостью сложнее выполнять "холодный" запуск.
- **Низкое давление пара при рабочей температуре:** низкое давление пара позволяет отказаться от нагнетания давления во всей системе для предотвращения кавитации в насосе.
- **Подходящие физические свойства:** коэффициент передачи тепла прямо пропорционален удельной теплоемкости (C_p), плотности (ρ) и теплопроводности (k), и обратно пропорционален вязкости (μ).

НЕДОСТАТКИ ОБОГРЕВА ТЕРМАЛЬНЫМИ ЖИДКОСТЯМИ

- Как правило, термальные жидкости характеризуются низкой теплоемкостью, особенно в сравнении с паром. По количеству передаваемого тепла несколько жидкостных спутников соответствуют одной системе паром обогрева.
- Для обеспечения нужной передачи тепла для системы обогрева термальной жидкостью может потребоваться несколько тепловых контуров. Блоки подачи жидкости состоят из расширительного бака, который предоставляет необходимый объем для расширения жидкости, и определенного кавитационного запаса насоса, циркуляционного насоса для поддержания потока жидкости в контуре, нагревателя для нагрева жидкости до необходимой температуры и подогрева ее на возвратных трубах от спутников, а также устройств регулирования для поддержания необходимой температуры термальной жидкости и технологической линии.
- Требования по расходу в системах обогрева термальными жидкостями налагают ограничения на длину обогревательных контуров по сравнению с паровой и электрической системой обогрева.
- Влияние, которое оказывают возможные утечки и разливы на окружающую среду, следует принимать в расчет на любой системе обогрева на термальных жидкостях. При высоких температурах и при наличии утечек в системе жидкости на

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ



ТЕРМОН . . . Ваши специалисты по электрообогреву®

www.thermon.com



Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

Стр. 9 из 14

основе углеводородов могут стать летучими.

- Поскольку некоторые жидкости весьма дороги, следует учесть первоначальную стоимость жидкости и расходы на ее замену.

ПРЕИМУЩЕСТВА ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

- У большинства промышленных предприятий есть источник электропитания.
- Для поддержания температуры технологических линий и подключенного к ним оборудования могут применяться самые разные типы и методы электрообогрева. За счет выбора нагревателя и выбора расчетных параметров, таких как напряжение питания, теплоотдачу от систем электрообогрева можно настраивать на работу различных систем — от систем защиты от замерзания до крайне высоких температур поддержания в технологических процессах до 500 °C (932 °F).
- Трубы малой длины и длинные трубопроводы, длиной до 25 километров (15 миль) могут обогреваться при помощи различных типов нагревательных кабелей и нагревательных систем на основе скин-эффекта.
- Для неметаллических труб, труб с внутренним покрытием и технологического оборудования рекомендуется устанавливать электрообогрев ввиду возможности обеспечить низкую теплоотдачу.
- Электрообогрев часто рекомендуют устанавливать в системах обогрева термочувствительных продуктов, у которых необходимо поддерживать температуру в узком диапазоне. Данный тип систем обогрева легко можно оснастить устройствами регулирования температуры с целью точного регулирования температуры, поддержания ее в указанных границах и экономии энергии.
- Поскольку в системах электрообогрева отсутствует жидкость, в ней нет фитингов и коллекторов, в которых могут происходить потери энергии и которые требуют периодического обслуживания. Благодаря этому установка систем становится более простой, а стоимость эксплуатации и технического обслуживания снижается.
- На протяжении своей истории электрообогрев зарекомендовал себя как безопасный способ обогрева технологических линий и оборудования. Строгие промышленные стандарты и аудит систем уполномоченными организациями обеспечивают использование систем по назначению.

НЕДОСТАТКИ ЭЛЕКТРООБОГРЕВА

- В системах поддержания температуры электрообогрев зачастую обеспечивает слишком медленный прогрев труб, необходимый для возобновления потока жидкостей после аварийного отключения или плановых ремонтов на предприятии.

- Как было сказано ранее, электрообогрев можно применять для безопасной работы во взрывоопасных зонах; он показал себя с наилучшей стороны при работе в таких условиях. Однако системы электрообогрева создают опасность искробразования, что может привести к возгоранию и взрыву во всех местах вокруг спутника, где имеются горючие вещества.

- Стоимость электроэнергии для обогрева в расчете на 1 БТЕ может значительно превышать стоимость пара. Особенно это может быть заметно в тех установках, где имеются пары вскипания или пар от экзотермических процессов. Если на заводе (установке) предусмотрены технические средства для совместного производства тепла и электроэнергии, разница в стоимости производства электроэнергии и пара по-прежнему будет иметь место, но она будет намного ниже.

ПРЕИМУЩЕСТВА ПАРООБОГРЕВА

- Часто паробогрев выбирают для эксплуатации на тех установках, где пар является побочным продуктом конденсации (пар вскипания) или экзотермических процессов. В таких случаях расходы на электрообогрев будут значительно превышать стоимость пара. Пар от таких источников зачастую (неверно) считается "бесплатным", но, как было сказано выше, для него неизбежны некоторые расходы по передаче до потребителей, хотя дополнительное топливо и не расходуется.
- Пар — идеальное решение для прогрева, поскольку максимальная скорость теплообмена имеет место тогда, когда разность температур пароспутника и более холодной трубы или оборудования максимальна. Во время прогрева из-за большой разности температур холодной трубы (оборудования) и пароспутника пар конденсируется очень быстро и высвобождает большое количество скрытой тепловой энергии. По мере прогрева технологического оборудования постепенное снижение разности температур обуславливает соответствующее снижение скорости образования конденсата, которое имеет место до тех пор, пока не будет достигнуто равновесное состояние. Большое количество скрытой теплоты в паре делает его идеальным теплоносителем для прогрева оборудования после плановых ремонтов на установках или после аварийного отключения. Надлежащая работа тех линий трубопровода, которые подсоединены к резервуарным терминалам и по которым периодически подается сера, асфальт или другие тяжелые углеводороды, зависит от пара — с его помощью производится их быстрый прогрев и поддержание температуры в них после достижения системой равновесного состояния. В равновесном состоянии тепло, передаваемое системой паробогрева, эквивалентно теплу, которое отдается в атмосферу через теплоизоляционный материал, покрывающий спутник и трубу.

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ



ТЕРМОН . . . Ваши специалисты по электрообогреву®

www.thermon.com



Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

Стр. 10 из 14

- Парообогрев не создает искр в процессе работы и может быть использован во взрывоопасных зонах Раздела 1 (и Зоны 0), где установка контуров электрообогрева сильно ограничена (или запрещена) по соображениям безопасности. В брошюре 2216 от API, второе издание, январь 1991 г., сказано следующее: "Воспламенение несистематических выбросов углеводородов в атмосфере может привести к сильным пожарам. Зачастую горячие поверхности в зонах, где имеют место пары углеводородов, считаются источником воспламенения. Однако нагретые поверхности, даже если их температура превышает указанную и общепринятую в качестве температуры воспламенения углеводородов, могут не воспламенять горючую смесь. Согласно общепринятой практике, воспламенение от горячей поверхности на открытом воздухе не следует принимать в расчет, если температура поверхности ниже температуры, на 200 °C (360 °F) превышающей допустимый минимум воспламенения." Как правило, пар, подаваемый в системы парообогрева, не превышает указанные выше температурные пределы для большинства углеводородов. Помимо этого, большинство линий подачи пара в настоящее время покрываются теплоизоляцией для снижения потерь тепла и максимального повышения безопасности персонала. В целях защиты персонала температура поверхности теплоизоляции не превышает 60 °C (140 °F) или менее.
- Температура контуров парообогрева регулируется при помощи:
 - Редукционных клапанов, которые могут изменять давление пара и, как следствие, его температуру.
 - Изолированных спутников, которые создают путь с низким сопротивлением для снижения температуры и сохранения энергии на линиях, по которым подаются такие материалы как амин, едкий натр, каучуки, вода, сточные воды, а также для поддержания температуры труб с паром под давлением 10,3-17,2 бар (150-250 фунт/кв. дюйм) без необходимости в установке редукционных клапанов, которые были бы необходимы для неизолированных пароспутников в целях ограничения отходящей теплоты.
 - Автоматических регулирующих клапанов с датчиками температуры окружающего воздуха или температуры технологической линии.
 - Спускных паровых коллекторов с фиксированной температурой или коллекторов равновесного давления, которые реагируют на температуру конденсата и обеспечивают неполное охлаждения конденсата перед его сливом.
 - Электромагнитных клапанов с регулированием посредством термостата, работающих дискретно. Термостат служит лишь в качестве вспомогательного устройства, и дискретное управление обеспечивает подачу теплоносителя в контур

спутника во время запуска.

- Конденсат из системы парообогрева может быть возвращен для подогрева и использован в испарителе, поскольку считается "чистым конденсатом". Однако конденсат из теплообменников и покрытого кожухом оборудования не считается чистым из-за возможного взаимного смешивания с технологическими жидкостями.
- Пар прост в эксплуатации и надежен. Это источник постоянной энергии, который направляется по трубам естественным образом. Когда в спутнике пар конденсируется в насыщенную воду, он высвобождает некоторый объем пространства, который непрерывно заполняется паром под давлением. Благодаря такому постоянному процессу пар подается по трубам всегда, когда система работает.

НЕДОСТАТКИ ПАРООБОГРЕВА

- Как правило, пар не рекомендуется использовать в неметаллических трубах, трубопроводах с внутренним покрытием и емкостях, хотя в некоторых случаях изолированные спутники могут применяться.
- Для пароспутников необходимы фитинги, в которых могут образовываться утечки. Однако современные качественные фитинги, выполненные методом прессования, могут быть достаточно герметичными при надлежащей установке.
- В каждом цикле пароуловителя с открытым колпаком или пароуловителя термодинамического типа для выполнения их функции используется определенный объем пара. В термодинамических пароуловителях также возникают утечки из-за малого времени закрытия клапана: последний остающийся конденсат отходит, а пар входит. Импульсные пароуловители характеризуются постоянным малым объемом пара, просачивающегося через золотниковое отверстие. Кроме того, в каждом пароуловителе есть некоторые радиационные потери. Поставщик пароуловителя должен предоставлять данные по стандартным потерям в кг (фунтах) в час для определенного пароуловителя. Один производитель заявляет, что эксплуатационные потери пара в пароуловителях составляют не более 0,90 кг (2 фунта).⁷ В пароуловителях малых пароспутников потери пара в час оцениваются в диапазоне от 0,22 до 0,45 кг (0,5 до 1,0 фунтов).
- В паровых коллекторах и возвратных линиях отвода конденсата теплоизоляцией, подключенных к пароспутнику, наблюдаются некоторые потери энергии пара. В линиях подачи пара и коллекторах возврата конденсата также теряется определенное количество энергии пара. Потери энергии можно снизить путем наложения теплоизоляции на паровые трубы и оборудование.
- В неисправных пароуловителях также могут наблюдаться потери энергии пара на линиях с паровым обогревом. В одном

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ



ТЕРМОН . . . Ваши специалисты по электрообогреву®

www.thermon.com



Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

источнике сказано, что "неисправности паропроводов, случающиеся на постоянной основе с частотой 3-10%, повлияют на поток острого пара в возвратной линии⁸." В другом источнике говорится: "в системах, где регулярно проводятся работы по техническому обслуживанию, утечки в паропроводе составляют менее 5% от объема пара паропровода⁹."

Наиболее часто встречающийся размер отверстия паропроводов, подключенных к паропроводам, равен 3,0 мм для паропроводов с метрической резьбой и 1/8 дюйма для футо-дюймовых резьб. Приблизительные значения потерь пара для неисправных паропроводов в паропроводе приведены в табл. 1 и 2 ниже. Хорошо организованная программа работ по техническому обслуживанию может обеспечить снижение до минимума потерь энергии из паропроводов согласно ПРИМЕЧАНИЮ ниже.

Таблица 1

Прибл. потери энергии из-за утечек в паропроводе кг/ч			
Диаметр отверстия паропровода, мм	Давление пара, бар ман.		
	3,5	7,0	10,0
2,0	5,0	8,8	12,0
3,0	12,5	22,2	30,5
5,0	31,0	55,1	75,4

Таблица 2

Прибл. потери энергии из-за утечек в паропроводе кг/ч			
Диаметр отверстия паропровода, дюймов	Давление пара, бар ман.		
	50	100	150
5/64	10,6	18,9	27,1
1/8	27,2	48,3	69,3
3/16	61,3	108,6	156,0

По оценке одного из крупнейших производителей паропроводов, в среднем в каждом неисправном паропроводе теряется свыше 400 000 фунтов (примерно 180 000 кг) пара в год.² Для колонки давления 7,0 бар ман. и размера отверстия 3,0 мм из табл. 1, при условии 8400 часов работы ежегодно с двумя неделями ремонтных работ, потери на один паропровод составят $22,2 \times 8400 = 186\,480$ кг/год ($186\,480 \times 2,2 = 410\,256$ фунтов/год).

В табл. 2 выбираем колонку 100 фунт/кв. дюйм и размер отверстия 1/8". Потери при этом составят $48,3 \times 8400 = 405\,720$ фунтов/год пара ежегодно. Следовательно, в заявлении производителя представлено реалистичное значение.

Большинство крупнейших производителей паропроводов поставляют системы контроля паропроводов, с помощью которых

можно снизить потери пара, вызываемые неисправностями, при условии надлежащей установки и реализации. Периодические проверки, проводимые на постоянной основе, помогают определить такие неисправности, как утечки или обратное движение конденсата.

АНАЛИЗ СИСТЕМЫ ОБОГРЕВА

Полный анализ системы обогрева должен включать в себя следующее:

- Применение для конкретного случая
- Эксплуатационные качества системы обогрева
- Энергетические характеристики системы "теплопровод/труба"
- Расходы на установку системы обогрева.

1. Применение для конкретного случая

Типовая информация, необходимая для начала оценки

- Предприятие/местоположение
- Климатологические данные:
 - Минимальная температура окружающей среды
 - Максимальная температура окружающей среды
 - Средние показатели окружающей среды в течение года
- Технологические, коммунальные или вспомогательные материалы, подлежащие нагреву
 - Свойства
 - Технические условия
 - Время обработки
 - Требование по подогреву
 - Путь потока технологических жидкостей
- Регулирование температуры продукта и требования по контролю
- Энергия: местоположение; тип; количество; качество; стоимость
 - Классификация зон
 - Стоимость электроэнергии
 - Напряжение
 - Стоимость энергии пара
 - Давление пара
 - Стоимость жидкостного теплоносителя, включая комплектный нагревательный блок
- Трубопровод: материал; длина; размер и уровень земли
 - Схемы КИП 17
 - Изометрические чертежи трубопровода
 - Перечень трубопроводных линий и т. д.
- Изоляция: тип, толщина и погодозащищенность
- Трудозатраты: тарифы и требуемое время на технические работы
- Другие варианты систем обогрева на рассмотрении

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ





Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

Стр. 12 из 14

2. Эксплуатационные показатели систем обогрева

Во-первых, любой рассматриваемый способ обогрева должен соответствовать требованиям к эксплуатационным показателям обогреваемых трубопровода и оборудования. Система обогрева должна обеспечивать прогрев трубопроводов и поддержания требуемой температуры в них. Требование по прогреву может быть выставлено к системе не только для первого запуска системы, но и запусков после ремонтных работ или аварийного останова. При нормальных и экстремальных условиях максимальная температура трубы, продукта, нагревателя и изоляции не должна быть превышена. Система регулирования температуры, если таковая необходима, должна обеспечивать требуемую точность регулировки. Для соответствия требованиям безопасности и техническим условия продукта может понадобиться установка системы сигнализации о перегреве. Для работы системы может также потребоваться контроль системы обогрева. Все эти аспекты необходимы в функциональной системе.

3. Эксплуатационные характеристики системы "обогрев/труба"

Характеристики энергопотребления в системе обогрева являются основной функцией для выбора следующих элементов:

- Система изоляции
- Типа системы регулирования у системы обогрева
- Типа источника тепла

Система изоляции

Система электрообогрева в большинстве стандартных областях применения (поддержание температуры) рассчитана на компенсацию только той теплоты, которая теряется через теплоизоляцию. Энергопотребление напрямую зависит от параметров потерь энергопотребления через изоляционный материал, которые зависят от типа изоляции и ее толщины. Несмотря на то, что оптимизация и снижение потерь тепла достигаются тщательным выбором типа изоляции, следует понимать, что тип изоляции должен соответствовать функциональным требованиям к технологической установке, т. е. ограничению по минимальной температуре, влажностности, прочности на разрыв и сжатие, воспламеняемости. Мероприятия по снижению потерь тепла следует выполнять с учетом толщины изоляции. Оптимальная толщина изоляции определяется на основе оценки следующих затрат для данной толщины изоляции:

- Расходы на систему изоляции, включая стоимость установки и технического обслуживания, в годовом исчислении.
- Стоимость энергопотерь в годовом исчислении.

Оптимальной толщиной изоляции будет считаться такая, с которой сумма этих двух расходов будет наименьшей.

Стоимость изоляции и энергии в годовом исчислении, вычисленная с помощью ПО 3E Plus®

Толщину изоляции можно определить при помощи 3E Plus — специального программного пакета для определения толщины изоляции, который можно загрузить с сайта www.pipeinsulation.org. Данное ПО предназначено для менеджеров предприятия, менеджеров по защите окружающей среды и энергосбережению, а также инженеров-технологов.

Программа 3E Plus:

- Рассчитывает тепловые параметры как изолированных, так и неизолированных трубопроводов и оборудования
- Определяет стоимость потерь БТЕ, выраженную в долларах
- Рассчитывает объем выбросов парниковых газов и их снижения
- Используется в качестве инструмента в некоторых программах министерства энергетики

Программа 3E Plus упрощает задачу определения необходимого количества изоляции для снижения потребления топлива, сокращения вредных выбросов на предприятии и повышения эффективности технологического процесса. Информация, приведенная в настоящем документе, представляет собой выдержки из журнала INSULATION OUTLOOK, выпуск декабрь 2002 года (www.insulation.org).

Контроль температуры обогрева

Когда материал в системе трубопроводов отсутствует, контроллер, который регулирует температуру в трубах и управляет системой обогрева, снижает потребление энергии, переключая спутник на отдачу такого количества энергии, которое необходимо для поддержания заданной температуры трубы. Когда по трубам начинает подаваться материал при температуре выше точки установки контроллера, последний отключает обогрев и тем самым снижает до минимума потребление энергии. Контроллеры системы обогрева, реагирующие на температуру окружающей среды, а не температуру трубы, не обеспечивают такой экономии энергии, поскольку они не отключают обогрев до тех пор, пока температура окружающей среды находится ниже точки установки в контроллере. В результате система обогрева потребляет больше энергии. Несмотря на то, что для систем парового обогрева предусмотрены способы регулирования, они не нашли широкого применения ввиду отсутствия спроса со стороны пользователей.

Источник тепла

- Энергопотребление подключенных параллельно и последовательно электроспутников ограничено способностью джоулевого нагрева (I^2R) кабеля. На большинстве предприятий имеется источник электроэнергии для электрообогрева — либо сторонний, либо собственный (когенерация).
- Пароспутники являются источником постоянного тепла. Их энергопотребление пропорционально температуре пара за вычетом перепада температур в трубе. При отсутствии систем регулирования, в случае, когда температура технологической

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ



ТЕРМОН . . . Ваши специалисты по электрообогреву®

www.thermon.com



Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

Стр. 13 из 14

жидкости меньше равновесной температуры жидкости, протекающей по технологической трубе, энергопотребление пароспутника возрастает.

- Ввиду стоимости блока подачи жидкости, перед началом эксплуатации системы обогрева с термальной жидкостью в ней необходимо наличие нескольких контуров обогрева. Блоки подачи жидкости состоят из (1) расширительного бака, который обеспечивает необходимый объем для расширения жидкости и некоторого кавитационного запаса насоса, (2) циркуляционного насоса для обеспечения потока жидкости в контуре, (3) нагревателя для нагрева жидкости до необходимой температуры и подогрева ее в возвратных трубах от спутников. Система регулирования технологического процесса может быть дополнена клапанами регулирования расхода для нескольких потребителей или датчиком температуры технологической жидкости, управляющим нагревателем, для одного потребителя. В нагревателях на основе термальной жидкости теплота может передаваться либо сжиганием топлива, либо паром, либо электрическими нагревателями. При выборе типа нагревателя в системе следует принимать во внимание общую стоимость установки, расходы на энергию и предполагаемой схемы работы.⁶

4. Стоимость установки системы обогрева

Расходы на установку паровой, жидкостной или электрической системы значительным образом зависят от:

- Сложности системы трубопроводов
- Системы поддержания и регулирования температуры
- Классификация зон

Сложности системы трубопроводов

Как правило, кабели системы электрообогрева более гибки, чем трубопровод, поэтому для стандартных объектов, таких как клапаны, насосы, фильтры, колена труб и фланцы требуется меньше времени на установку. Однако отрицательным аспектом системы электрообогрева является увеличение числа электрических контуров по мере усложнения системы трубопроводов, что в свою очередь вызывает повышение стоимости системы электрообогрева в сравнении с паровым обогревом без регулирования температуры.

Системы поддержания и регулирования температуры

Системы регулирования температуры в трубах могут быть достаточно простыми — как, например, контрольный дискретный механический термостат, или сложными, такими как микропроцессорный блок управления. Для систем парового обогрева устройства управления и контроля предусмотрены, но используются редко. Относительная стоимость паровых, электрических и терможидкостных систем обогрева в некоторой степени зависит от стоимости устройств управления и контроля, устанавливаемых в каждой системе. Эффективность системы парового обогрева в значительной степени зависит от ограничения объемов утечек на неисправных паропроводах.

С помощью систем управления, указанных выше, контуры электрического нагрева могут поддерживать температуру трубы на уровне 5 °C (40 °F) в системах защиты от замерзания. Это осуществляется за счет использования простых предустановленных органов управления или настраиваемых термостатов для защиты от замерзания и поддержания температуры. Микропроцессорные блоки управления и контроля температуры для одного, двух или нескольких контуров могут обеспечить регулирование температуры в пределах до 500 °C (932 °F).

Системы терможидкостного обогрева могут весьма точно регулировать температуру в установках с низкой и высокой температурой, а регулирование в них может осуществляться при помощи контрольных клапанов и (или) микропроцессорных систем управления. Для поддержания температуры в диапазоне от 260 °C до 400 °C (500 °F - 750 °F), т. е. выше диапазона температур, в котором обычно работают системы парового обогрева, могут применяться некоторые термальные жидкости. При таких температурах целесообразной может быть установка системы электрообогрева (нагреватель с минеральной изоляцией на основе сплава 825) на отдельных контурах трубопровода ввиду стоимости терможидкостного блока нагрева.

Как правило, паровой обогрев характеризуется высокой теплоотдачей для тех систем, где давление пара находится в диапазоне 3-21 бар ман. (50-300 фунт/кв. дюйм ман.). Однако разработаны новые изолированные спутники, которые обладают низкой и высокой теплоотдачей и способны поддерживать температуру трубы в диапазоне 5 °C (40 °F) - 93 °C (200 °F). Такие спутники используются во многих системах, где необходима подача мягкого тепла для таких материалов, как едкий натр, каучуки, амин и т. д. В число способов регулирования входят регулирование по температуре окружающей среды, регулирование по температуре трубы, конденсатоотводчики и изолированные спутники. Однако в системах, где необходимо обеспечить малую разность температур, как правило, основным выбором падает на электрообогрев и терможидкостный обогрев. В системах с высоким теплоглощением для терможидкостного и электрического обогрева могут понадобиться несколько проходов. В результате паровой обогрев, как правило, характеризуется меньшими расходами с учетом установки в системах с высокой тепловой нагрузкой и малым временем прогрева.

Классификация зон

Во взрывоопасных зонах удельная мощность спутника может ограничиваться в целях соблюдения требований по теплоотдаче. Еще раз отметим, что это может обусловить необходимость установки нескольких проходов нагревательного кабеля, что в свою очередь повысит стоимость установки. На теплоноситель с постоянной температурой, такой как пар, как правило, не распространяются данные требования по ограничению теплоотдачи, поэтому в пароспутнике может быть установлено меньшее количество проходов, что положительно скажется на стоимости установки.

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ



ТЕРМОН . . . Ваши специалисты по электрообогреву®

www.thermon.com



Сравнение преимуществ и недостатков систем жидкостного, электрического и парового обогрева

Стр. 14 из 14

ВЫВОДЫ

Важно понимать, что не существует универсального способа обогрева, подходящего для любой ситуации. Определяющим фактором в выборе способа обогрева следует считать конкретную технологическую установку с ее индивидуальными требованиями.

Бывают случаи, когда с точки зрения экономической целесообразности на промышленном предприятии могут быть установлены один, два или три способа обогрева, рассмотренные в настоящем документе. В одной установке может быть доступен пар, и он может быть лучшим решением для обогрева, тогда как в других случаях оптимальным выбором может быть электрический и жидкостный обогрев. На большинстве нефтеперерабатывающих и химических предприятий, как правило, устанавливаются паровые и электрические системы обогрева на всем заводе. В текстильной промышленности, на установках с высокой температурой часто используется паровые и терможидкостные системы обогрева.

На предприятиях, где нет доступа к источнику пара, решение по выбору системы обогрева может быть принято достаточно просто. Маловероятно, что у кого-либо возникнет желание устанавливать паровый котел только для того, чтобы производить пар для пароспутников. С другой стороны, на предприятиях, где пар используется в иных целях, могут иметь место избыточные объемы пара, которые без использования были бы просто выброшены в атмосферу. В таком случае крайне желательно использовать паробогрев или жидкостный нагреватель, питаемый паром, для обогрева жидких сред.

Производитель внешних систем теплоспутников (www.thermon.com) обладает непосредственным опытом разработки, поставки и установки паровых, электрических и жидкостных систем обогрева, который составляет около 50 лет. На практическом опыте работы с системами внешней теплопередачи компания получила обширные знания и создала испытательные мощности. Полученные данные были внесены в комплексный пакет аналитических программ AESOP (Advanced Electric and Steam Optimization Program — расширенная программа оптимизации систем электрического и парового обогрева). Современные инструменты анализа позволяют сделать оптимальный выбор системы обогрева для конкретной технологической установки вне зависимости от ее сложности.

Примечания и справочные материалы

1. Арлин Андерсон (Arlene Anderson), "Отрасли промышленности для снижения выбросов парниковых газов в будущем". EM Magazine, март 1999 года, 13 стр.
2. Тед Джоунс (Ted Jones), "Получение пара", Insulation Outlook, март 1998.
3. Кнокс Питцер (Knox Pitzer) и Рой Барт (Roy Barth), "Паробогрев для энергосбережения". Выставка и конференция инженеров-химиков, 7-8 июня 2000 г.
4. М. А. Люк (M. A. Luke) и К. К. Мизерлс (C. C. Miserles), "Сравнение пара и обогрева на работе завода", журнал Oil and Gas, 7 ноября 1977 года, стр. 64-73.
5. Томас К. Маккрэйн (Thomas K. McCranie), "Мазут и другие жидкости на цементных заводах", представлено на техническом совещании цементной промышленности института инженеров-электриков и электронщиков в 1972 г.
6. Джим Этингер (Jim Oetinger), "Применение термальных жидкостей для косвенного обогрева", Process Heating Magazine, октябрь 1997 г.
7. Тед Бойнтон (Ted Boynton) и Боб Дьюирст (Bob Dewhirst), "Энергосбережение за счет ревизии паропроводов и профилактических программ технических работ", Armstrong International.
8. Маккэй, Брюс, П. Э. (Mackay, Bruce, P.E.) "Проектирование рентабельной системы возврата конденсата". Chemical Processing, май 1997.
9. Журнал Insulation Outlook Magazine, Апрель 2002 г. Публикуется с примечанием: "Выдержки из информационного бюллетеня "Рекомендации по энергосбережению, который изначально был опубликован службой распространения знаний об энергосбережении в промышленности компании Georgia Tech".
10. Индивидуальный маркетинговый отчет для Thermon Manufacturing, Saunders Management Associates, сентябрь 1994.
11. Рой Э. Барт (Roy E. Barth) и Артур Макдональд (Arthur McDonald), "Оценка энергоэффективности и затрат на паровой и электрический обогрев для нефтеперерабатывающих заводов, USA". 1994. Примечание: Большая часть материала из данной работы включена в раздел "Анализ систем обогрева".

СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗДЕЛИИ И ЕГО ПРИМЕНЕНИИ



ТЕРМОН . . . Ваши специалисты по электрообогреву®

www.thermon.com