УДК 621.1.013

П. А. ХОНДРЮКОВ, инженер КИПиА (ОАО «КМЗ»)
В. Н. СЛИВНОЙ, к. т. н., доцент (КузГТУ)
г. Кемерово

ОСОБЕННОСТИ УЧЕТА РАСХОДА НАСЫЩЕНОГО ПАРА ПРИ НИЗКОМ ИЗБЫТОЧНОМ ДАВЛЕНИИ

На участке котельной ОАО «Кемеровский механический завод» (ОАО «КМЗ») в работе находятся три паровых котла ДЕ-10-14. Параметры вырабатываемого пара: избыточное давление 770 кПа, температура 169 ^{0}С.

Производимый котлами насыщенный пар не является полностью сухим, даже при наличии паросепараторов, и типичные значения степени сухости для современных паровых котлов составляют 0.95-0.97. При возникновении нештатных ситуаций (работа котлоагрегата при пониженном давлении, или резкое возрастание потребления пара) степень сухости может становиться еще ниже.

Одним из потребителей пара, вырабатываемого участком котельной ОАО «КМЗ» является кооператив «СОЮЗ 6». Поставляемый насыщенный пар используется для отопления производственных помещений. Узел учета пара, потребляемого кооперативом «СОЮЗ 6», находится непосредственно на участке производственного помещения, и представляет собой измерительный комплекс Dymetic-9431.Конструктивно узел учета пара изображен на рис.1. Измерительный комплекс состоит из датчика многопараметрического Dymetic-2731 (измеряет объемный расход пара, избыточное давление и температуру пара), микровычислительного устройства Dymetic-5131 (вычисляет массовый расход, среднее значение температуры и избыточного давления, объем и массу пара за отчетный период, значения тепловой мощности, и т. д.), и цифровой линии связи («L» - на рис.1)

Датчик Dymetic-2731 является вихревым расходомером. Принцип действия датчика заключается в том, что при протекании пара через проточную часть датчика, за телом обтекания образуются пульсации давления пара, улавливаемые пьезоэлектрическими преобразователями пульсаций давления, расположенными за телом обтекания по направлению движения пара. Частота этих пульсаций, измеренная электронной схемой, пропорциональна скорости (объемному расходу) потока пара в проточной части датчика. Для детектирования пульсаций давления, вызванных протеканием пара, используется сложный аппаратно-программный комплекс с применением цифрового процессора сигналов и математических методов спектрального и корреляционного анализа, и цифровой фильтрации [1]. Предел измерения объемного расхода пара для

данного прибора составляет 530 м^3/ч. Прибор способен проводить измерения параметров при степени сухости пара от 0.7 до 1.

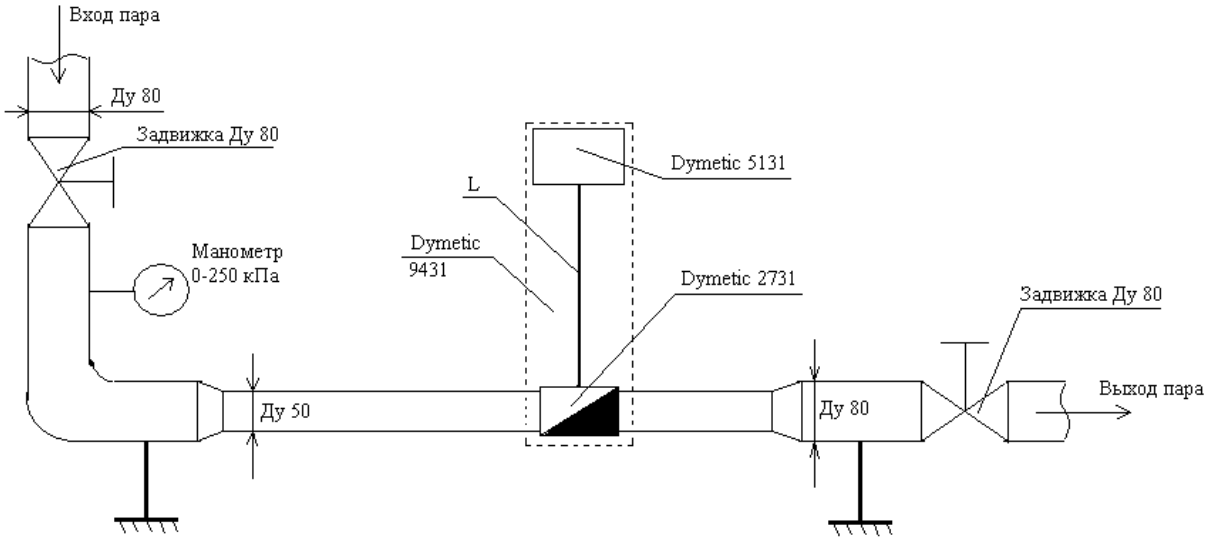

Рис.1. Узел учета пара (до реконструкции).

При проектировании узла учета насыщенного пара использованы следующие исходные данные (техническое задание):

максимальное значение тепловой нагрузки[2]: 1.67 ГДж/ч,

избыточное давление насыщенного пара: 40-100 кПа,

максимальный объемный расход пара: 413 м^3/ч,

температура насыщенного пара: 110-120 ^{0}C.

Узел учета находился в эксплуатации с октября 2014 по апрель 2015 года. При анализе архивных данных, накопленных счетчиком за отчетный период, выявлен ряд недостатков эксплуатации измерительного комплекса Dymetic-9431.

При понижении температуры окружающей среды ниже (-15) ^{0}C, наблюдалось падение давления пара в паропроводе до 10-25 кПа, что существенно ниже расчетных данных (40-100 кПа). Это обусловлено увеличением подачи пара потребителем на обогрев производственных помещений. При этом происходило снижение температуры пара с расчетных 110-120 ^{0}C до 103-108 ^{0}C. Изменение показаний объемного расхода пара при данных параметрах не только превышало расчетное значение (413 м^3/ч), но и превышало предел измерений прибора (530 м^3/ч), что обусловлено уменьшением плотности пара. Кроме того, были замечены скачкообразные изменения измеренных и расчетных величин, зафиксированных как нештатные ситуации в архивной памяти прибора.

На основании анализа комплекса показателей можно сделать вывод, что при падении значения наружной температуры ниже (-15) ^{0}C, недостаток тепла в производственном помещении заставляет абонента увеличивать расход пара, что влечет за собой падение давления пара в

трубопроводе и уменьшение степени сухости пара ниже 0.7. Это недопустимо для измерительной части прибора. При попадании капель пароконденсатной смеси на чувствительные элементы, возникают всплески сигнала, существенно искажающие полезный сигнал. Вообще измерение расхода двухфазных сред – достаточно сложная задача. Именно поэтому в инструкциях по эксплуатации вихревых расходомеров всегда указывается диапазон степени сухости (в нашем случае 0.7-1), при котором возможны (с допустимой точностью) измерения расхода пара. Влияние конденсата на работу чувствительного элемента прибора является принципиальным. Жидкая фаза концентрируется вдоль стенок трубы, препятствует нормальному функционированию встроенных датчиков давления, затапливает и блокирует сенсоры. На основе изложенного сформирован спектр задач для устранения факторов, противодействующих наиболее объективному учету расхода насыщенного пара.

Прежде всего, следует произвести подбор счетчика пара с большим диапазоном измерений, чем Dymetic-9431, верхнее значение шкалы измерений которого 530 $м^3$/ч. Как показала практика эксплуатации Dymetic-9431 в 2014/2015 году, при низкой наружной температуре воздуха, объемный расход пара превышал предел измерений прибора. Это обусловлено давлением пара значительно ниже расчетного (10-25 кПа, вместо 40-100 кПа в техническом задании), и, как следствие, более низкой, температурой и плотностью пара. Изучение рынка промышленных расходомеров насыщенного пара отечественного производства позволило произвести подбор комплекта приборов - Метран-332, производитель – Промышленная группа «Метран», г. Челябинск. Комплекс Метран-332 состоит из датчика многопараметрического Метран-336, устройства микровычислительного Метран-334, и цифровой линии связи.

Характеристики счетчика пара Метран-332:

принцип измерения расхода пара – вихревой,

диаметр условного прохода – Ду 80,

максимальный эксплуатационный расход пара Q_{max}=1500 $м^3$/ч,

степень сухости: 0.7-1,

минимальное избыточное давление пара: 0.8 кПа,

диапазон температур насыщенного пара: 100-200 ^{0}C,

предел относительной погрешности измерений объема пара ±1.5%,

предел относительной погрешности измерений массы пара ±2.5% ,

минимальный объем измеряемой среды (наименьший объем, при котором нормируется погрешность) 6 $м^3$,

основная абсолютная погрешность измерения температуры не более ±0.5 ^{0}C,

пределы допускаемой основной абсолютной погрешности датчика Δр, МПа, при измерении избыточного давления Р, МПа, не превышают значений, определяемых по формуле:

$$\Delta p = \pm 0{,}008 * (P + 0{,}1) \quad , \qquad (1)$$

где Р – измеряемое избыточное давление, МПа [3].

Также необходимо было увеличить степень сухости насыщенного пара выше 0.7. Это может быть достигнуто применением следующих мер:

- установка паросепаратора с автоматической системой отвода конденсата,

- теплоизоляция измерительного участка паропровода,

В качестве теплоизоляции целесообразно применение скорлупы пенополиуретановой «СКР-89» (ТУ 5760-001-54532153-01), толщиной 45 мм.

Пункт учета насыщенного пара, с учетом внесения предлагаемых изменений, выглядит согласно рис. 2.

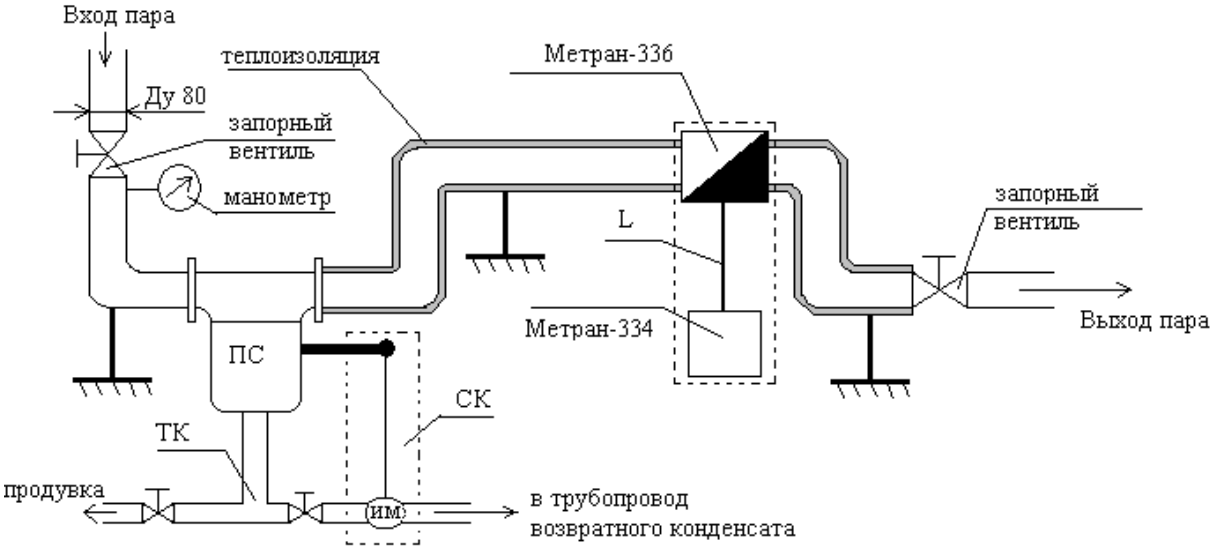

Рис. 2. Пункт учета насыщенного пара с учетом внесенных изменений.

Обозначения на рис.2: ПС – паросепаратор, ТК – трубопровод конденсата, СК – автоматическая система контроля уровня конденсата в паросепараторе, ИМ – исполнительный механизм, L – цифровая линия связи.

Комплекс принятых мер позволяет увеличить степень сухости насыщенного пара до приемлемых, для измерения расхода пара, значений. Что касается точного определения степени сухости насыщенного пара, то это достаточно трудоемкая задача, требующая ряда условий (наличия лабораторной установки, узла отбора проб и др.)[4].

Разумеется, существуют и другие способы увеличения показателя степени сухости насыщенного пара, например, поддержание значительно более высокого давления пара перед узлом учета или установка

пароперегревателя. Но поиск решения задачи увеличения степени сухости, производился исходя из реальных возможностей конкретного предприятия (кооператива «СОЮЗ 6»).

В целом принятые меры (применение комплекса Метран-332 и увеличение степени сухости), несомненно, можно отнести к энергосберегающим технологиям, поскольку они, в конечном итоге, позволяют отслеживать потребление теплоэнергоресурсов (насыщенного пара низкого избыточного давления) с точностью, определяемой заложенными характеристиками средств измерений. Это, в свою очередь, является экономически выгодным для кооператива «СОЮЗ 6». Поскольку при возникновении нештатных ситуаций (всплески сигнала из-за затопления конденсатом чувствительных сенсоров, превышения верхнего значения диапазона измерений датчика Dymetic-2731), записываемых в архивной памяти прибора Dymetic-5131, расчет с поставщиком (ОАО «КМЗ») за поставленный продукт (насыщенный пар) кооператив «СОЮЗ 6» осуществляет на договорной основе. А это гораздо более затратно, чем оплата за поставляемый теплоноситель по показаниям прибора.

Список литературы:

1. Датчик многопараметрический «Dymetic-2731». Руководство по эксплуатации. // 2731.00.00.000 РЭ, - ОАО «Опытный завод ЭЛЕКТРОН», – 2003г.
2. Электронный фонд правовой и нормативно-технической документации. Федеральный Закон «О теплоснабжении», глава 1, статья 2.7 (с изменениями на 29 декабря 2014 года). // [электронный ресурс] – режим доступа: http://docs.cntd.ru/document/902227764# (дата обращения 10.11.15)
3. Устройство микровычислительное Метран-334. Руководство по эксплуатации. // СПГТ.5159.000.00 РЭ, версия 2.0, - Промышленная группа «Метран», г. Челябинск.
4. Способ определения степени сухости пара. (РФ №2421714). // [электронный ресурс] – режим доступа: www.freepatent.ru/patents/2421714 (дата обращения 08.11.15)