

Когда «подача не сходится с обраткой»

Дмитрий Анисимов,
главный специалист ООО «Диамер»,
автор сайта «Теплопункт»

Одной из основных проблем учета воды и тепловой энергии является проблема всякого рода «небалансов» или «несходимостей». «Не сходятся» сумма показаний квартирных водосчетчиков и показания счетчика общедомового. «Не равны» показания теплосчетчика на выходе котельной и показания прибора в здании, которое эта котельная снабжает теплом. А один из самых часто задаваемых на специализированных интернет-форумах вопросов — это вопрос о том, почему не сходятся показания расходомеров в подаче и обратке, и как с этим бороться. Данному вопросу и посвящена наша сегодняшняя статья.

По традиции начнем с теории. Тепло (тепловая энергия) производится на источнике теплоты, в роли которого может выступать котельная, ТЭЦ, ГРЭС. От источника к потребителям тепло передается посредством тепловых сетей. Вместе источник, тепловые сети и отопительные системы потребителей составляют систему теплоснабжения. Системы теплоснабжения бывают открытые и закрытые. В открытой теплоноситель, поступающий от источника теплоты, частично отбирается потребителями — например, на нужды горячего водоснабжения. Поэтому по обратному трубопроводу потребитель возвращает меньшее количество теплоносителя, чем получил по подающему, а для учета потребленного тепла теплосчетчик должен обязательно иметь в своем составе два преобразователя расхода — и в подающем, и в обратном трубопроводах. В закрытой системе теплоснабжения весь теплоноситель, поступающий потребителю, пройдя через систему потребителя и «оставив» там часть своего тепла, возвращается в сеть. Таким образом, в закрытой системе для учета потребленного тепла достаточно теплосчетчика с одним преобразователем расхода, который может быть установлен как в «подачу», так и в «обратку». Последний вариант предпочтительней, т.к. температура в обратном трубопроводе ниже, а значит преобразователь будет работать в более «комфортных» условиях. Однако даже в закрытых системах во многих регионах России «принято» использовать теплосчетчики с двумя расходомерами. Почему? - да потому что в России также «принято» воровать теплоноситель из закрытых систем. Например, для мытья рук, полов, автомобилей, уборки территорий,

заливки катков и пр. Взгляните на фото 1: оно сделано в гараже одного из предприятий в одном из городов Свердловской области. Краники и шланги — а система-то считается закрытой! Вот для контроля таких «ситуаций» и включается в состав теплосчетчиков для закрытых систем второй расходомер. В результате и возникает проблема, которую мы рассматриваем в данной статье: даже в «по-честному закрытой системе» показания расходомеров в подающем и обратном трубопроводах... НЕ СХОДЯТСЯ!

Почему? Прежде, чем попытаться ответить на этот вопрос, давайте определимся с тем, что именно «не сходится».

Вопрос, казалось бы, прост, но отвечают на него по-разному. Не сходятся «цифры», которые мы видим на табло теплосчетчика — а что же эти цифры обозначают? Мы привыкли достаточно небрежно обращаться с понятиями «расход», «объем», «масса». Привыкли к тому, что, если речь идет о воде, то объем и масса «как бы» одинаковы и различаются лишь единицами измерения. Ведь масса — это «произведение плотности на объем», плотность воды равна 1000 кг/м^3 , а значит 1 литр воды «весит» 1 кг, 1 кубометр — тонну и т.д. Все это верно, но только для химически чистой воды при температуре $3,98^\circ\text{C}$ и атмосферном давлении. Для той же воды, но при температуре 110°C и давлении 0,6 МПа (типичные значения для подающего трубопровода) плотность воды составит $951,2164 \text{ кг/м}^3$. При температуре 70°C и давлении 0,4 МПа (типичные параметры для обратного трубопровода) — $977,9126 \text{ кг/м}^3$. Как видим, вода в системе теплоснабжения на пути «от входа к выходу» меняет не только температуру, но и плотность, а значит (поскольку масса есть величина неизменная) — и объем. Т.е. от потребителя по обратному трубопроводу ВСЕГДА ДОЛЖНО уходить меньше «кубометров» теплоносителя, чем пришло по подающему, т.е. небаланс ОБЪЕМОВ — явление, физически обоснованное.

Преобразователи расхода, входящие в состав теплосчетчика, в большинстве случаев измеряют объемный расход, а их выходной сигнал пропорционален объему теплоносителя, прошедшего через преобразователь. Однако большинство теплосчетчиков на табло показывают не только значения измеренного объема, но и так называемый «текущий» или «мгновенный» расход, выраженный в $\text{м}^3/\text{час}$. На самом деле это искусственная величина, она не измеряется, а рассчитывается, и алгоритмы такого расчета в разных теплосчетчиках различаются. Величина «мгновенного расхода» (сам термин, по сути, некорректен) постоянно меняется, причем эти изменения для подающего и обратного трубопроводов могут происходить асинхронно. Поэтому следует иметь в виду, что на «несходимость» этих «мгновенных расходов» также не стоит обращать внимания. И далее мы будем говорить

только о небалансе МАСС теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах, причем за достаточно большие промежутки времени: час, сутки, месяц.

Итак, вот возможные причины такого небаланса.

Погрешности средств измерений

Как известно, измерение — это нахождение значения физической величины опытным путем при помощи специальных технических средств — средств измерений. Измерения осуществляются с некоторой ненулевой погрешностью, вызванной несовершенством средств и методов измерений, неконтролируемыми изменениями условий измерения и т.п. При этом слово «несовершенство» стоит воспринимать в философском, а не в негативном смысле: во-первых, развитие науки и техники ведет к тому, что погрешности измерений становятся все меньше и меньше, во-вторых, на практике нас чаще всего устроят менее точные измерения и менее точные средства измерений по разумной цене, нежели сверхвысокоточные (но все равно не идеально точные) — по заоблачной.

Теплосчетчики, как правило, обеспечивают измерение массы теплоносителя с относительной погрешностью не более 2%. Причем, вопреки распространенному среди неспециалистов мнению, это не означает, что показания прибора всегда на 2% больше (или меньше) истинного значения измеряемой величины. Если б это было так, то мы путем простого вычитания (или сложения) пришли бы к измерениям с нулевой погрешностью. На самом же деле фраза «погрешность измерений не превышает 2%» означает, что для разных экземпляров средств измерений данного типа в различных точках диапазона измерений и при различных — но штатных! — условиях измерений погрешность может изменяться от -2% до +2%, но за эти пределы она не выйдет. Соответственно, и разность масс («подача» минус «обратка») будет ненулевой: в описанном случае она может составлять до 4% от истинного значения массы теплоносителя, причем быть как отрицательной (мнимая или «метрологическая» подпитка), так и положительной (мнимый или «метрологический» водоразбор). И если на первую ситуацию энергоснабжающие организации, как правило, просто закрывают глаза (ибо сложно представить, чтобы потребитель добавлял в систему теплоноситель), то во втором случае... заставляют платить за водоразбор или утечку, которых не было! К сожалению, действующие Правила учета тепловой энергии и теплоносителя никаких разъяснений по данному вопросу не дают. Мы же в рамках данной статьи лишь констатируем факт: небаланс результатов измерения масс теплоносителя в закрытой системе теплоснабжения существует даже в «идеальных» условиях и обусловлен погрешностями средств измерений.

Отличия реального теплоносителя от «идеального»

Когда мы говорим о погрешностях средств измерений, то обычно принимаем во внимание лишь основную погрешность, которая указана в паспорте и определяется для нормальных условий применения этого средства. Если внимательно ознакомиться с другими разделами паспорта или Руководства по эксплуатации любого расходомера, водосчетчика, теплосчетчика, то мы найдем там эти «нормальные» для данного прибора характеристики измеряемой среды: ее температуру и давление, кинематическую вязкость и (для расходомеров определенных типов) ионную проводимость, а также, например, допустимое содержание твердых и газообразных включений. И если температура, давление, вязкость, проводимость теплоносителя в трубопроводе, как правило, удовлетворяют заданным требованиям «автоматически», то количество твердых включений (окалина, мусор) и воздуха — величина непредсказуемая и непостоянная. Между тем влияние на точность измерений они оказывают весьма существенное. А поскольку по подающему и по обратному трубопроводам «грязь» и «воздух» проходят неоднократно, одновременно и в неодинаковых количествах, то и ошибки измерений, ими вызванные, проявляются «асинхронно», что в конечном итоге может приводить к существенному небалансу результатов измерения масс.

При этом влияют твердые и газовые включения не только на работу самого преобразователя расхода, т.е. на измерение объемного расхода, объема, но и на вычисление массы. Дело в том, что тепловычислитель рассчитывает массу как произведение измеренного объема на плотность, при этом берутся значения плотности «нормальной» воды при измеренных температуре и давлении. Реальная же плотность вследствие присутствия в теплоносителе посторонних включений, а также в какой-то степени и от химического состава теплоносителя, отличается от «табличной», что ведет к появлению дополнительной погрешности. Кстати, специалисты отмечают, что при использовании расходомеров переменного перепада давления результаты измерения разности масс теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах «сходятся» гораздо лучше, чем при использовании расходомеров и счетчиков воды многих других типов. Ведь расходомер переменного перепада давления измеряет «сразу» именно массу, а не объем жидкости. К сожалению, сфера применения таких расходомеров ограничена в связи со сложностью их расчета, изготовления и обслуживания.

Ошибки проектирования, монтажа и эксплуатации

Выше мы рассмотрели, если можно так выразиться, объективные причины небаланса результатов измерения масс в трубопроводах систем теплоснабжения. Эти причины объясняются физикой и математикой или, если угодно — несовершенством средств и методов измерений. Однако гораздо чаще причины небаланса гораздо более прозаичны. Это — ошибки или небрежности, допущенные при проектировании узлов учета и монтаже приборов, а также неподобающее обслуживание приборов в процессе эксплуатации. К наиболее распространенным ошибкам проектирования можно отнести:

- Неверный выбор преобразователей расхода по диаметру / диапазону измеряемых расходов. Если расход в системе близок к нижней или верхней границе диапазона преобразователя, то временами он может за эту границу и выходить, а «там» погрешность преобразователя не нормирована. А, например, для тахометрических (механических) водосчетчиков постоянная работа при расходах выше номинального ведет к преждевременному износу механизма и, как следствие, к ухудшению метрологических характеристик.
- Неверный выбор преобразователей расхода по температуре. В большей степени это относится к механическим водосчетчикам, разные модели которых предназначены для работы при температурах до 90, до 130 или до 150°C. Счетчик, рассчитанный на температуру 90 градусов, при 130 может и не отказать, но паспортной точности уже не обеспечит. Что касается вихревых, электромагнитных, ультразвуковых преобразователей, то они, как правило, функционируют при температуре теплоносителя до 150°C. Однако грамотный проектировщик должен найти и учесть данные о дополнительной температурной погрешности преобразователя — эти данные указывает не каждый производитель, но это не значит, что такой погрешности не существует.
- Неверный выбор типа преобразователей. Возможно, спорный пункт. Однако нельзя не соотносить особенности преобразователей, указанные в их документации, с особенностями объекта, такие как характеристики теплоносителя, характеристики окружающей среды, конфигурация трубопроводов, вероятность электрических помех, и пр.
- Неправильный выбор мест монтажа преобразователей, неверный расчет длин прямых участков. Например, преобразователи расхода большинства типов нельзя или не рекомендуется устанавливать на нисходящем участке трубопровода, а некоторые предназначены для монтажа только в горизонтальный трубопровод. Длины прямых участков зависят от того, что этим участкам предшествует: например, после шарового крана, эксплуатирующегося только в положениях «открыто»-«закрыто» длина участка

минимальна, после поворотного затвора, колена, ступенчатого изменения диаметра трубопровода — максимальна.

- Неправильный выбор марки кабеля для подключения преобразователя к вычислителю, применение кабеля чрезмерной длины, неверная схема прокладки кабеля. Во всех этих случаях вследствие воздействия электромагнитных помех или из-за естественного затухания сигнала в кабеле вычислитель получает «не ту» или «не всю» информацию от преобразователя.

Что касается ошибок монтажа, то они могут быть и естественным следствием ошибок проектирования, и отступлениями от проекта, и простой небрежностью. Наиболее распространенные дефекты монтажа это:

- выступающие внутрь трубопровода прокладки;
- наплывы от сварки и окалина внутри трубопровода;
- монтаж преобразователя несоосно трубопроводу;
- несоответствие внутреннего диаметра прямых участков внутреннему диаметру преобразователя;
- неправильный монтаж термопреобразователей;
- небрежно подключенный и неаккуратно «проброшенный» кабель.

Вследствие всех этих ошибок не только возрастают погрешности преобразователей, но и, что более существенно в плане небаланса, преобразователи помещаются в неодинаковые условия. Например, преобразователь в подающем трубопроводе смонтирован верно, а в обратном — нет; у одного преобразователя прокладки в трубопровод не выступают, у другого — выступают весьма значительно, и т.д., и т.п. Результат — разные по величине и знаку дополнительные погрешности измерений, и — растущий небаланс.

Растет небаланс и при отсутствии надлежащего обслуживания приборов учета. Процедуры обслуживания обычно описаны в документации на приборы. Общим правилом является необходимость следить за климатическими условиями в узле учета, состоянием проточной части преобразователей расхода и состоянием контактов.

Итак, мы рассмотрели основные объективные и субъективные причины небаланса результатов измерения масс теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах закрытой системы теплоснабжения. То же самое, впрочем, можно сказать и о небалансе в открытых системах в отсутствие водоразбора. В заключение сделаем из вышесказанного некоторые практические выводы.

Допустим, мы установили теплосчетчик и увидели, что архивные (почасовые, посуточные) значения масс теплоносителя в подающем и обратном трубопроводах «не сходятся». Прежде всего, оцениваем величину небаланса (в процентах): если она меньше удвоенной основной относительной погрешности измерения массы теплосчетчиком, то, в принципе, причин для беспокойства нет. Однако нет и предела совершенству — даже в этом случае нужно удостовериться в том, что причины небаланса объективны. Если же величина небаланса велика, то найти причину просто необходимо.

Для этого первым делом пытаемся выяснить, когда появился небаланс — существовал ли он изначально или возник через какое-то время после сдачи теплосчетчика в эксплуатацию. В первом случае скорее всего имеют место ошибки проектирования и-или монтажа, во втором — ошибки эксплуатации, а может... реальные утечки или несанкционированный водоразбор. Разумеется об утечках или водоразборе можно говорить только тогда, когда знак разности масс «подача минус обратка» положителен.

Водоразбор можно выявить, проанализировав почасовые архивы теплосчетчика, т.к. если кто-то врезал в систему кран и сливает теплоноситель, то делается это, скорее всего, не круглосуточно, а в определенные часы. Утечка же «неуправляема», а значит постоянна. Выявив водоразбор или утечку «в архивах», их нужно выявить и в жизни — выявить и устранить.

Но, допустим, в нашем случае нет ни утечки, ни водоразбора, а небаланс существует. Как мы уже сказали выше, он либо существовал изначально, либо появился в процессе эксплуатации. В первом случае проводим экспертизу проекта и проверку качества монтажа: сделать это можно и самому, но лучше привлечь специалистов. Скорее всего, ошибки будут обнаружены — их останется только исправить. Во втором случае можно попытаться сопоставить время появления небаланса с какими-либо событиями. Например, небаланс мог возникнуть после проведения каких-либо ремонтных работ на объекте, после скачка напряжения в электросети, грозы, затопления подвала и т.п. Но лучше сразу демонтировать преобразователи расхода, осмотреть и при необходимости прочистить их проточные части, провести хотя бы простейшую диагностику, «прозвонить» линии связи с вычислителем. Обязательно нужно проверить и термопреобразователи, т.к. ошибки измерения температуры также ведут к ошибкам измерения массы. Делать все это, разумеется, тоже лучше с привлечением специалистов.

Только в редких случаях найти причины небаланса не удастся. Хотя бывалые монтажники могут рассказать массу случаев о «загадочных» и «заколдованных» объектах, где приборы не работают, несмотря ни на какие усилия и ухищрения специалистов. Но эту

тему мы оставим для апрельского номера журнала...