

НЕСХОДИМОСТЬ ПОКАЗАНИЙ РАСХОДОМЕРНЫХ УСТАНОВОК

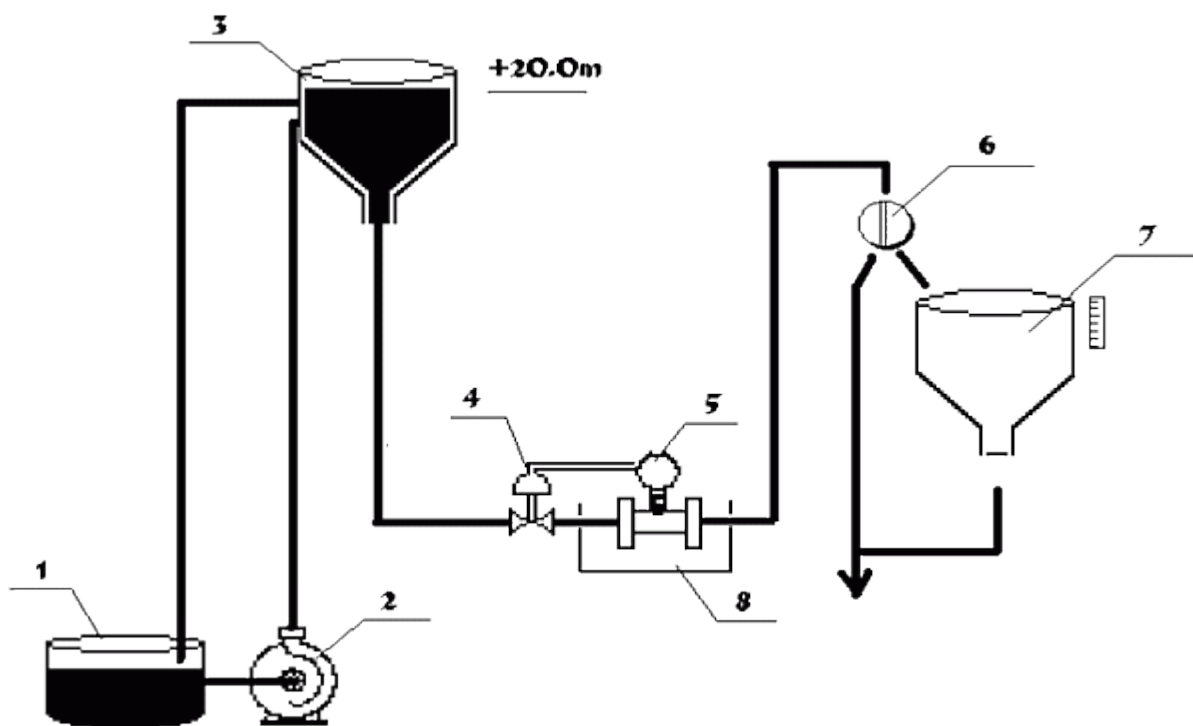
В. В. Тамми, АО «Аситром», Таллинн

Тема сличений расходомерных установок в РФ в последние годы становится всё более предметной. Особенную пикантность этой теме придаёт множасьее с огромной скоростью количество установок с нормированными характеристиками, близкими к Эталону.

Не секрет, что некоторые попытки провести сличения установок уже проводились, результаты большинства из них по-прежнему пылятся на полках.

В этой статье мы попробуем поделиться псевдопрактическим опытом сличения мифических установок А и Б с использованием меры сличения — СИ высокой точности.

Классическая установка с напорным баком и объёмным методом измерения приведена на рисунке ниже.

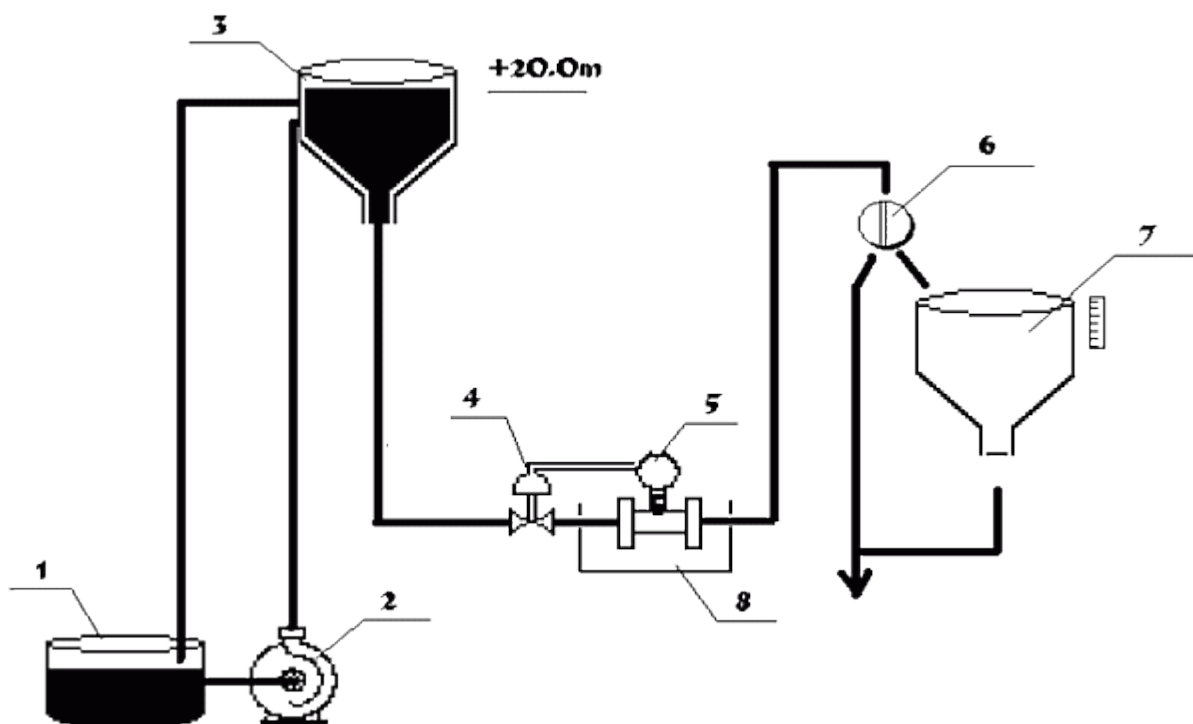


1 – Накопительный бак; 2 – Насос; 3 – Напорный бак с переливом; 4 – Регулирующий вентиль; 5 – Испытуемое СИ, погрешность $\pm 0,2\%$; 6 – Переключатель потока; 7 – Измерительный бак; 8 – Измерительный участок

Объёмный метод, погрешность установки $\pm 0,15\%$.

Погрешность испытываемого СИ по показаниям установки — плюс $0,18\%$.

Не менее классическая установка с напорным трубопроводом и весовым методом измерения приведена на рисунке ниже.



1 – Накопительный бак; 2 – Насос; 3 – Воздухоотделитель+успокоитель;
4 – Регулирующий вентиль; 5 – Испытуемое СИ, погрешность $\pm 0,2\%$; 6 –
Переключатель потока; 7 – Измерительный бак на весах; 8 –
Измерительный участок

Весовой метод, погрешность установки $\pm 0,015\%$.

Погрешность испытуемого СИ по показаниям установки — минус 1,18 %.

Разность погрешностей испытуемого СИ на двух установках составляет 1,36 %.

С учётом сведений из свидетельств о поверке всех трёх СИ:

$(\pm 0.15\%) \pm (\pm 0.20\%) \pm (\pm 0.015\%) \sim 1.36\% ???$

Если указанный результат повторяется, обычно результаты не публикуются, а для широкой публики обнародуются причины метафизического характера: закрутки, пульсации, профили, надо подумать... и прочее....

Отметим, что назначение установок последующих за эталоном разрядов — передача единицы измерения, в данном случае — $\text{м}^3/\text{ч}$.

Со временем делать особенно нечего, поэтому рассмотрим составляющую — м^3 .

Практически во всех случаях работы с водой, к расчётам и при обработке результатов принимаются свойства обеднённой (дистиллированной) воды. На практике же мы имеем дело с обычной живой водой.

В нормальных условиях вода содержит в себе некоторое количество растворённого воздуха. В литературе достаточно легко можно найти данные по содержанию кислорода в воде.

Растворенный кислород находится в природной воде в виде молекул O_2 . На его содержание в воде влияют две группы противоположно направленных процессов: одни увеличивают концентрацию кислорода, другие уменьшают ее.

К числу первых относятся поглощение кислорода из атмосферы, аэрация. Содержание кислорода уменьшается меньше теоретически возможного в силу протекания процессов, уменьшающих его концентрацию, а именно: потребления кислорода различными организмами, реакций окисления и т.п.

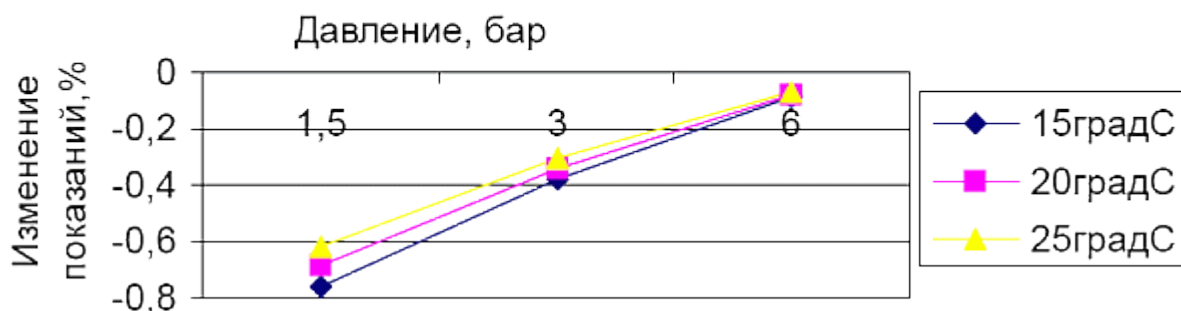
Значения максимальной концентрации кислорода в литре воды от температуры (Атмосферное давление 760 мм рт.ст., парциальное давление кислорода $p = 0,209$ атм) и максимальной концентрации воздуха в воде без газообразования приведены в таблице.

Температура	Конц. O_2 , мг/л	Объём O_2 , см ³	Воздух, см ³	Плотность ГССД, кг/л	Плотность с воздухом, кг/л, идеальная
15°C	10.03	7.16428	34.2788	0.99920	0.96499
20°C	9.02	6.44285	30.8270	0.99830	0.96756
25°C	8.18	5.84285	27.9562	0.99705	0.96922

Проведём метрологическую оценку влияния наличия воздуха в воде, принимая для оценки значения максимальной концентрации.

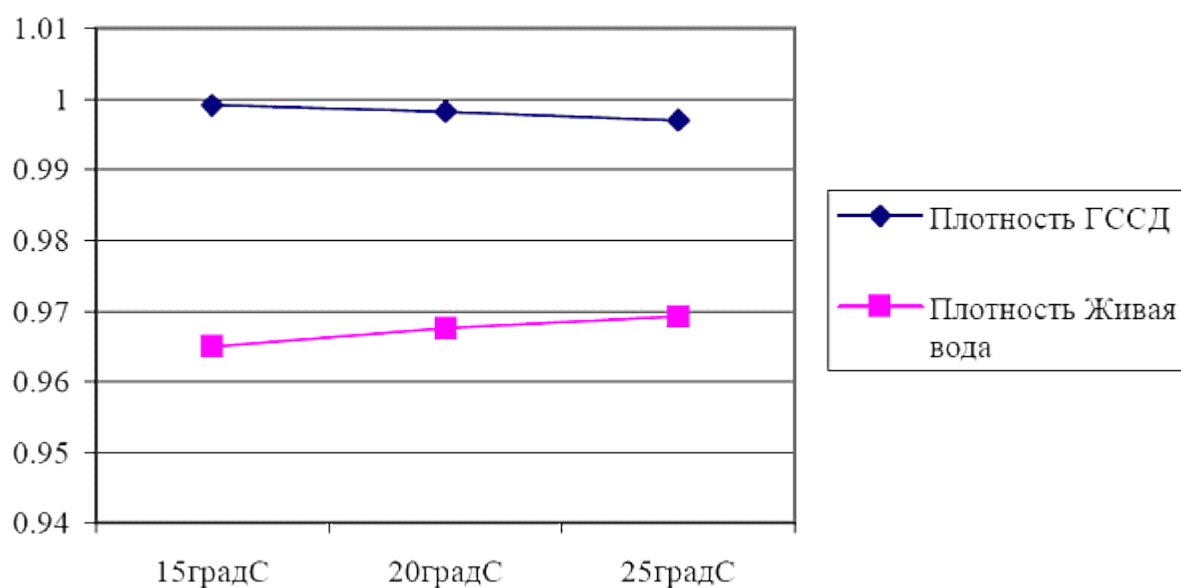
Главный неутешительный вывод — вода становится сжимаемой жидкостью. Соответственно появляется зависимость показаний приборов, установленных на измерительный участок, от изменения значения давления, см. график ниже.

Изменение показаний прибора, приведённое на изменение давления



Второй неутешительный вывод — зависимость изменения плотности реальной воды от температуры меняет знак, см. график ниже, на противоположный.

Изменение плотности воды от температуры



В комбинации указанных факторов мы можем иметь до 4% погрешности определения значения воспроизводимого расхода в измерительном участке в диапазоне давления от 0 до 6 бар и в диапазоне температур от 15 до 25°C.

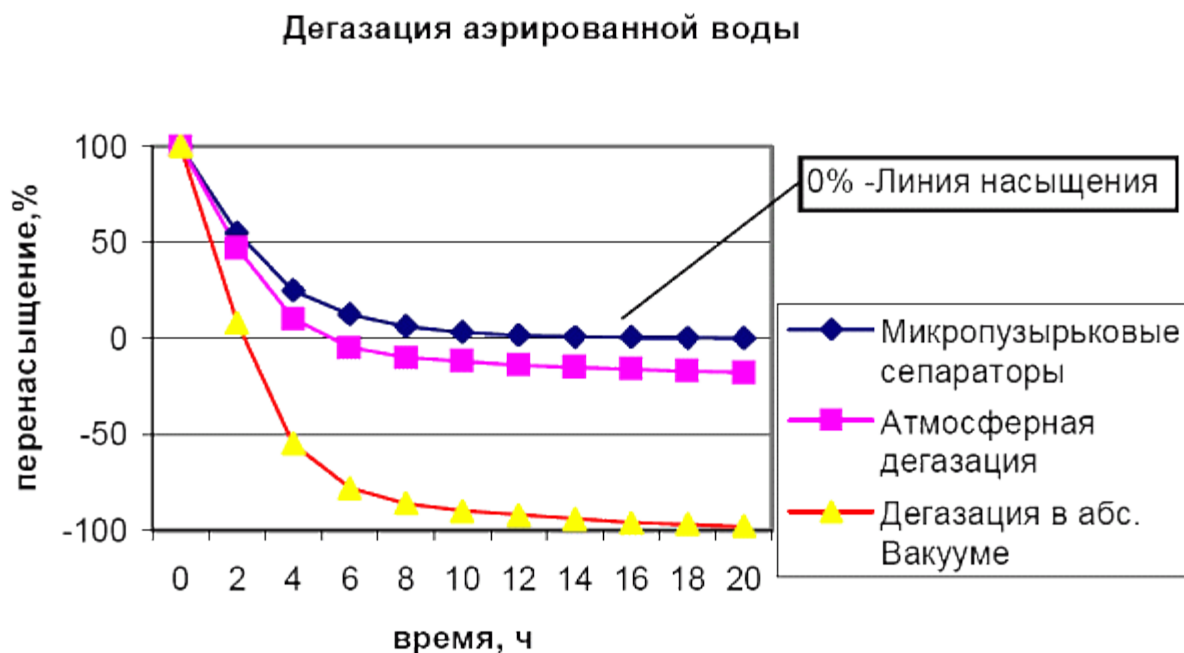
Таким образом, в установках мы получаем комплекс факторов:

- плотность (как-то можно измерить в реальных условиях эксплуатации).
- коэффициент сжимаемости воды — не для химлаборатории задача, но решаемая.
- реальная температурная зависимость воды — безнадёжно в общем случае.

Замечание для неисправимых оптимистов: процессы, которые происходят на молекулярном уровне, контролируются только на молекулярном уровне, т.е. лопатой этот воздух не отгребёшь!

Но допустим, что нам удалось решить практически нерешаемую задачу и учесть все вышеизложенные факторы. Эврика!!!!? Не тут-то было!

Как известно, вода при прохождении гидравлического тракта подвергается аэрации вследствие эжекции, срыва струи на острых кромках, свободного падения. Степень аэрации воды не ограничивается каким-то числовым значением, а зависит от конфигурации всего гидравлического тракта. Практически, степень перенасыщения воды в установке зависит только от конструктивных особенностей установки, качества инженерных решений и фактического исполнения. В литературе удалось найти перепечатку с зарубежных исследований на предмет дегазации перенасыщенной воды, см. график ниже.



Дегазация, хоть и возможная механическими методами, приводит в лучшем случае к стабилизации процентного перенасыщения воды воздухом, причём, для случая аэрации, имеет пропорциональную зависимость от значения воспроизводимого расхода и объёма накопительного бака, т.е переменная постоянная.

Для оценки сверху влияние аэрации можно принять равным влиянию насыщения воды воздухом при нормальных условиях. И успокоиться.

Выводы:

1. С учётом неопределённости параметров Эталоны расхода в части физико-химических свойств используемой воды, достаточно трудно говорить о корректной передаче единицы — м³/ч.
2. С учётом неопределённости определения плотности и поведения плотности воды для температурного диапазона нормальных условий — 20±5°C даже без учёта сжимаемости и аэрации очень трудно говорить о расходомерных установках последующих за эталоном разрядов класса 0,1 и лучше.
3. Возвращаясь к началу: (±0.15%) ± (±0.20%) ± (±0.015%) = 1.36% !!!, и даже больше, если необходимо.
4. А ведь ещё есть закрутки, пульсации, профили и прочая....