

Магала В.А., Манин А.Л.

О НЕБАЛАНСЕ РАСХОДОВ В ЗАКРЫТЫХ СИСТЕМАХ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Вопрос об отрицательном небалансе расходов теплоносителя в тепловых сетях закрытых систем теплоснабжения начал возникать с момента активного внедрения узлов учета тепловой энергии. Системы учета тепловой энергии, созданные на базе различных первичных преобразователей расхода, достаточно часто фиксируют отрицательный небаланс, т.е. расход в обратном трубопроводе заметно превышает расход в подающем трубопроводе, что как бы противоречит здравому смыслу. Естественно первая реакция – несовершенство преобразователей расхода: несоответствие реальных метрологических характеристик заявленным, влияние температуры на погрешность определения расхода (уменьшение расхода в подающем и увеличение расхода в обратном трубопроводах) и др. [1]. Одним словом – во всем были виновны преобразователи расхода. Но прошло время – появились преобразователи расхода с достоверными и стабильными во времени метрологическими характеристиками (преобразователи с независимостью от температуры теплоносителя и преобразователи с термокоррекцией). Но отрицательный небаланс остался. И в этой связи следует отметить, что отрицательный небаланс имеет место не в узле учета, а в системе, включающей узел учета и измеряемый теплоноситель. Так в материалах [1] отмечается, что после испытаний на поверхности деталей преобразователя расхода обнаружены металлическая стружка и другие инородные тела. Преобразователь расхода при этом выдавал некорректную информацию. И это на экспериментальной установке, исследующей различные типы систем учета, т.е. в идеальных условиях. В реальной жизни все намного хуже. Любые попытки предъявить претензии к неудовлетворительному качеству теплоносителя, содержащего как правило продукты коррозии, окалину сварных швов, ветошь, грязь и т.п., завершаются требованием создать прибор, не реагирующий на указанные выше включения. Более того, заказчиком часто не допускаются к участию в тендере поставщики вихревых, тахометрических и других преобразователей, имеющих неподвижные или подвижные конструктивные элементы в проточной части, из – за дополнительного сопротивления (вихревые, тахометрические и др.) и возможности выхода из строя механической части (тахометрические, турбинные и др.). В среде потребителей преобразователей расхода культивируется понятие о полнопроходных (электромагнитных, ультразвуковых) преобразователях как о панацее от всех тех недостатков, которыми обладают теплоносители в России, при этом абсолютно никто не

сомневается в их метрологических характеристиках на таких теплоносителях. Но в такой ситуации преобразователи расхода в подающем и обратном трубопроводах работают в существенно разных условиях. Через преобразователь в подающем трубопроводе течет теплоноситель со всей грязью, не выловленной грязевиком и магнитомеханическим фильтром. По пути к преобразователю в обратном трубопроводе теплоноситель проходит через теплообменные аппараты, скорость в которых на один - два порядка меньше, чем в подающем трубопроводе, вследствие чего они являются как бы отстойниками для удаления оставшейся грязи из теплоносителя, степень очистки в которых зависит от времени пребывания теплоносителя в области низких скоростей. В таких условиях преобразователь расхода в обратном трубопроводе подвержен значительно меньшему влиянию теплоносителя на качество сигнала (вихревых, электромагнитных и ультразвуковых) преобразователей расхода и может (и должен) измерить расход, больший чем в подающем трубопроводе. Влияние это в основном обусловлено не налипанием частиц на поверхности преобразователя, а искажением магнитных полей в преобразователях вихревом и электромагнитном, и отражением сигнала от механических включений в ультразвуковом. Уровень этого влияния зависит от степени загрязнения теплоносителя и колеблется от 0 до 70 % и более.

Но у теплоносителя имеются включения, которые, в отличие от грязи, практически невозможно увидеть. Речь идет о газовой фракции теплоносителя – нерастворенном воздухе. Вообще – то с наличием воздуха (кислорода в частности) в теплоносителе борются. С этой целью все источники тепловой энергии оборудуются деаэраторами, но не везде и не всегда они находятся в функционирующем состоянии. Размеры пузырьков нерастворенного воздуха в теплоносителе колеблются в широких пределах от 10^{-6} м и менее до 1 мм и выше. Частицы воздуха с размером пузырьков газовой фракции менее 0.001 мм обладают значительной устойчивостью и трудно поддаются деаэрации [2]. Т.е. даже наличие функционирующего деаэрата не гарантирует отсутствие газовой фракции в теплоносителе. Воздух как правило поступает в теплоноситель, подсасываясь через неплотности на всасывающих участках циркуляционных насосов. Содержание воздуха в воде варьируется в широких пределах от 0.001% (деаэрированная вода в закрытых сосудах) до 5% и более в трубопроводах водо – и теплоснабжения с принудительной циркуляцией. В трубопроводах с невысоким

качеством уплотнений содержание воздуха может достигать 10% [2]. И в этом случае, как показывают авторы, снижение температуры на 20 °С и давления на 0.25 ÷ 0.50 от его значения в подающем трубопроводе увеличивает объемный расход в обратном трубопроводе, при объемном содержании воздуха 10%, от 2 до 4 %. Вот и сводите балансы, и рассуждайте о качестве преобразователей.

Вернемся к нерастворенному воздуху в теплоносителе. Рассмотрим газовоздушную фракцию нерастворенного воздуха в воде как сферические пузырьки, давление внутри которых определяется суммой давления в жидкости и дополнительного давления, обусловленного поверхностным натяжением жидкости на поверхности раздела (поверхности воздушного пузырька) [3]

$$p := p_{ж} + \frac{4 \cdot \sigma}{d}$$

где:

p – давление воздуха внутри воздушного пузырька, Па

$p_{ж}$ – давление в жидкости, Па

σ – поверхностное натяжение Н/м(Дж/м²)

d – диаметр сферы воздушного пузырька, м.

Для воды при температуре 20°С поверхностное натяжение составляет 0.07275 Н/м(Дж/м²), и при увеличении температуры уменьшается до полного исчезновения при **кипении** воды [4].

Согласно [5] зависимость поверхностного натяжения воды от температуры можно представить в виде

$$\sigma(t) := 75.64 \cdot 10^{-3} \cdot e^{-2.56 \cdot \left(\frac{t+17}{t+273} \right)^2}$$

Чем меньше диаметр пузырька, тем выше давление в нем, так при температуре воды + 20 °С и диаметре сферы $d = 10^{-6}$ м давление внутри нее составит 0.291 МПа, при диаметре 10^{-7} м давление

составит 2.91 МПа, пузырьки таких размеров дрейфуют со скоростью всплытия, близкой к нулю, почему они практически не могут быть удалены при деаэрации.

С учетом вышеизложенного объем нерастворенного воздуха в воде в обратном трубопроводе $V_{обр}$, отнесенный к объему в подающем трубопроводе $V_{под}$,

$$V(d) := \frac{V_{обр}}{V_{под}}$$

(после прохождения системы теплообмена) для конкретной дисперсности нерастворенного воздуха (диаметра пузырьков d) можно представить в виде

$$V(d) := \left(1 + \frac{\Delta t}{t_o + 273}\right) \cdot \frac{1 + \frac{4 \cdot 0.07564 e^{-2.56 \cdot \left(\frac{t_o + 17}{t_o + 273}\right)^2}}{p_o \cdot d}}{1 + \left(\frac{\Delta p}{p_o}\right) + \frac{4 \cdot 0.07564 e^{-2.56 \cdot \left(\frac{t_o + \Delta t + 17}{t_o + \Delta t + 273}\right)^2}}{p_o \cdot d \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{1 + \frac{\Delta p}{p_o}}}} \cdot \left(1 + \frac{\Delta t}{t_o + 273}\right)}$$

где: p_o и t_o – давление и температура в подающем трубопроводе

Δp и Δt – перепад давления и температуры в системе отопления

На рис. 1, 2, 3 и 4 представлены зависимости, характеризующие после прохождения системы теплообмена $V(d)$, и относительное изменение объемного расхода δQ % в обратном трубопроводе относительно подающего, для элеваторных и безэлеваторных систем теплоснабжения при первоначальном объемном содержании нерастворенного воздуха 5 и 10 % для среднесезонной температуры окружающей среды -4 °С (Калужская обл., Подмосковье). Для анализа выбраны системы с давлением в подающем трубопроводе 0.25 МПа, перепад давлений при

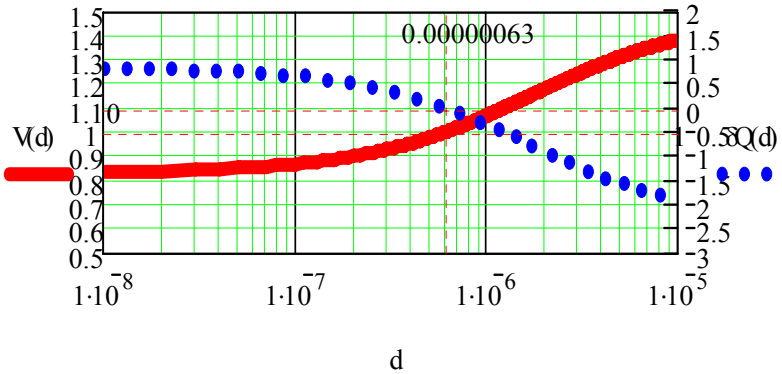
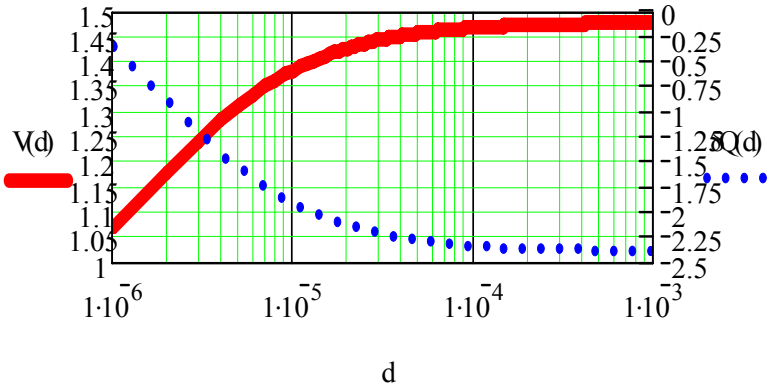


Рис. 1 Относительный объем нерастворенного воздуха $V(d)$ и изменение объемного расхода δQ в обратном трубопроводе (график теплоснабжения 150/70 °С, среднесезонная температура - 4°С, объемное содержание нерастворенного воздуха в подающем трубопроводе 5 %)

— относительный объем
 изменение объемного расхода (небаланс)

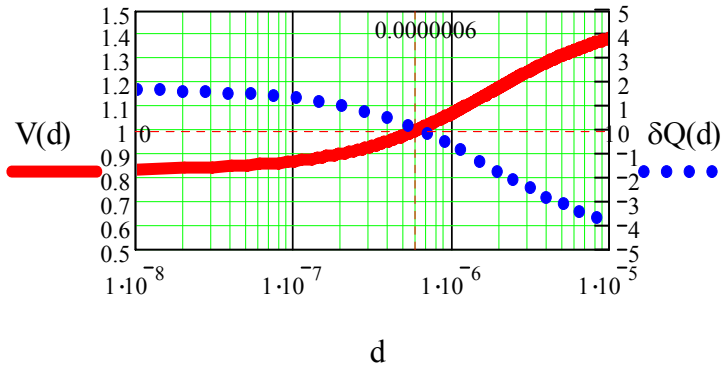
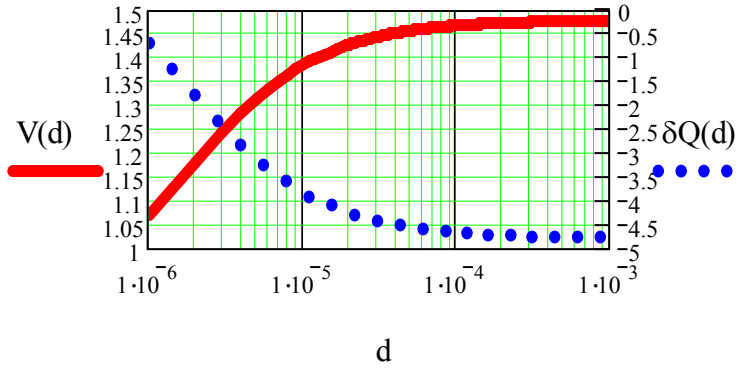


Рис. 2 Относительный объем нерастворенного воздуха $V(d)$ и изменение объемного расхода δQ в обратном трубопроводе (график теплоснабжения $150/70$ °С, среднесезонная температура -4 °С, объемное содержание нерастворенного воздуха в подающем трубопроводе 10%)

— относительный объем
 изменение объемного расхода (небаланс)

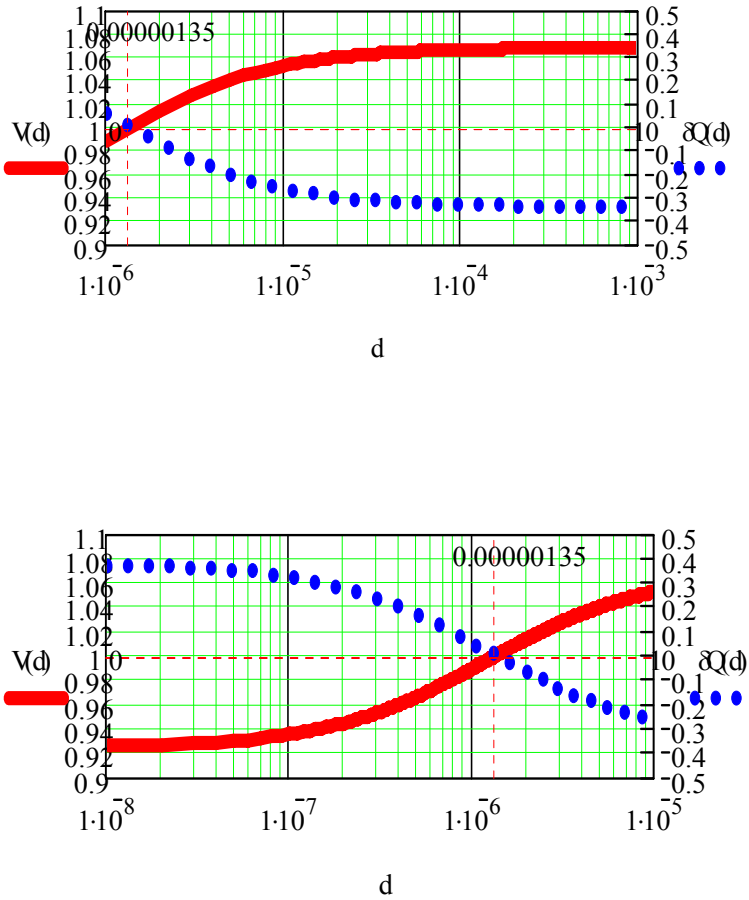


Рис.3 Относительный объем нерастворенного воздуха $V(d)$ и изменение объемного расхода δQ в обратном трубопроводе (график теплоснабжения 95/70 °С, среднесезонная температура - 4°С, объемное содержание нерастворенного воздуха в подающем трубопроводе 5%)

— относительный объем
 изменение объемного расхода (небаланс)

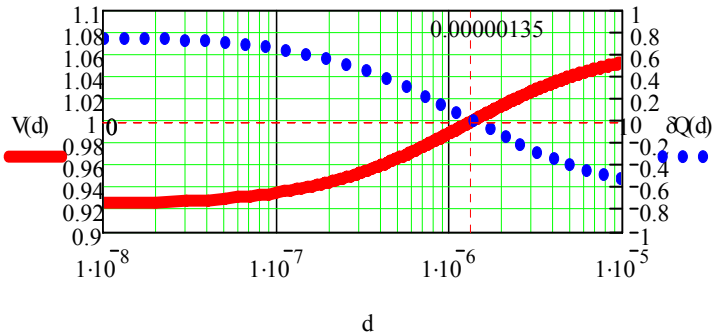
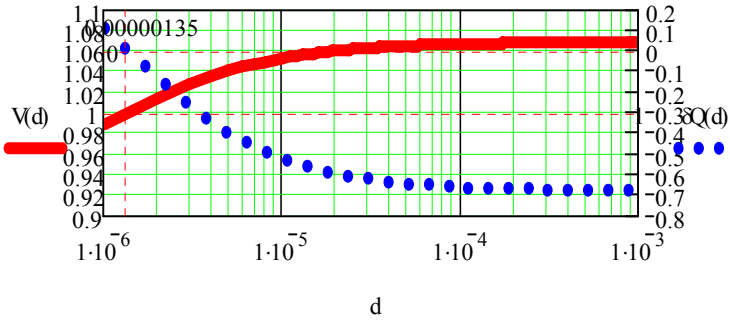


Рис.4 Относительный объем нерастворенного воздуха $V(d)$ и изменение объемного расхода δQ в обратном трубопроводе (график теплоснабжения 95/70 °С, среднесезонная температура - 4°С, объемное содержание нерастворенного воздуха в подающем трубопроводе 10 %)

— относительный объем
 изменение объемного расхода (небаланс)

элеваторной схеме принят (-0.1) МПа, при безэлеваторной (- 0.025) МПа. Перепад температур принят для элеваторной схемы (-41) ° С, для безэлеваторной (- 13) ° С. Главный вывод из анализа представленных зависимостей – при наличии в теплоносителе нерастворенного воздуха в виде воздушных пузырьков с дисперсностью $d \geq 10^{-6}$ м прохождение последнего через систему теплообмена сопровождается увеличением объемного содержания нерастворенного воздуха и появлением отрицательного небаланса, уровень которого определяется объемным содержанием и параметрами теплоносителя (давление, температура, дисперсность газовой фракции в теплоносителе) в подающем трубопроводе. При безэлеваторной схеме отрицательный небаланс соизмерим с погрешностью преобразователя расхода, а при элеваторной схеме превышает ее на порядок, чего не замечать просто невозможно. Положительный небаланс в расходе теплоносителя, при наличии нерастворенного воздуха и отсутствии утечек, может иметь место только при диаметрах воздушных пузырьков $d < 10^{-6}$ м. Однако у теплоносителя при прохождении через теплообменные аппараты имеется время для возможного слияния воздушных пузырьков в более крупные фракции. Процесс этот не прогнозируем и не контролируем в количественном исчислении. При объединении n воздушных пузырьков одинакового объема (диаметром d) создается воздушная сфера с диаметром D

$$D := d \cdot \sqrt[3]{n}$$

и вследствие уменьшения давления из-за уменьшения поверхностного натяжения результирующий объем объединившихся пузырьков окажется больше объема n соединившихся пузырьков, следовательно увеличится объемная концентрация воздуха и как следствие увеличится объемный расход. Процесс этот постоянный.

Существует комплекс – измеряемая среда и узел учета. Невозможно добиться порядка, требуя такового только от узла учета. Необходимо, чтобы и измеряемая среда соответствовала предъявляемым к ней требованиям. Иначе будем иметь то, что имеем.

Так какой же вывод следует из всего изложенного?

Для замкнутых систем теплоснабжения , при наличии в теплоносителе нерастворенного воздуха, продуктов коррозии или какой-либо иной грязи, отрицательный небаланс наиболее вероятен и не должен вызывать вопросов и недоумения (естественно при

правильном монтаже, содержании в исправном состоянии узлов учета и отсутствии утечек).

Положительный небаланс в этом случае маловероятен, но в отличие от отрицательного небаланса не вызывает у специалистов вопросов.

Литература.

1. С.Н. Канев, А.П. Глухов, А.А. Старовойтов. Результаты эксплуатационных испытаний систем учета тепла. «Коммерческий учет энергоносителей» Материалы IX Международной научно – практической конференции 20 0 22 апреля 1999 г. «Политехника», Санкт – Петербург, 1999.
2. Е.Г. Абарин, В.Л. Крушев, А.В. Михневич О влиянии газовой фазы водяного теплоснабжения на изменение выходной скорости теплоносителя в закрытых системах. «Коммерческий учет энергоносителей» Материалы IX Международной научно – практической конференции 20 - 22 апреля 1999 г. «Политехника», Санкт – Петербург, 1999.
3. У. Слейбо, Т. Персонс Общая химия. Перевод с английского Издательство МИР Москва 1979
4. А.Д. Альтшуль, Л.С. Животинский, Л.П. Иванов Гидравлика и аэродинамика Москва Стройиздат 1987
5. Холманский А.С. Линейные аппроксимации температурных зависимостей свойств воды УДК 556.013 ГНУ ВНИИ электрификации сельского хозяйства.

Сведения об авторах:

Магала Владимир Александрович, заместитель директора, к.т.н., ЗАО НПО «Промприбор» 248001, г. Калуга, ул. Складская, 4., т/ф (4842) 550-248, 556-583

Манин Андрей Львович, технический директор, ЗАО НПО «Промприбор» 248001, г. Калуга, ул. Складская, 4., т/ф (4842) 550-248, 550-438