

0716212-1

На правах рукописи

КРИКУН АРТЕМ НИКОЛАЕВИЧ

**ИЗМЕРЕНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РАСХОДОВ
ОСРЕДНЯЮЩИМИ НАПОРНЫМИ ТРУБКАМИ
В НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИХ УСЛОВИЯХ**

05.14.05 – Теоретические основы теплотехники

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Казань – 2000

Работа выполнена на кафедре автоматизации и информационных технологий Казанского государственного технологического университета, а также во Всероссийском научно-исследовательском институте расходометрии.

Научные руководители: – доктор технических наук
профессор А.В.Фафурин
кандидат технических наук,
доцент С.В.Юшко

Официальные оппоненты: – доктор технических наук,
профессор Н.А.Николаев
кандидат технических наук
доцент В.И.Панченко

Ведущая организация – Всероссийский научно-исследовательский институт углеводородного сырья

Защита состоится 30.06 2000 года в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 063.37.02 в Казанском государственном технологическом университете по адресу: г.Казань, ул.К.Маркса, 68 (зал заседаний Ученого Совета).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке КГТУ.

Автореферат разослан 4.05 2000 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 063.37.02



А.Г.Лаптев

НАУЧНАЯ БИБЛИОТЕКА
КФУ



0000947874

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Важнейшей задачей современной измерительной техники вообще и особенно техники измерения расхода, количества и вместимости веществ, является создание условий для контроля за достоверностью показаний работы приборов, проведение калибровки и аттестации приборов на уровне, обеспечивающим их непрерывное совершенствование. Эта задача ставится особенно актуально в наши дни из-за того, что цены на энергоносители постоянно увеличиваются. И в связи с этим из-за неточного учета количества энергоносителей, сырья или готовой продукции промышленности в целом и предприятия в частности несут огромный материальный ущерб.

Недостаточное развитие метрологического обеспечения, начиная с отсутствия полноценной научно-экспериментальной базы и кончая подготовкой специальных кадров – это одна из основных причин того, что существующая техника измерений еще не отвечает запросам современного высокоуровневого производства. Измерения расхода и количества веществ находят широкое применение в самых различных отраслях народного хозяйства: нефтяной, нефтеперерабатывающей, газовой, химической и др. По показаниям приборов расхода и количества осуществляется планирование норм расхода и потерь веществ, учет их при хранении, отпуске и распределении, обеспечение оптимальности технологических процессов, что и определяет качество выпускаемой продукции.

Реально работающие газопроводы и водоводы эксплуатируются в различных климатических зонах, где температура окружающей среды изменяется в очень больших диапазонах (в районе крайнего севера России, южная зона – Краснодарский край, Ставрополье, Ростовская область и т.п.). Помимо этого, наблюдаются достаточно большие колебания температуры при эксплуатации газо- и водопроводов в дневное и ночное время суток, даже в пределах какого-то конкретного района.

Поэтому экспериментальные и теоретические исследования в области измерения расхода жидкостей и газов представляются актуальной задачей.

Цель работы. Исследование влияния на коэффициент расхода амплитуды и частоты наложенных на поток пульсаций при различных значениях расходов и диаметрах рабочих участков. Разработка на основании полученных экспериментальных данных методики расчета узла измерения расходов посредством ОНТ. Определение влияния температуры внешней среды на коэффициент расхода ОНТ в стационарном и нестационарном режимах.

Научная новизна работы:

– подтверждены ранее полученные теоретические разработки о влия-

нии на коэффициент расхода геометрических параметров осредняющих напорных трубок;

– получены закономерности зависимости коэффициента расхода ОНТ от величин расходов жидкостей в стационарных и нестационарных условиях для труб диаметром 50, 100 и 150 мм;

– проведено исследование влияния гидродинамической нестационарности (периодические пульсации расхода) на коэффициент расхода ОНТ в диапазоне частот (от 0.4 до 4.2 Гц) и амплитуд (от 9.3 до 13.5%) при измерении расходов жидкостей;

– проведено исследование совместного влияния температуры внешней среды и расходной нестационарности на коэффициент расхода ОНТ.

Научная и практическая значимость работы.

Работа выполнялась в рамках научно-исследовательских работ НИОКР "Химия и химическая технология" Республики Татарстан. Практическое значение полученных результатов состоит в разработке узла измерения расхода жидкостей и газов, в состав которого входит рабочий участок с осредняющей напорной трубкой. Узел измерения расхода прошел натурные испытания на предприятиях АО "Нижнекамскнефтехим". Применение узла измерения расхода для измерения количества жидкостей и газов на основе ОНТ позволяет резко снизить технологическое время на замену измерительного элемента при значительно более высокой точности измерения (не более 1.5%).

Апробация работы. Отдельные разделы диссертационной работы докладывались на итоговых научно-технических конференциях КГТУ, оформлены в виде научно-технических отчетов по научной работе.

Публикации. По теме диссертации имеется семь публикаций.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 132 страницах машинописного текста, содержит 16 таблиц, 60 рисунков и библиографию в количестве 72 наименований.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, выводов, списка использованной литературы и приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе приведен аналитический обзор стационарных и нестационарных турбулентных течений жидкостей и газов, описаны требования, предъявляемые к расходомерам и счетчикам количества жидкостей и газов. Обобщены данные о зависимости расходов от местной скорости потока, рассмотрены гидродинамические аспекты нестационарных и квазистационарных течений. Рассмотрены применяемые в настоящее время расходомеры и счетчики количества описаны требования к ним, которые включают в себя такие характеристики, как повышение точности и надежности измерения, улучше-

ние динамических свойств приборов и увеличения диапазонов измерения, расширение границ параметров и номенклатуры измеряемых веществ. Приведена классификация расходомеров и счетчиков количества жидкостей, пара и газов, включающая в себя около двадцати методов измерений, из которых, несомненно, наибольшее значение для промышленности имеют методы измерения на основе переменного перепада давления.

Показано, что обращение к ОНТ обусловлено возможностью ее эксплуатации при значительных расходах в условиях, когда недопустимы потери давления при измерениях, есть трудности с установкой сужающих устройств и т.д. Среди всех типов напорных устройств основными и наиболее широко используемыми являются напорные трубки, которые называют трубками Пито, Пито-Прандтля, Пито-Браббе и т.п. в зависимости от вида обтекаемой носовой части трубки. Рассмотрены конструктивные особенности применяемых напорных трубок и описаны условия их применения в зависимости от параметров измеряемых потоков.

Проведенный анализ нестационарных течений жидкости, способов измерения скоростей и расходов, а также приборов, основанных на зависимости перепада давления от скорости потока, позволил сделать вывод о том, что для более точного измерения скоростей и расходов сред необходимо знать характер и специфику процессов, протекающих в потоке и в измерительном приборе. В некоторых, наиболее простых случаях взаимодействие потока и измерителя доступно теоретическому анализу, однако, использование более сложных устройств, таких как осредняющая трубка, не позволяет определить основные характеристики измерителя и провести их оптимизацию с целью выдачи конкретных рекомендаций без дополнительной экспериментальной информации. Помимо этого, в литературе нет конкретных сведений, определяющих влияние таких характеристик нестационарных потоков, как частота и амплитуда колебаний, на показатели измерителей, основанных на использовании осредняющих напорных трубок.

Указано, что в связи с непрекращающейся тенденцией увеличения стоимости природных ресурсов и энергоносителей, разработка высокоточных приборов для измерения расходов жидкостей и газов имеет актуальное значение, а получение научных сведений о влиянии различных факторов потока на поведение приборов для измерения расходов – реальное практическое применение.

Во второй главе изложены исследования расхода с использованием осредняющих напорных трубок, которые проводились на Государственном первичном эталоне, расположенном в г. Казани во ВНИИРе – Всероссийском научно-исследовательском институте расходомерии ранее, до 1991 года – Всесоюзный научно-исследовательский институт расходомерии.

Эталон состоял из следующего комплекса средств измерений и аппаратуры: (рис.1).

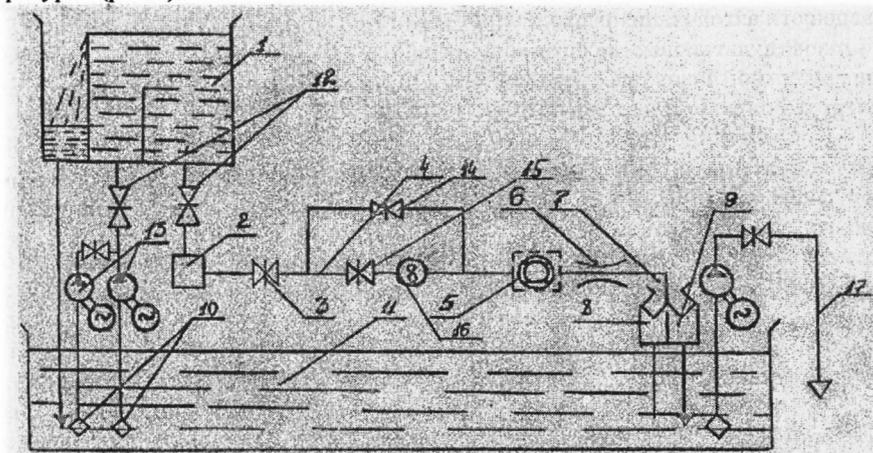


Рис.1. Принципиальная схема эталонного комплекса с рабочим участком

аппаратура для измерения количества жидкости в единицах массы;
аппаратура для измерения интервала осреднения;
быстродействующий переключатель потока;
напорная система (система подачи и стабилизации потока);
устройство регулирования расхода;
система хранения рабочей среды;
испытательный трубопровод с запорной арматурой;
пульт управления.

Жидкость из системы хранения рабочей среды (11) насосом (13) подается в бак постоянного напора (1) с переливным устройством. Из напорного бака жидкость через форкамеру (2) поступает в исполнительный участок (4), переключатель потока (7), пролетный бак (8) и затем в систему хранения рабочей среды.

Постоянный расход обеспечивается за счет постоянного уровня жидкости в напорном баке.

Избыточная жидкость по сливному трубопроводу отводится в систему хранения рабочей среды. После стабилизации потока при требуемом расходе переключатель переводится на измерение, и жидкость поступает в весовой бак. С этого момента производится отсчет времени наполнения весового бака. При переключении переключателя потока на пролет измеритель времени

отключается. Действительный расход определяется по массе жидкости в ве-
совом баке и времени его заполнения. Все операции по измерению расхода
жидкости автоматизированы и управляются с пульта.

Результаты исследований расходомеров, проводимых на эталоне, в
значительной мере зависят от распределения скоростей потока в испытатель-
ном трубопроводе.

С целью исключения влияния эпюры скоростей на показания приборов
длина испытательного трубопровода должна быть $50 \div 100 D$ перед рабочим
участком и $10 \div 20D$ после него (D – диаметр трубопровода). Как показали
эксперименты, проведенные во время исследования эталона, длина участка
перед прибором составляет $50 \div 60 D$.

В качестве испытательных трубопроводов применялись сменные уча-
стки, выполненные из нержавеющей стали X18H10T диаметром 150, 100 и 50
мм.

Участок стабилизации показан на рис.2 и состоит из трубы длиной 50-
60 D . Рабочий участок (рис.3) представляет собой отрезок трубы с наварен-
ными на концах фланцами соответствующего диаметра (50, 100, 150 мм),
смонтированный в составе ГПЭ на экспериментальной установке. На катушке
строго перпендикулярно потоку крепится осредняющая напорная трубка
посредством направляющей втулки, приваренной к рабочему участку. Герме-
тизация осуществлялась с помощью накидной гайки и уплотнительной втул-
ки. Геометрические параметры осредняющей напорной трубки (r – радиус от
оси рабочего участка до запорных отверстий; $d_{отв}$ – диаметр заборных отвер-
стий; $d_{оср.тр.}$ – диаметр осредняющей трубки.) выбрали, исходя из теоретиче-
ских и экспериментальных результатов исследований. Толщина стенок ОНТ
определяется только соображениями прочности.

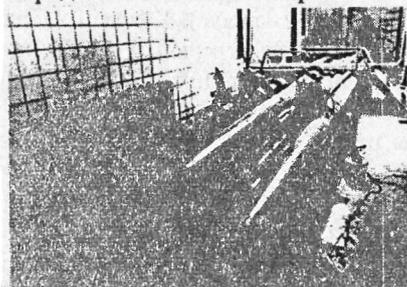


Рис.2. Участок стабилизации с бай-
пасным узлом установки измерения
расхода

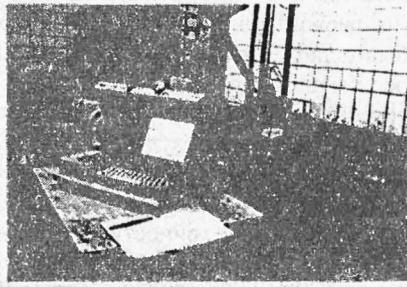


Рис.3. Рабочий участок, первичный
преобразователь “Сапфир” с м-
ЭВМ для записи показаний уста-
новки измерения расхода.

Согласно требованию диаметр приемных отверстий полного давления может составлять 1-3 мм. Расстояние между осями приемных отверстий $r_{отв} / R_{тр} = 0,84$. Располагаться отверстия должны симметрично относительно оси трубы.

Отбор статического давления располагается выше по потоку на расстоянии 0,5–1 диаметра интегрирующей трубки, начиная от передней ее образующей. Диаметр отверстий отбора статического давления не должен превышать 3 мм.

Длину катушки расходомерного узла желательно принимать равной диаметру рабочего участка. При этом ось интегрирующей трубки должна располагаться на расстоянии $3/4$ диаметра трубы от входа потока. Внутренний диаметр ответного переднего фланца на величину допуска должен быть меньше внутреннего диаметра катушки.

ОНТ представляет собой цилиндрический зонд, установленный в водоводе по его диаметру и полностью пересекающий поток (рис.4). По образующей трубки просверлен ряд отверстий, расположенных на средних линиях колец равновеликих площадей. Такая трубка хорошо осредняет поле скорости в стабилизированном и слабо деформированном потоке. Перепад давления соответствует среднерасходной скорости потока.

Для преобразования перепада давления в унифицированный электрический сигнал был использован преобразователь измерительной разности давлений САПФИР-22ДД-ВН модели 2430 в исполнении 1Р54.

Информационно-вычислительный комплекс на базе IBM PC AT 286 позволял записывать, хранить и обрабатывать большие (до 5 Мбайт за один эксперимент) объемы информации. Комплекс состоял из персонального компьютера IBM и десятиразрядного интерфейса связи, который имел 8 каналов (на первой стадии экспериментов использовались 2 канала). Каждый канал был оснащен отдельным операционным усилителем и отдельным АЦП. Опрос каналов и аналого-цифровое преобразование происходило по сигналу от встроенного в интерфейс таймера. Минимальное время преобразования составляло 35 мкс. Результат преобразования подавался на встроенный коммутатор сигнала, а уже оттуда в порт персонального компьютера.

В качестве образцового средства использовался цифровой вольтметр ИЦ–31 с классом точности: 10 mV – 0,02; 100 mV – 0,005; 1 V – 0,002. Согласно схемы калибровки электрический сигнал от блока питания БП подавался на образцовый вольтметр В (ИЦ–31) и на вход нормирующего преобразователя НУ, после которого через интерфейс связи НС заводился в ПК. В ходе калибровки весь рабочий диапазон измерений разбивался на 10 точек, в которых показаниям образцового средства ставились в соответствие коды АЦП рассматриваемого канала, регистрируемые ПК.

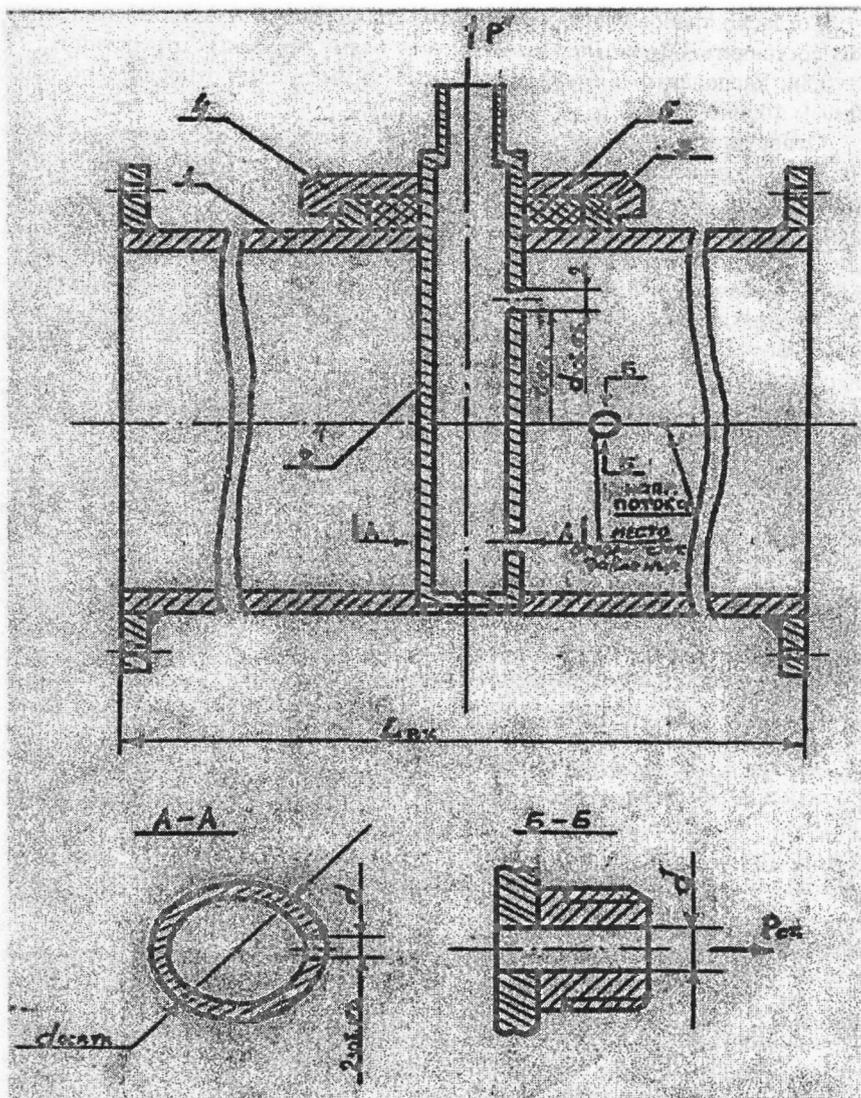


Рис.4. Рабочий участок с осредняющей напорной трубкой

В результате процесса калибровки были получены протокол калибровки и зависимость вида:

$$E = A \cdot x + B, \quad (1)$$

где E – напряжение в mV ; x – код АЦП; A и B – калибровочные коэффициенты, которые получались в результате линейной аппроксимации калибровочных точек методом наименьших квадратов.

Экспериментальные исследования по влиянию на коэффициент расхода ОНТ параметров потока проводились в двух режимах: исследовались характеристики ОНТ в стационарном режиме и в условиях наложенных пульсаций при различных значениях амплитуды.

На испытания ставились 6 рабочих участков (по 2 на каждый диаметр) из труб с диаметрами 51, 98,5 и 149 мм различной длины.

При этом как в стационарном, так и в нестационарном режимах, ОНТ испытывались при следующих расходах потока:

Рабочий участок диаметром 51 мм: – 21,614; 30,078; 49,825; 64,859; 67,984; 69,567; 142,0; 197,48; 208,0; 210,19; 221,0; 244,0; 245,03 ($m^3/ч$).

Рабочий участок диаметром 98,5 мм: – 29,351; 29,477; 50,273; 62,882; 63,02; 77,772; 77,848; 93,835; 108,236; 109,624; 123,728; 137,950 ($m^3/ч$).

Рабочий участок диаметром 149 мм: – 40,162; 50,638; 50,666; 63,06; 112,924; 129,632; 197,451; 222,804; 259,784; 260,912 ($m^3/ч$).

Метрологическая аттестация и оценка точности опытной информации приведены ниже в рамках обсуждения и обсчета экспериментальной информации.

Методика расчета узла измерения расхода посредством осредняющих напорных трубок

С целью обеспечения единства измерений все экспериментальные исследования в рамках данной работы и обработка результатов эксперимента проводились в соответствии с нормативным документом, разработанным во ВНИИРе для пульсирующих потоков, в котором указаны необходимые правила, средства измерения и операции при определении расхода и количества жидкости и газа.

Использование осредняющих напорных трубок основано на методе переменного перепада давления и в части гидродинамического расчета должно предусматривать следующую информацию:

Максимальное значение расхода, $m^3/ч$.

Диаметр трубопровода в измерительном сечении, m .

Расстояние между осями отверстий отбора полного давления, m .

Теплофизические свойства среды.

А) плотность, $кг/м^3$;

Б) вязкость, $м/сек$.

Сутью расчета является оценка величины коэффициента расхода и возникающего при этом перепада давления.

Уравнение измерения:

$$V = 3600 \cdot \alpha \cdot F \sqrt{2 \cdot \frac{\Delta p}{\rho}}, \text{ м}^3/\text{час} \quad (2)$$

В уравнении (2) заданными считаются величины V , F , ρ , ν . Определяемыми являются α и Δp .

Стратегия расчета заключается в следующем. На первом этапе на базе теории пограничного слоя вычисляется коэффициент расхода. На втором – из уравнения измерения определяется перепад давления, соответствующий заданному расходу.

Алгоритм расчета коэффициента расхода:

1. Число Рейнольдса

$$Re = \frac{V}{1800 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot \nu} \quad (3)$$

2. Коэффициент сопротивления

$$\zeta = 0,0032 + \frac{0,221}{Re^{0,237}} \quad (4)$$

3. Коэффициент трения

$$\frac{C_f}{2} = \left(\frac{3}{2\zeta} + \sqrt{\frac{8}{\zeta}} \right)^{-2} \quad (5)$$

4. Профиль скорости

$$\omega = 1 + \frac{1}{\chi} \sqrt{\frac{C_f}{2}} \cdot \ln \left(1 - \frac{D_{\text{от}}}{D_{\text{тп}}} \right) \quad (6)$$

5. Толщина вытеснения

$$\frac{\delta^+}{r_0} = \int_0^1 (1-\omega) \bar{r} \bar{d}\bar{r} \quad (7)$$

6. Относительная скорость

$$W = \left(1 - 2 \frac{\delta^+}{r_0} \right)^{-1} \quad (8)$$

7. Коэффициент расхода

$$\alpha = \frac{1}{W \cdot \omega} \quad (9)$$

8. Перепад давления

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \left(\frac{V}{3600 \alpha F} \right)^2 \quad (10)$$

Перед монтажом расходоизмерительного устройства должны быть выполнены измерения диаметра трубопровода и расстояния между осями отборов полного давления (с погрешностью не более 0,1%).

Расходоизмерительный узел монтируется на прямолинейном участке трубопровода. Длина предвключенного участка определяется по максимальному расходу

$$L = 1,35 \cdot Re^{0,25} \cdot D_{тр} \quad (11)$$

$$Re = \frac{V}{1800 \cdot \pi \cdot r_0 \cdot \nu} \quad (12)$$

Допуск на внутренний диаметр катушки расходоизмерительного узла должен быть положительным по отношению к внутреннему диаметру подводящего трубопровода. Это обеспечивает положение возможного отступа в соединении фланцев по потоку.

Измерение перепада давления должно осуществляться промышленными дифманометрами согласно требованию Правил РД 50-213-80.

Расчет величины расхода выполняется по формуле

$$V = K_{св} \cdot \sqrt{\Delta P} \quad (13)$$

Определение погрешности измерения

Поскольку вода – несжимаемая жидкость, ее плотность не зависит от давления:

$$\sigma_v'^2 = \sigma_\alpha'^2 + \sigma_F'^2 + \frac{1}{4} \sigma_{\Delta P}'^2; \quad (14)$$

$$\sigma_\alpha'^2 = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\alpha_i - \bar{\alpha} \right)^2}{\bar{\alpha}^2 \cdot (n-1)} \cdot 100\% \quad (15)$$

$$\sigma_F'^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (F_i - \bar{F})^2}{\bar{F}^2 \cdot (n-1)} \cdot 100\% \quad (16)$$

$$\sigma_{\Delta P}'^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta P_i - \bar{\Delta P})^2}{\bar{\Delta P}^2 \cdot (n-1)} \cdot 100\% \quad (17)$$

Согласно опытным данным погрешность коэффициента расхода может быть принята равной $\sigma'_\alpha = 0,25\%$ при уровне вероятности 0,95. Погрешность в определении площади поперечного сечения определяется на этапе предварительных обмеров геометрических размеров.

Погрешность определения Δp вычисляется по зависимости:

$$\sigma'_{\Delta P} = \sqrt{\sigma_{с.н}'^2 + \sigma_{диф}'^2} \quad (18)$$

где $\sigma'_{с.н}$ – среднее квадратическое отклонение (СКО) средства измерения перепада давления – выбирается по паспортным данным или на основе индивидуальной калибровки; $\sigma'_{диф}$ – СКО, обусловленная пульсациями перепада давления – определяется по результатам динамической калибровки.

При движении жидкостей и газов в трубопроводах, в поперечном сечении потока формируется профиль скорости. Величина скорости изменяется от нуля на стенке до максимального значения на оси. Отношение среднерасходной скорости к максимальной варьируется от 0,5 до 1 при числе Рейнольдса, стремящемся к бесконечности (рис.5). Подобная эволюция связана с формой профиля скорости, зависящей, в свою очередь, от числа Рейнольдса (или, что одно и то же, от расхода при одном и том же диаметре трубопровода).

На рис.6 показано изменение профиля скорости в функции поперечной координаты, нормируемой по толщине потери импульсов. Видно, что конкретному числу Рейнольдса соответствует свой профиль скорости.

Очевидно, что если проинтегрировать конкретный профиль, то можно определить соответствующий ему расход:

$$Q = \int_0^{r_0} 2\pi r \omega_x dr ; \quad (19)$$

Величина скорости на радиусе r связана с величиной полного давления соотношением:

$$\Delta P = P^* - P_{ст} = \frac{\rho \omega_x^2}{2}; \quad (20)$$

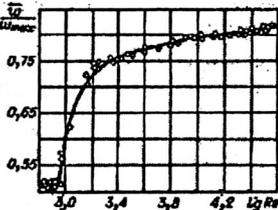


Рис.5. Зависимость $\frac{\omega_{cp}}{\omega_0}$ от Re

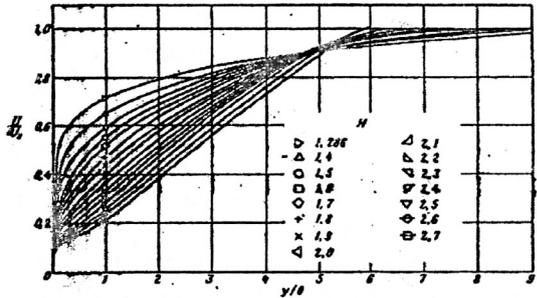


Рис.6. Профили скорости, соответствующие различным значениям H , по данным Денхоффа и Тетервина:

Подставляя (19) в (20) находим

$$Q = \int_0^{r_0} 2\pi r \sqrt{2\rho\Delta P} dr. \quad (21)$$

Если измерить профиль полного давления P^* ($P_{ст}$ – статическое давление постоянно по поперечному сечению канала), результаты подставить в (21) и проинтегрировать, то получим искомую величину.

На практике зависимость (21) заменяют соотношением:

$$Q = \int_0^{r_0} 2\pi r \sqrt{2\rho\Delta P} dr = \alpha \pi r_0^2 \sqrt{2\rho\Delta P_{cp}}, \quad (22)$$

где: $\Delta P = P_{cp}^* - P_{ст}$, P_{cp}^* – осредненное полное давление, снимаемое с интегрирующей трубки; α – коэффициент расхода.

Результаты экспериментальных исследований ОНТ на ГПЭ изложены в третьей главе. С целью проведения качественного эксперимента приведено обоснование точек полного отбора давления посредством ОНТ, учет пульсаций перепада давления и амплитуды пульсаций, дан анализ длины предвключенного участка гидродинамической стабилизации. Показано, что каждому значению расхода будет соответствовать свой профиль изменения коэффициента расхода по радиусу трубы. В то же время все профили независимо от

расхода пересекаются в одной точке, где коэффициент расхода равен единице. Данная координата, нормируемая по радиусу трубопровода, равна $r/r_0 = 0,84$ (рис.7).

Для проверки приведенных выше соотношений с целью набора статистических данных было изготовлено шесть опытных рабочих участков из труб с $d = 50, 100, 150$ мм (по два на каждый диаметр). Для каждого участка было изготовлено по две интегрирующие трубки с разнесенными приемными отверстиями. Это было сделано по той причине, что все ОНТ на относительном радиусе $r/r_0 = 0,84$ имеют один и тот же коэффициент расхода, равный единице.

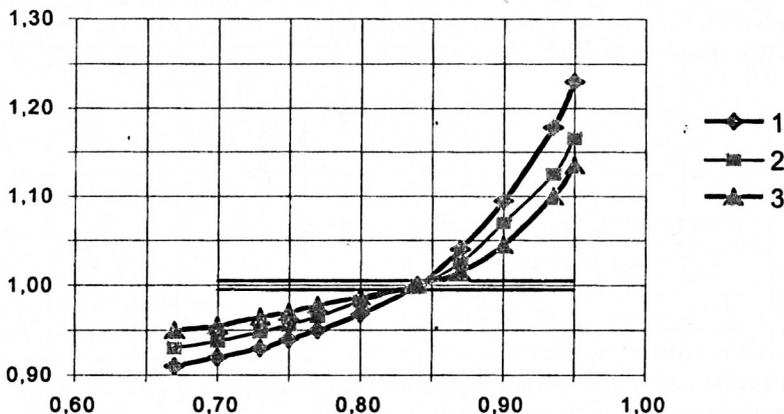


Рис.7. Результаты расчета коэффициента расхода по зависимости $\alpha=1/W_0\omega$

Опытные проливки проводились на эталоне расхода воды во Всероссийском научно-исследовательском институте расходомерии, имеющего приведенную относительную погрешность 0,16% при максимальном расходе $V = 280$ м³/час.

В процессе проливок проводились измерения объемного расхода с помощью эталона, а перепад давления, преобразованный в электрический сигнал датчиком «Сапфир», записывался в память м-ЭВМ. Для визуального контроля перепада давления использовался U-образный пьезометр.

Графическая интерпретация полученного цифрового материала приведена на рис.8, 9 для расходомерного узла диаметром 98,5 мм.

На рис.8 показана зависимость коэффициента расхода от расхода для двух радиусов отбора полного давления $r/r_0 = 0,857$ и $r/r_0 = 0,7614$. В пределах $\pm 0,5\%$ все экспериментальные точки располагаются относительно расчетта.

На рис.9 приведена оценка величины погрешности расчета расхода по отношению к его экспериментальным значениям.

Обработка опытной информации для расходомерных узлов $D_y 51$ и $D_y 149$ показало, что на радиусе $L/2 \cdot r_0 = 0,84$ ($2r_0$ – диаметр трубы в измерительном сечении) коэффициент расхода может быть принят равным единице независимо от расхода. При этом необходимо помнить, что перед расходоизмерительным участком должен располагаться прямолинейный участок гидродинамической длиной $L_{нач.} = 1,35 Re^{0,25}$.

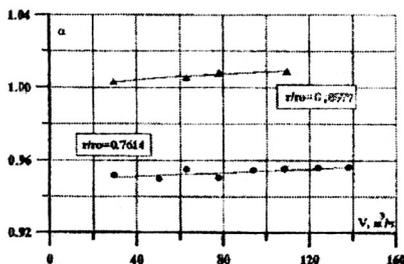


Рис.8. Зависимость коэффициента расхода от расхода для различных радиусов отбора полного давления

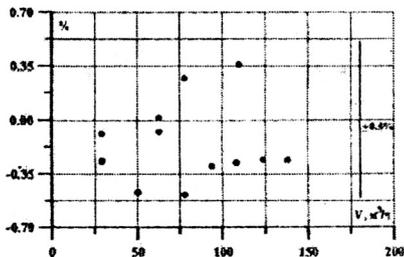


Рис.9. Величина погрешности расчета расхода по отношению к экспериментальным данным

В главе 4 рассмотрены вопросы совместного влияния гидродинамической нестационарности и температуры потока на коэффициент расхода ОНТ. В процессе исследований, выполненных на Государственном первичном эталоне расхода, достаточно полно изучено влияние величины расхода на коэффициент расхода ОНТ. Поэтому экспериментальные исследования влияния температуры потока на коэффициент расхода ОНТ в условиях колебания расхода выполнялись в несколько сокращенном варианте, т.е. реализовано три значения расхода (25%, 50%, 100%), пять частот колебания (0.4 Гц, 1.0 Гц, 1.8 Гц, 4.2 Гц, 5.5 Гц). Исследования были проведены для участка трубопровода с внутренним диаметром 50 мм. Параметры ОНТ остались такими же, как и при исследованиях на Государственном первичном эталоне расхода.

Экспериментальные исследования зависимости коэффициента расхода проводились как в стационарном, так и в нестационарном режимах при температурах теплоносителя в участке обогрева 71,9°C, 58,5°C, 35,4°C, 20,2°C, 12,4°C.

Были реализованы следующие частоты вращения (число оборотов) заслонки, с помощью которой возмущался поток: 15, 30, 60, 120, 180 об/мин. Частота вращения контролировалась осциллографом.

Таким образом, для каждой температуры потока испытания проводились как в стационарном, так и в нестационарном режимах при вышеуказанных значениях числа оборотов заслонки и трех значениях расхода (максимально возможном для данной установки, равном 100г/с, $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{4}$ от максимально возможного).

Выходной сигнал осредняющей трубки – перепад давления – преобразовывался в унифицированный сигнал напряжения преобразователем САП-ФИР 22-ДД-Ех. Преобразователь переменного перепада давления САПФИР был включен по двухпроводной линии связи и связывался с ЭВМ через аналого-цифровой преобразователь.

По результатам эксперимента получены зависимости коэффициента расхода трубки от числа Re в сопле как в стационарных, так и в нестационарных условиях. Данные представлены для всего диапазона исследуемых чисел Re и температур потока. Следует сказать, что температура потока и температура

стенки канала были равны. Таким образом, фактор $\psi = \frac{T_w}{T_f}$ был равен

1 на протяжении всех исследований. Данные, представленные на рассматриваемом рисунке, были аппроксимированы прямой методом наименьших квадратов и использовались для вычисления коэффициента расхода трубки в квазистационарных условиях.

На рис.10. в пределах одного периода колебания расхода показано поведение коэффициента расхода трубки, определенного в нестационарных условиях.

Так же в соответствии с реализованными числами Re представлены данные по квазистационарным значениям коэффициента расхода трубки.

Данные представлены для температуры потока после теплообменника равной 18°C.

Хорошо видно, что амплитуда изменения коэффициента расхода трубки, определенного в нестационарных условиях, превышает амплитуду изменения его квазистационарных значений. Кроме того, видно несовпадение фаз колебания этих двух величин. Аналогичная картина сохранялась на протяжении всех продувок.

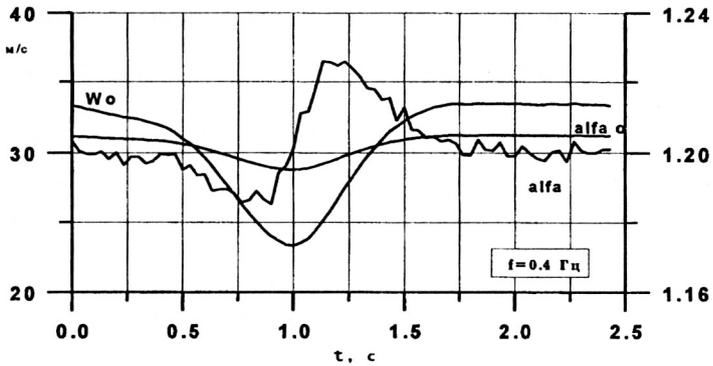


Рис.10. Коэффициент расхода трубки по периоду колебания расхода

Если ввести в рассмотрение параметр гидродинамической нестационарности, приведенный в работе [1]:

$$Kt = \frac{\nu}{u_0^3} \cdot \frac{\partial u_0}{\partial t}, \quad (23)$$

где ν – вязкость [$\text{м}^2/\text{с}$], u_0 – скорость потока на оси сопла Витошинского, $\partial u_0 / \partial t$ – производная скорости потока по времени и применить его для количественной оценки изменения α' , то можно получить следующее:

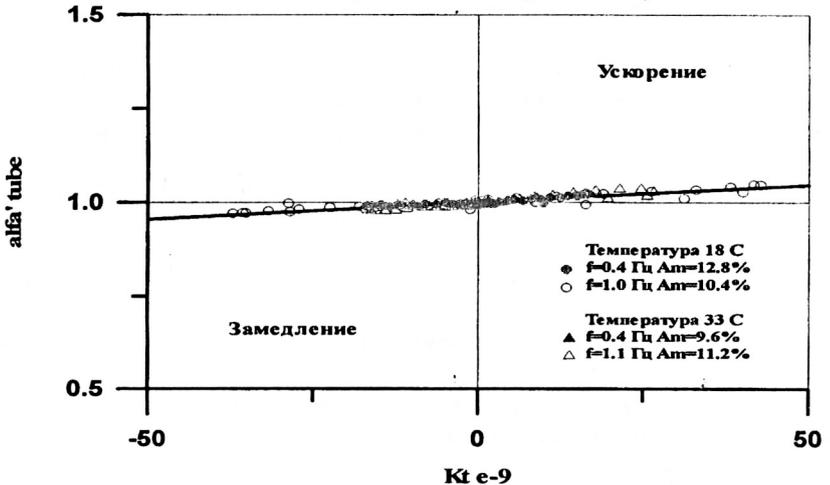


Рис.11 α' в зависимости от параметра Kt

Данные с разбросом $\pm 1,5\%$ хорошо аппроксимируются линейной зависимостью.

С увеличением частот колебаний потока качественная сторона оставалась аналогичной рассмотренной выше, однако, в точках минимума и максимума расхода величина α' не оставалась равной 1 (рис. 12-14), что объясняется сдвигом фаз в изменении α' по отношению к скорости потока на оси сопла.

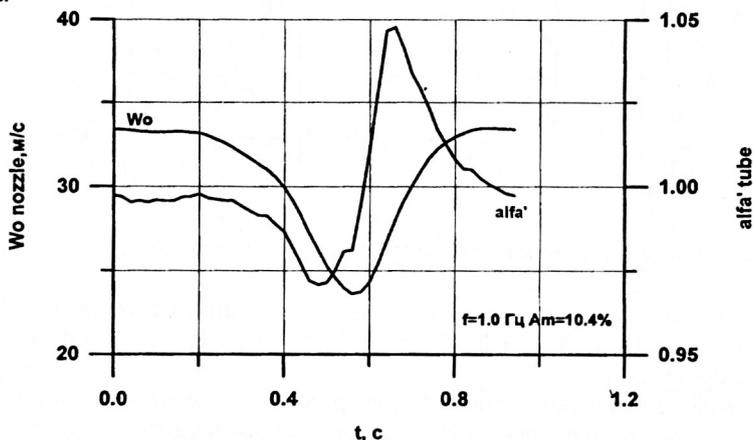


Рис.12. Изменение α' внутри периода колебания расхода

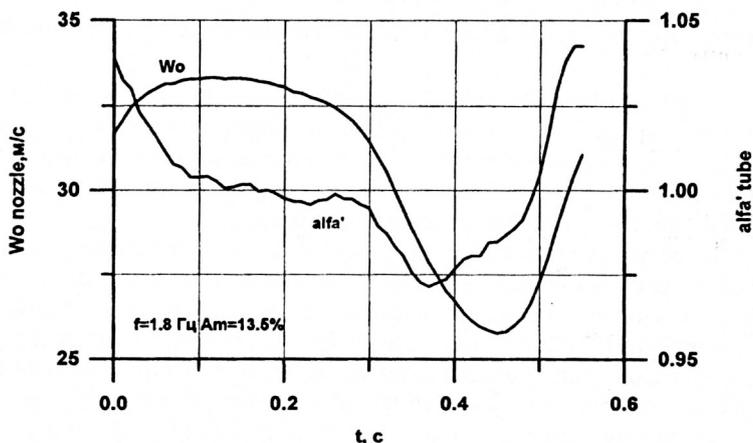


Рис.13. Изменение α' внутри периода колебания расхода

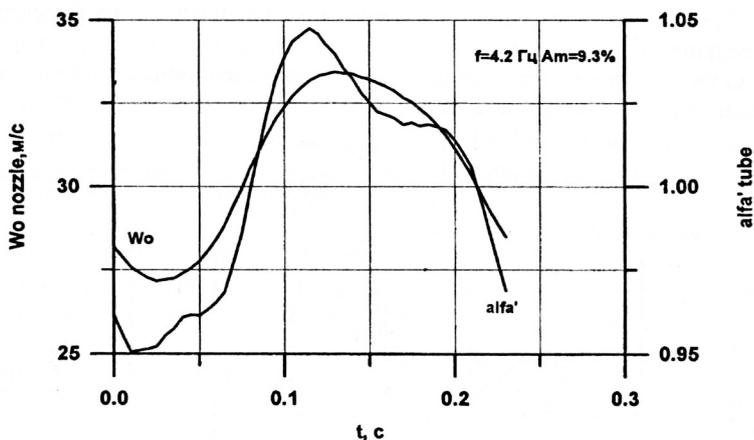


Рис.14. Изменение α' внутри периода колебания расхода

Природу этого сдвига, видимо, можно выявить, исследуя микроструктуру нестационарного потока с использованием не интегрирующих измерительных устройств.

Анализ экспериментальной информации позволяет сделать вывод о том, что присутствие данного сдвига отличает аperiodические нестационарные течения от периодических.

Если рассмотреть зависимость величины α' от параметра K_t , то можно видеть, что для случая больших частот величины α' и K_t некоррелированы.

Таким образом, без понимания причин, вызывающих сдвиг по фазе величины α' , а также оценки его, обобщение информации по параметру K_t , а также параметрам аналогичным ему (содержащим производную скорости потока по времени) может привести в случае периодических нестационарных турбулентных течений к существенным ошибкам.

По результатам проведенных исследований в пределах экспериментальной погрешности можно сделать также вывод о независимости величины и качества влияния гидродинамической нестационарности на коэффициент расхода трубки от температуры потока. Данный вывод согласуется с результатами исследований, проведенными Кутателадзе и Леонтьевым для стационарных потоков, где показано, что на кинематическую структуру потока оказывает влияние не температура потока или его плотность, а фактор ψ .

ВЫВОДЫ

1. Разработана, изготовлена и испытана во ВНИИРе, на Государственном первичном эталоне расхода экспериментальная установка для изучения поведения коэффициента расхода осредняющих напорных трубок в зависимости от расхода, частоты и амплитуды пульсаций водяного потока на трубах с $Dy = 50, 100, 150$ мм.

2. Получены экспериментальные результаты, уточняющие геометрические параметры ОНТ, при использовании которых коэффициент расхода ОНТ близок к единице.

3. Данные, полученные в результате эксперимента на ГПЭ расхода, позволяют смоделировать параметры осредняющих напорных трубок и рабочих участков для точных измерений расходов с диаметрами трубопроводов более 1000 мм.

4. Предложена методика расчета узла измерения расхода посредством осредняющих напорных трубок.

5. Разработана, изготовлена и прошла испытания экспериментальная лабораторная установка исследования совместного влияния гидродинамической нестационарности и температуры внешней среды на коэффициент расхода осредняющих напорных трубок.

6. Экспериментальные данные, полученные на установке, позволяют сделать вывод о независимости влияния гидродинамической нестационарности (изменения расхода, амплитуды и частоты пульсаций) на коэффициент расхода осредняющих напорных трубок от температуры внешней среды.

Основные материалы диссертации изложены в следующих публикациях:

1. Крикун А.Н., Фафурин А.В., Крикун Н.Г., Зарипов Р.Н. Экспериментальные исследования влияния конструктивных параметров определяющих напорных трубок на коэффициент расхода при различных диаметрах / Тезисы докл. НТК. КГТУ.– Казань, 1998.– С. 53.

2. Крикун А.Н., Фафурин А.В. Влияние гидродинамической нестационарности на коэффициент расхода осредняющих напорных трубок / Тезисы докл. НТК КГТУ.– Казань, 2000.– С. 47.

3. Крикун А.Н., Юшко С.В., Фафурин А.В. Коэффициент расхода осредняющих напорных трубок и его зависимость от гидродинамической нестационарности и температуры / Тезисы докл. НТК КГТУ.– Казань, 2000.– С. 48.

4. Крикун А.Н., Крикун Н.Г., Смолин В.В. Результаты экспериментальных исследований зависимости коэффициента расхода осредняющих напорных трубок от различных факторов в стационарных и нестационарных

условиях на Государственном первичном эталоне расхода ВНИИР / Тезисы докл. Нтк КГТУ. – Казань, 1999.– С. 84.

5. Крикун А.Н., Крикун Н.Г. Экспериментальная установка исследования коэффициента расхода осредняющих напорных трубок / Тезисы докл. Нтк КГТУ. – Казань, 1999.– С. 84.

6. Юшко С.В., Крикун А.Н. Влияние периодических пульсаций расхода на коэффициент расхода осредняющей напорной трубки. Проблемы энергетики. Изв. Высш. учебных заведений. № 3-4.– Казань, 2000. С. 74-77.

7. Крикун А.Н., Фафурин А.В., Юшко С.В. Коэффициент расхода осредняющих напорных трубок и его зависимость от расхода и гидродинамической нестационарности течений. Казань, 2000. 16 с. Препринт / Казан.гос.техн.ун-т; П-4.

Условные обозначения

ρ – плотность;

G – расход;

W – скорость;

P – давление;

ΔP – перепад давления;

α – коэффициент расхода;

σ^2 – дисперсия;

σ – среднеквадратическое отклонение;

δ – погрешность;

m – модуль сужающего устройства;

r – радиус;

B – барометрическое давление;

R – универсальная газовая постоянная;

f – частота;

A – амплитуда;

T – температура;

L – длина;

F – площадь поперечного сечения.

Соискатель

А.Н.Крикун

Заказ 132

Лицензия № 020404 от 6.03.97 г.

Тираж 80 экз

Офсетная лаборатория Казанского государственного
технологического университета
420015, Казань, К.Маркса, 68

200