

ежеквартальное информационное издание



Дорогие друзья!



Ни для кого не секрет, что наши дела и поступки сегодня обязательно отразятся на нашем завтра. Но мы редко задумываемся о том, что это может быть не только наш завтрашний день, но и будущее других людей, как близких, так и совсем незнакомых. Именно поэтому нам часто не хватает бережливости. Нет, разумеется, в большинстве своем мы бережно относимся к собственным времени, труду и материальным благам. Но вот бережливость в отношении окружающей среды, у нас, к сожалению, не в моде: как в частной, так и в профессиональной жизни нам чаще всего бывает не до таких «мелочей». Ведь выкинуть прочтенную газету куда проще, чем возиться со сбором и сдачей макулатуры. А в погоне за ростом объемов производства мы и вовсе не оглядываемся на ущерб, который наносим природе, предпочитая оперировать соотношением «затраты-прибыль».

А между тем потребляемые нами ресурсы - это не только дополнительная статья затрат. Миллионы лет потребовались природе на то, чтобы накопить уголь, газ и нефть, которые человек может сжечь за пару десятилетий. И каждый раз, когда мы, пусть даже стремясь сократить собственные издержки, делаем шаг в сторону повышения энергоэффективности и стабилизации технологических процессов, мы помогаем природе сохранять те ресурсы, без которых дальнейший прогресс и жизнь будущих поколений невозможны. И пусть сегодня мы измеряем результат своих усилий только в цифрах: снижение энергозатрат, сокращение производственного брака, минимизация штрафов за стоки и выбросы... Со временем, я уверен, мы все поймем, что есть и другой, даже более важный мотив для рационализации производства- забота

об окружающей среде и будущем наших близких.

Мне очень приятно, что благодаря решениям, предлагаемым нашей компанией, клиенты Spirax Sarco во всем мире снижают энергозатраты. Так мы вместе вносим свой небольшой вклад в общее дело заботы о природе. Ведь от каждого из нас зависит, каким будет наше будущее. И каждый из нас действительно может на это повлиять.

А.Ю. Антомошкин Генеральный директор ООО «Спиракс-Сарко Инжиниринг»

Вадим Моисеев

Утилизация низкопотенциального пара в термокомпрессионных установках

Читать больше



Дмитрий Крюков

Повышаем эффективность: модернизация бензольного производства

Читать больше



Геннадий Сычев

Измерение расхода влажного пара

Читать больше



Содержание

Ребус

Читать больше



Заявка читателя

Читать больше



Лучшие решения для пароконденсатных систем

ОПЫТ | СИСТЕМНОСТЬ | ПРОГРЕСС





Утилизация низкопотенциального пара в термокомпрессионных установках

Содержание

Вадим Моисеев, инженер Энергосервиса

Всем производственникам прекрасно знакома «картина» парящих вестовых труб и организованных сбросов пароконденсатной смеси. Чаще всего это связано с невозможностью использования напрямую в технологии избытка отработанного низкопотенциального пара с турбоприводов, либо высокотемпературным конденсатом с теплообменных аппаратов. Одним из эффективных способов решения проблемы утилизации низкопотенциального тепла пара и конденсата является повышение давления и температуры отработанного пара и пара вторичного вскипания до технологически приемлемых параметров с помощью пароструйных компрессоров (далее Термокомпрессор).

Термокомпрессор – это устройство, в котором осуществляется процесс инжекции, заключающийся в передаче кинетической энергии одного потока другому путем смешения. В результате процесса инжекции за счет энергии пара более высоких параметров повышается давление инжектируемого пара, и, кроме того, есть возможность повысить его температуру до необходимого значения, что очень важно в случае, если утилизируемый пар является насыщенным и низкопотенциальным. Такой способ утилизации низкопотенциального пара имеет преимущества перед другими методами ввиду низких капитальных вложений и не требует существенного изменения в технологии.

Процессы, характерные для всех струйных аппаратов, описываются тремя законами.

Сохранения энергии:

hp+uhH=(1+u)hc

где hp, hн, hc – энтальпии рабочего и инжектируемого потока до аппарата и смешанного потока после аппарата, кДж/кг; u=Gн/Gp - коэффициент инжекции

Сохранения массы:

Gc=Gp+Gh

где Gc, Gp, Gн - массовые расходы смешанного, рабочего и инжектируемого потоков, кг/с

Сохранения импульсов:

lp1+lH1=∫pdf+lc3

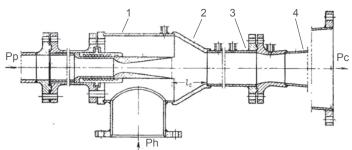
где Ір1, Ін1 – импульс рабочего и инжектируемого потока во входном сечении камеры смешения; Іс3 – импульс смешанного потока в выходном сечения камеры смешения; ∫pdf – интеграл импульса по боковой поверхности камеры смешения между сечениями 1-1 и n-n, в цилиндрической камере смешения ∫pdf=0.

Импульс потока в любом сечении

I=Gω+pf,

где G – массовый расход, кг/с; ω – скорость, м/с; з – давление, $\Pi a(H/м2)$; f— сечение, м².

Процессы, происходящие в струйных аппаратах, в первую очередь, зависят от агрегатного состояния взаимодействующих сред. Нас интересуют струйные аппараты, в которых агрегатное состояние упругих (упругие свойства- это значительное изменение удельного объёма при изменении давления) сред одинаковое, с большой степенью расширения рр/рн≥2,5 (отношение начального давления перед соплом к давлению за соплом) и умеренной степенью сжатия 2,5≥рс/рн ≥1,2 (отношение конечного давления сжатия к начальному давлению) так называемые паро(газо)струйные компрессоры (Рис. 1).



1 – сопло; 2 – камера смешения; 3 – цилиндрическая часть камеры смешения; 4 – диффузор.

Заменяя дроссельные процессы процессами расширения, пароструйные компрессоры позволяют сократить расходы пара повышенного давления за счет частичного использования пара низкого давления из отбора паровой турбины или из какого-либо другого источника. Если на объекте (предприятии или тепловой электростанции) имеется РОУ (редукционно-охладительная установка) и одновременно излишки пара низкого давления или пар вторичного вскипания, представляется целесообразным рассмотреть возможность установки пароструйного компрессора.

Конструкция термокомпрессора показана на рис. 1. В сопле 1 происходит расширение рабочего пара, в результате чего его скорость значительно увеличивается, а давление рр падает до давления инжектируемого пара (вторичного вскипания или отработанного) рн . Струя, выходящая из сопла с большой скоростью, увлекает за собой пар низкого давления и создает разрежение во входной части камеры смешения 2. Поступая в цилиндрическую часть, оба паровых потока смешиваются, и их скорости выравниваются. Попадая в диффузор, скорость потока падает, давление возрастает до рс.

Основным показателем, характеризующим эффективность пароструйного компрессора, является коэффициент инжекции U, равный отношению расходов инжектируемого пара низкого давления Dн и острого рабочего пара Dp,

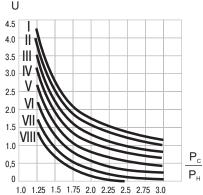
U=DH/Dp

Зная коэффициент инжекции U и количество инжектируемого (Dн) или сжатого (Dc) пара, можно определить расход рабочего

Dp=DH/U, или Dp=Dc/(1+U)

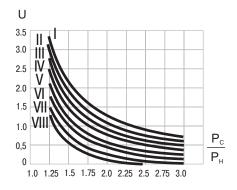
Семинары

На рис. 2 и 3 приведены зависимости расчетного коэффициента инжекции U от располагаемых степени расширения рабочего пара (рр/рн) и степени сжатия отработавшего или вторичного пара (рс/рн).



Puc. 2 Зависимость коэффициента инжекции пароструйного компрессора от степени сжатия для сухого насыщенного пара Значения рр/рн для кривых:

I - 75; II - 50; III - 25; IV - 15; V - 10; VI - 6; VII - 4; VIII - 3,2



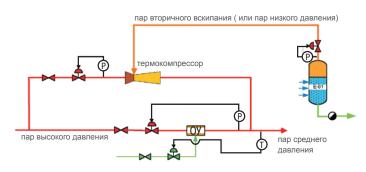
Puc 3 Зависимость коэффициента инжекции пароструйного компрессора от степени сжатия для перегретого пара Значения рр/рн для кривых:

Термокомпрессор изготавливается из коррозионностойкой и износостойкой стали, не имеет движущихся деталей, вальцовочных, резьбовых соединений (кроме фланцевых) и практически не требует затрат на техническое обслуживание и ремонт. Он не является сложным аппаратом, но ввиду своих конструктивных особенностей работает с максимальной эффективностью только при расчетном режиме, для которого рассчитан. В условиях переменных режимов, особенно когда меняются параметры рабочего или сжатого пара от расчетных, эффективность термокомпрессора при отсутствии регулирования резко падает. Но и регулирование параметров рабочего или сжатого пара этих аппаратов находится в довольно узком диапазоне (не более 25÷30%), что накладывает довольно жесткие условия при эксплуатации подобных систем. Существуют термокомпрессоры, которые оснащены паровым соплом с иглой, регулирующей его проходное сечение. Такая конструкция позволяет упростить процесс регулирования расходов пара и немного расширить его диапазон.

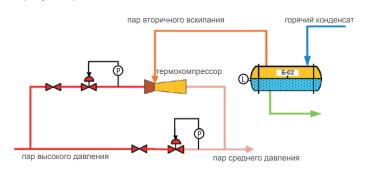
На основании вышеизложенного можно предложить несколько схем применения термокомпрессоров:

1. Для использования пара вторичного вскипания или пара низкого давления с параллельной работой РОУ. В этой схеме термокомпрессор находится в базовом режиме с неким постоянным расходом пара вторичного вскипания (или избытком пара низкого давления, предлагаемого для повторного

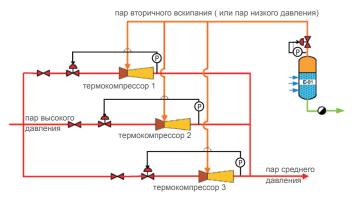
использования) и гарантированно необходимым расходом для использования в технологическом процессе. Функцию поддержания заданного давления в коллекторе пара среднего давления выполняет клапан-регулятор РОУ.



2. Для утилизации низкопотенциального тепла конденсата. В этой схеме термокомпрессор находится в базовом режиме с неким постоянным расходом определенным количеством пара вторичного вскипания, образующимся при неполном использовании тепла конденсата. Поддержание заданного давления в коллекторе пара среднего давления выполняет регулятор давления.



3. Для использования вместо РОУ. В этой схеме термокомпрессоры подключены по параллельной схеме с суммарным расходам равным расходу заменяемой РОУ. Изменение расхода осуществляется путем последовательного отключения/ включения необходимого количества термокомпрессоров.



Подводя итоги, отметим, что термокомпрессоры позволяют уменьшить потери тепловой энергии и вовлечь в тепловой цикл вторичные энергетические ресурсы, а значит снизить расходы дорогостоящих первичных теплоносителей, таких, как острый пар, увеличить возврат конденсата и более полно использовать его потенциальное тепло».

По вопросам применения термокомпрессоров Вы можете обратиться к автору статьи (vadim.moiseev@ru.spiraxsarco.com) или в отдел энергосервиса (energoservice@ru.spiraxsarco.com).

Содержание



Повышаем эффективность: модернизация бензольного производства

Дмитрий Крюков, инженер

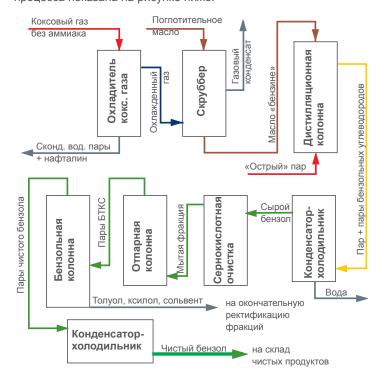
Так уж сложилось в силу различных обстоятельств, что производственные мощности большинства промышленных предприятий нашей страны сильно изношены. Старое технологическое оборудование невыгодно отличается от современных линий повышенными энерго- и трудозатратами, пониженной производительностью и более высоким уровнем брака. При этом, несмотря на постоянные разговоры и намерения модернизации технологий, мало кто реально задумывается о наведении порядка в существующих системах. И если экономическую выгоду более современного производства понимают многие, то возможности снизить затраты при работе на имеющемся оборудовании часто не замечают.

Приведём простой пример, с которым мы столкнулись на одном из металлургических предприятий – модернизация бензольного производства. Правильнее даже сказать, восстановление, потому что мы не придумывали ничего нового, а просто предложили восстановить то, что когда-то было установлено и даже какое-то время работало исправно.

Технология

Бензо́л (С6Н6, PhH) — органическое химическое соединение, бесцветная жидкость с приятным сладковатым запахом. Простейший ароматический углеводород. Бензол входит в состав бензина, широко применяется в промышленности, является исходным сырьём для производства лекарств, различных пластмасс, синтетической резины, красителей. Весьма токсичен, действует на кровь, кроветворные органы и на центральную нервную систему.

Один из способов производства бензола – выделение бензольных углеводородов из газа, образующегося в процессе коксования (нагревании без доступа воздуха) каменного угля. Для этого коксовый газ, предварительно лишённый аммиака, сперва охлаждают водой, вымывая при этом из газа лишний для основного процесса нафталин. Из охлаждённого газа бензольные углеводороды улавливают специальным поглотительным каменноугольным маслом при пропускании газа через него. Затем в масло впрыскивается пар, подхватывающий и уносящий далее пары бензольных углеводородов, и после последующего охлаждения и отделения воды сырой бензол направляется на сернокислотную очистку и окончательную ректификацию. Условная схема всего процесса показана на рисунке ниже.



Помимо выделения бензольных углеводородов из поглотительного масла путём непосредственного впрыска пар в бензольном производстве используется в основном для двух основных

Семинары



Чтобы посетить семинар Spirax Sarco, пожалуйста, заполните форму на странице 9 и отправьте по факсу (812) 640-90-43.

Полное расписание семинаров на 2012 год представлено на сайте.

Читать больше (



сентябрь 2012

12/09 - Казань

12/09 - Астрахань

12/09 - Санкт-Петербург

14/09 - Москва

19/09 – Екатеринбург

Участие в семинаре бесплатное

Содержание



- в бензольном отделении- до получения бензола- для поддержания температур дополнительных технологических сред, необходимых для процесса (промывочная смола и поглотительное масло),
- в ректификационном отделении- на финальной стадии технологического процесса- для нагрева основной технологиче-

Подогрев и нагрев происходят преимущественно с помощью различных теплообменных аппаратов, установленных на открытом воздухе. Основная проблема производства, как и во многих других случаях, - неэффективное использование пара, наличие потерь в виде пролётного пара.

Решение и эффективность

После осмотра паровой системы и предварительных расчетов количество потребляемого пара было определено на основании показаний установленных расходомеров: ректификационное отделение потребляло до 20 тонн пара/ч, бензольное – и того больше до 40 тонн пара/час. Исходя из опыта нашей работы, в среднем потери в виде пролетного пара на обследуемых предприятиях составляют 20% от количества потребляемого пара. Таким образом, можно примерно оценить общую величину потерь. Более того, мы постарались учесть и неравномерность загрузки производства, а следовательно и паропотребления в течение года, месяца и дня в виде некоего условного коэффициента. Сводный расчёт показан в таблице 1.

.	
Параметр	Значение
Общее паропотребление	60 т/час
Процент пролётного пара	20%
Часовые потери пара	60 x 20% = 12 т/час
Стоимость пара	360 руб./т
Коэф.неравномерности нагрузки	0,4
Потери за месяц работы:	360 x12 x24 x30 x0,4=1244160 руб.

Таблица 1. Расчет тепловых потерь

Что же мы предложили? Установку блоков конденсатоотвода всех теплообменных аппаратов. «И всё?», - спросите Вы. Да. Но не всё так просто, на самом деле. Во-первых, оборудование должно максимально надёжно и долго работать в условиях высоких температур рабочей среды (до 300°C) и низких температур окружающего воздуха (до -34°C). Во-вторых, оборудование должно иметь возможность самодренажа при внезапной остановке для предотвращения замерзания и повреждения теплообменников и самих конденсатоотводчиков. В третьих, оборудование должно быть ремонтопригодным и иметь минимальную потребность в обслуживании. К тому же, для проведения данной работы не потребуется никаких проектных или согласовательных процедур, что значительно ускорит процесс внедрения решения.

И, пожалуй, самое главное: срок окупаемости данного решения всего 3 месяца! То есть уже через три месяца предприятие полностью возвращает инвестиции. Так стоит ли откладывать перемены к лучшему в ожидании глобальных инвестиций, если решение, которое позволит повысить эффективность, прямо перед Вами?

По вопросам, связанным с примением пара в металлургической промышленности, Вы можете обратиться к автору статьи (dmitry.krukov@ru.spiraxsarco.com) или к инженеру Spirax Sarco в Вашем регионе.

Тренинг Центр Spirax Sarco: новые возможности для слушателей!

Мы рады сообщить читателям Спираскопа, что уже в июне 2012 года в тренинг центре Spirax Sarco в Санкт-Петербурге начнет работу специальный демонстрационный





Теперь слушатели наших семинаров в Петербурге смогут не только получить полезные теоретические знания, но и увидеть в действии основные элементы паровых систем и современные энергосберегающие решения.

На специальных стендах слушатели семинаров и обучающих курсов Spirax Sarco смогут изучить устройство и работу паровых систем и их отдельных элементов. В состав демонстрационного оборудования входят: редукционная станция, конденсатоотводчики со стеклянными корпусами, тепловой пункт, насосные модули, расходометрическая станция.

При проектировании концепции демонстрационного зала и создании установок создатели российского тренинг центра опирались на опыт зарубежных коллег: подобные тренинг центры уже работают в ряде стран Европы и Америки.

Посетителями тренинг центра станут слушатели плановых семинаров в Санкт-Петербурге, а также слушатели обучающих программ, организованных по индивидуальным заявкам.

Приглашаем Вас посетить наш новый демонстрационный зал. Присылайте заявки на посещение по электронной почте spirascope@ru.spiraxsarco.com





Измерение расхода влажного пара

Геннадий Сычев, руководитель направления Расходомеры

Точность измерения расхода пара зависит от целого ряда факторов. Один из них – степень его сухости. Часто этим показателем пренебрегают при подборе приборов учета и измерения, и совершенно напрасно. Дело в том, что насыщенный влажный пар по сути является средой двухфазной, и это вызывает ряд проблем в измерении его массового расхода и тепловой энергии. Как решить эти проблемы, мы сегодня разберемся.

Свойства водяного пара

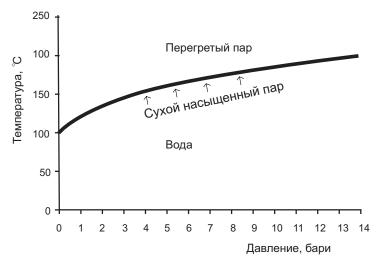
Для начала, определимся с терминологией и выясним, каковы особенности влажного пара.

Насыщенный пар – водяной пар, находящийся в термодинамическом равновесии с водой, давление и температура которого связаны между собой и располагаются на кривой насыщения (рис.1), определяющей температуру кипения воды при данном давлении.

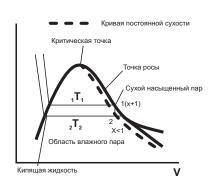
Перегретый пар – водяной пар, нагретый до температуры выше температуры кипения воды при данном давлении, получаемый, например, из насыщенного пара путем дополнительного нагре-

Сухой насыщенный пар (рис.1) – бесцветный прозрачный газ, является гомогенной, т.е. однородной средой. В некоторой степени это абстракция, так как получение его затруднительно: в природе он встречается только в геотермальных источниках, а производимый паровыми котлами насыщенный пар не является сухим - типичные значения степени сухости для современных котлов 0,95-0,97. Чаще всего степень сухости еще ниже. Кроме того, сухой насыщенный пар метастабилен: при поступлении тепла извне он легко становится перегретым, а при отдаче тепла - влажным насыщенным [1].

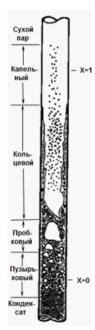
Рис. 1. Линия насыщения водяного пара



Влажный насыщенный пар (рис.2) представляет собой механическую смесь сухого насыщенного пара с взвешенной мелкодисперсной жидкостью находящейся с паром в термодинамическом и кинетическом равновесии. Флуктуация плотности газовой фазы, наличие посторонних частиц, в том числе несущих электриче- Puc. 2. PV-диаграмма водяного пара ские заряды - ионы, приводит к возникновению

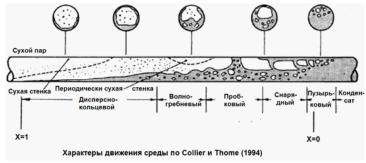


центров конденсации, носящей гомогенный характер. По мере роста влажности насыщенного пара, например, из-за тепловых потерь или повышения давления, мельчайшие капельки воды становятся центрами конденсации и постепенно растут в размерах, а насыщенный пар становится гетерогенным, т.е. двухфазной средой (пароконденсатной смесью) в виде тумана. Насыщенный пар, представляющий газовую фазу пароконденсатной смеси, при движении передает часть своей кинетической и тепловой энергии жидкой фазе. Газовая фаза потока несет в своем объеме капельки жидкой фазы, но скорость жидкой фазы потока существенно ниже скорости его паровой фазы. Влажный насыщенный пар может формировать границу раздела, например, под воздействием гравитации. Структура двухфазного потока при конденсации пара в горизонтальных и вертикальных трубопроводах меняется в зависимости от соотношения долей газовой и жидкой фаз (рис.3).



Структура двухфазного потока в горизонтальном трубопроводе

Структура двухфазного потока в вертикальном трубопроводе





Характер течения жидкой фазы зависит от соотношения сил трения и сил тяжести, и в горизонтально расположенном трубопроводе (рис.4) при высокой скорости пара течение конденсата может оставаться пленочным, как и в вертикальной трубе, при средней может приобретать спиралевидную форму (рис.5), а при низкой пленочное течение наблюдается только на верхней внутренней поверхности трубопровода, а в нижней формируется непрерывный поток, «ручей» [2].

Таким образом, в общем случае поток пароконденсатной смеси при движении представляет собой три составляющих: сухой насыщенный пар, жидкость в виде капель в ядре потока и жидкость в виде пленки или струи на стенках трубопровода. Каждая из этих фаз имеет свою скорость и температуру, при этом при движении пароконденсатной смеси возникает относительное



скольжение фаз [3]. Математические модели двухфазного течения в паропроводе влажного насыщенного пара представлена в работах [4, 5].

Рис. 5 Спиралевидное движение конденсата.

Проблемы измерения расхода

Измерение массового расхода и тепловой энергии влажного насыщенного пара связано со следующими проблемами:

- 1. Газовая и жидкая фазы влажного насыщенного пара движутся с различной скоростью и занимают переменную эквивалентную площадь поперечного сечения трубопровода;
- 2. Плотность насыщенного пара возрастает по мере роста его влажности, причем зависимость плотности влажного пара от давления при различной степени сухости неоднозначна;
- 3. Удельная энтальпия насыщенного пара снижается по мере роста его влажности.
- Определение степени сухости влажного насыщенного пара в потоке затруднительно.

Вместе с тем, повышение степени сухости влажного насыщенного пара возможно двумя известными способами: «мятием» пара (снижением давления и, соответственно, температуры влажного пара) с помощью редукционного клапана и отделением жидкой фазы с помощью сепаратора пара и конденсатоотводчика. Современные сепараторы пара обеспечивают почти 100% осушение влажного пара.

Измерение расхода двухфазных сред – крайне сложная задача, до сих пор не вышедшая за пределы исследовательских лабораторий. Это в особой степени касается пароводяной смеси [6]. Большинство расходомеров пара являются скоростными, т.е. измеряют скорость потока пара. К ним относятся расходомеры переменного перепада давления на базе сужающих устройств, вихревые, ультразвуковые, тахометрические, корреляционные, струйные расходомеры. Особняком стоят кориолисовые и тепловые расходомеры, непосредственно измеряющие массу протекающей среды.

Рассмотрим, как различные виды расходомеров справляются со своей задачей, если имеют дело с влажным паром.

Расходомеры переменного перепада давления

Расходомеры переменного перепада давления на базе сужающих устройств (диафрагм, сопел, труб Вентури и других местных гидравлических сопротивлений) до сих пор являются основным средством измерения расхода пара. Однако, в соответствии с подразделом 6.2 ГОСТ Р 8.586.1-2005 «Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом перепада давления»: По условиям применения стандартных сужающих устройств, контролируемая «среда должна быть однофазной и однородной по физическим свойствам» [8]:

При наличии в трубопроводе двухфазной среды пара и воды измерение расхода теплоносителя приборами переменного перепада давления с нормированной точностью не обеспечивается [9]. В этом случае «можно было бы говорить об измеренном расходе паровой фазы (насыщенного пара) потока влажного пара при неизвестном значении степени сухости» [10].

Таким образом, применение таких расходомеров для измерения расхода влажного пара приведет к недостоверным показаниям [11].

Оценка возникающей методической погрешности (до 12% при давлении до 1 МПа и степени сухости 0,8) при измерении влажного пара расходомерами переменного перепада давления на базе сужающих устройств проведена в работе [12].

Ультразвуковые расходомеры

Ультразвуковые расходомеры, успешно применяемые при измерении расхода жидкостей и газов, ещё не нашли широкого применения при измерении расхода пара, несмотря на то, что отдельные их типы выпускаются серийно [13] или были анонсированы производителем [14]. Проблема заключается в том, что ультразвуковые расходомеры, реализующие доплеровский принцип измерений, основанный на сдвиге частоты ультразвукового луча, не пригодны для измерения перегретого и сухого насыщенного пара из-за отсутствия неоднородностей в потоке, необходимых для отражения луча, а при измерении расхода влажного пара сильно занижают показания из-за отличия скоростей газовой и жидкой фазы. Ультразвуковые расходомеры времяимпульсного типа наоборот неприменимы для влажного пара из-за отражения, рассеивания и преломления ультразвукового луча на каплях воды.

Вихревые расходомеры

Вихревые расходомеры разных производителей при измерении влажного пара ведут себя неодинаково. Это определяется как конструкцией первичного преобразователя расхода, принципа детектирования вихрей, электронной схемы, так и особенностями программного обеспечения. Принципиальным является влияние конденсата на работу чувствительного элемента. В некоторых конструкциях «серьезные проблемы возникают при измерении расхода насыщенного пара, когда одновременно в трубопроводе существует газовая и жидкая фаза. Вода концентрируется вдоль стенок трубы и препятствует нормальному функционированию датчиков давления, установленных заподлицо со стенкой трубы» [15]. В других конструкциях конденсат может затапливать сенсор и блокировать измерение расхода вовсе. Зато у некоторых расходомеров это практически не влияет на показания.

Кроме этого, двухфазный поток, набегая на тело обтекания, формирует целый спектр вихревых частот, связанных как со скоростью газовой фазы, так и со скоростями жидкой фазой (капель-

ной формы ядра потока и пленочной или струйной пристеночной области) влажного насыщенного пара. При этом амплитуда вихревого сигнала жидкой фазы может быть весьма значительной и, если электронная схема не предполагает цифровой фильтрации сигнала с помощью спектрального анализа и специального алгоритма выделения «истинного» сигнала, связанного с газовой фазой потока, что характерно для упрощенных моделей расходомеров, то будет происходить сильное занижение показаний расхода. Лучшие модели вихревых расходомеров обладают системами DSP (цифровой обработки сигнала) и SSP (спектральной обработки сигнала на основе быстрого преобразования Фурье), которые позволяют не только повысить отношение сигнал/шум, выделить «истинный» вихревой сигнал, но и устранить влияние вибраций трубопровода и электрических помех.

Несмотря на то, что вихревые расходомеры предназначены для измерения расхода однофазной среды, в работе [16] показано, что они могут быть использованы для измерения расхода двухфазных сред, в том числе, пара с каплями воды при некоторой деградации метрологических характеристик.

Влажный насыщенный пар со степенью сухости свыше 0,9 по экспериментальным исследованиям EMCO и Spirax Sarco можно считать гомогенным и за счет «запаса» по точности расходомеров PhD и VLM (±0,8-1,0%), показания массового расхода и тепловой мощности будут находиться в пределах погрешностей, нормированных в [17].

При степени же сухости 0,7-0,9 относительная погрешность измерений массового расхода этих расходомеров может достигать десяти и более процентов.

Другие исследования, например, [18] дают более оптимистический результат – погрешность измерения массового расхода влажного пара соплами Вентури на специальной установке для

калибровки расходомеров пара находится в пределах ±3,0% для насыщенного пара со степенью сухости свыше 0,84.

Чтобы избежать блокирования чувствительного элемента вихревого расходомера, например, чувствительного крыла конденсатом, некоторые производители рекомендуют ориентировать первичный преобразователь таким образом, чтобы ось чувствительного элемента была параллельна поверхности раздела пар/конденсат.

Другие типы расходомеров

Расходомеры переменного перепада/переменной площади, обтекания с подпружиненной заслонкой и мишенные переменной площади не допускают измерение двухфазной среды из-за возможного эрозионного износа проточной части при движении конденсата.

Принципиально только массовые расходомеры кориолисового типа могли бы измерять двухфазную среду, однако исследования [19] показывают, что погрешности измерений кориолисовых расходомеров в значительной степени зависят от соотношения долей фаз, а «попытки разработать универсальный расходомер для многофазных сред скорее ведут в тупик». В тоже время кориолисовые расходомеры интенсивно развиваются [20], и, возможно, успех будет достигнут уже скоро, но пока таких промышленных средств измерений на рынке нет.

(Продолжение статьи читайте в следующем выпуске журнала Spiracкоп)

По вопросам, связанным с измерением расхода пара, вы можете обратиться к автору статьи (gennady.sychev@ru.spiraxsarco. com) или к инженеру Spirax Sarco в вашем регионе.

ЛИТЕРАТУРА:

- Rainer Hohenhaus. How useful are steam measurements in the wet steam area?// METRA Energie-Messtechnik GmbH, November, 2002.
- Good Practice Guide Reducing energy consumption costs by steam metering. // Ref. GPG018, Queen's Printer and Controller of HMSO, 2005
- Коваленко А.В. Математическая модель двухфазного течения влажного пара в паропроводах.
- 4. Тонг Л. Теплопередача при кипении и двухфазное течение.- М.: Мир,1969.
- Теплопередача в двухфазном потоке. Под ред. Д. Баттерворса и Г. Хъюитта.// М.: Энергия, 1980.
- 6. Ломшаков А.С. Испытание паровых котлов. СПб, 1913
- 7. Jesse L. Yoder. Using meters to measure steam flow// Plant Engineering,- April
- ГОСТ Р 8.586.1-2005. Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом перепада давления.
- Коваль Н.И., Шароухова В.П. О проблемах измерения насыщенного пара.// УЦСМС, Ульяновск
- Кузнецов Ю.Н., Певзнер В.Н., Толкачев В.Н. Измерение насыщенного пара сужающими устройствами //Теплоэнергетика. – 1080.- №6.

- Робинштейн Ю.В. О коммерческом учете пара в паровых системах теплоснабжения. // Материалы 12-й научно-практической конференции: Совершенствование измерений расхода жидкости, газа и пара. - СПб.: Борей-Арт. 2002.
- ствование измерений расхода жидкости, газа и пара,- СПб.: Борей-Арт, 2002. 12. Абаринов, Е. Г., К.С. Сарело. Методические погрешности измерения энергии влажного пара теплосчетчиками на сухой насыщенный пар // Измерительная техника. - 2002. - №3.
- Бобровник В.М. Бесконтактные расходомеры «Днепр-7» для учета жидкостей, пара и нефтяного газа. //Коммерческий учет энергоносителей. Материалы 16-й международной научно-практической конференции,- СПб.: Борей-Арт, 2002.
- 14. DigitalFlow™ XGS868 Steam Flow Transmitter. N4271 Panametrics, Inc., 4/02.
- 15. Богуш М.В. Развитие вихревой расходометрии в России.
- Engineering Data Book III, Chapter 12, Two Phase Flow Patterns, Wolverine Tube, Inc. 2007
- 17. П-683 «Правила учета тепловой энергии и теплоносителя», М.:, МЭИ, 1995.
- A. Amini and I. Owen. The use of critical flow venturi nozzles with saturated wet steam. //Flow Meas. Instrum., Vol. 6, No. 1, 1995
 Кравченко В.Н., Риккен М. Измерения расхода с помощью кориолисовых рас-
- Кравченко В.Н., Риккен М. Измерения расхода с помощью кориолисовых расходомеров в случае двухфазного потока.//Коммерческий учет энергоносителей. XXIV международная научно-практическая конференция,- СПб.: Борей-Арт, 2006.
- 20. Richard Thorn. Flow Measurement. CRC Press LLC, 1999

РЕБУС

Разгадайте ребус и получите приз от SPIRAX SARCO!

Чтобы принять участие в конкурсе, пожалуйста, впишите ответ в графу «Ребус» в Заявке читателя (страница 9) и отправьте нам по факсу. И главное, не забудьте указать свои координаты для получения подарка!

Ответы принимаются до 30 июня 2012 года от читателей Spirackona на территории России.



Заявка читателя

Если Вы хотите получить информацию об оборудовании Spirax Sarco, посетить обучающий семинар или получить консультацию от эксперта Spirax Sarco, просто заполните данную форму и отправьте нам по факсу (812) 640-90-43 или по e-mail: spirascope@ru.spiraxsarco.com Сразу после обработки запроса сотрудник Spirax Sarco свяжется с Вами.

Пожалуйста, отметьте интересующие Вас позиции:



Посещение семинаров	Уважаемые читатели!	
12/09 – Казань 12/09 – Астрахань 12/09 – Санкт-Петербург	Мы будем рады узнать Ваше мнение о нашем журнале. Свои замечания, вопросы и пожелания пожалуйста присылайте на E-mail: spirascope@ru.spiraxsarco.com	
14/09 — Москва	Заказ литературы:	
Ребус Другое (Ваш вопрос)	Брошюра "Теплопункты Easi Heat Plus" Каталог "Расходомеры Spirax Sarco" (обновленная версия 2012 г.) Каталог "Оборудование Spirax Sarco для пароконденсатных систем"	
Пожалуйста, укажите свою контактную информацию, чтобы наш сотрудник мог связаться с Вами:		
ФИО		
Компания	Должность	
Контактный телефон	E-mail	
Инпекс		

ООО "Спиракс-Сарко Инжиниринг", 198188, Россия, Санкт-Петербург, ул. Возрождения, д. 20а, литер А □ spirascope@ru.spiraxsarco.com www.spiraxsarco.com/ru **%** +7 (812) 640 90 44