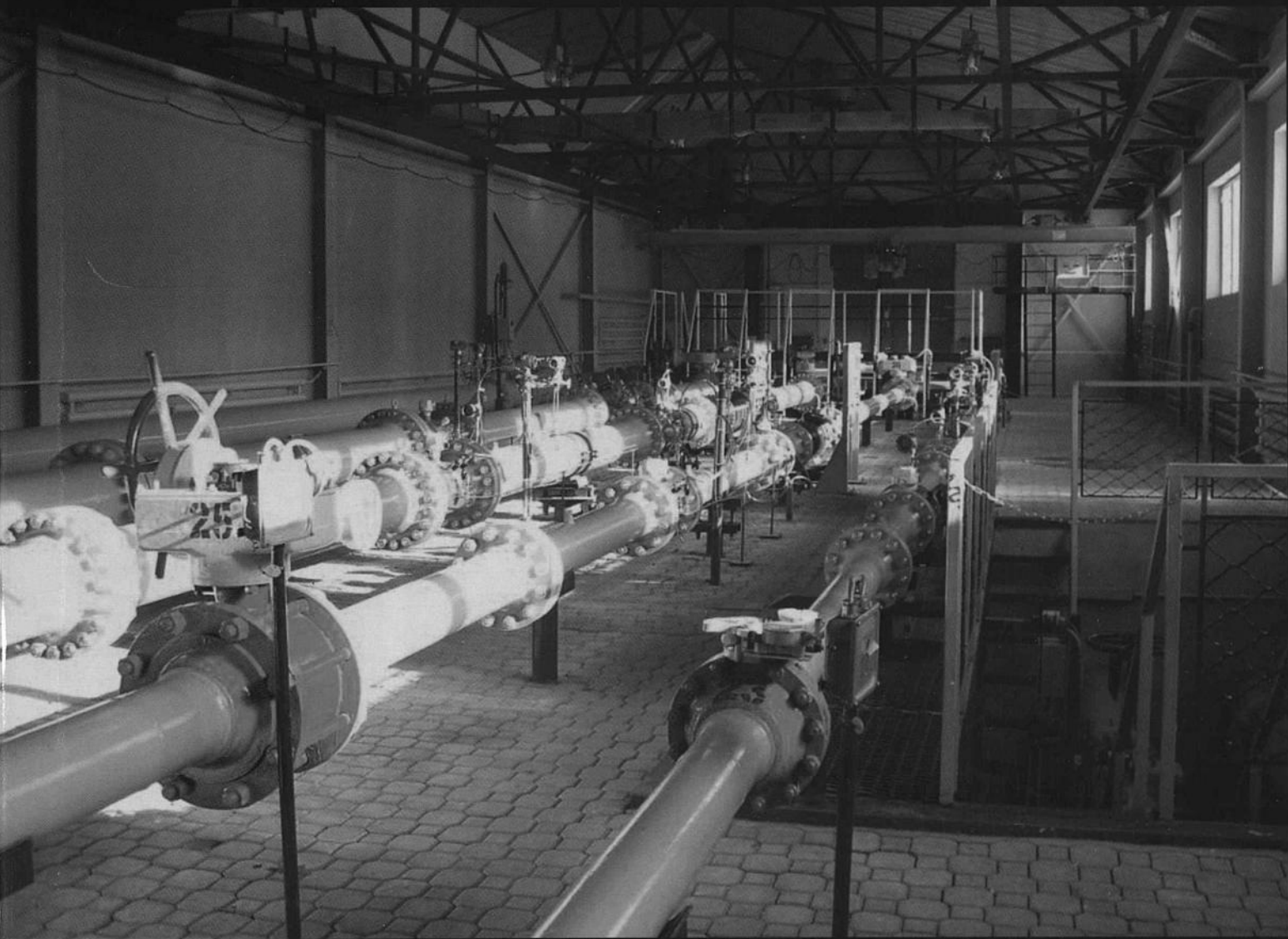


1459 / 102

Газовая промышленность

январь

01 2007



**Учет экономических интересов – основа
эффективного партнерства**

Моделирование разработки газогидратных месторождений

Система контроля целостности газопроводов ЕСГ

и для систем дифференциальных уравнений в частных производных.

Выполнение законов сохранения в дифференциальной форме записи в узлах расчетной сетки приводит к выполнению в данных узлах всевозможных представлений данной системы (например, уравнения для кинетической энергии, полной энергии, энтропии и т. д.). Существование дивергентных дискретных аналогов для всех дивергентных дифференциальных производных в этом случае обеспечивает не только консервативность, но и полную консервативность [3] сплайн-схемы.

Этот вывод аналогично распространяется на уравнения механики сплошных сред любой размерности.

Таким образом, сплайн-схема обладает полной консервативностью. Это позволяет моделировать уравнения газовой гидродинамики с повышенной адекватностью и точностью за счет корректного моделирования всех возможных законов сохранения. Кроме того, сплайн-схемы являются неявными, что повышает их устойчивость по сравнению с явными и полунеявными схемами [3]. Повышение порядка используемых сплайнов позволяет повысить порядок аппроксимации решаемых уравнений газовой гидродинамики, что также повышает точность расчетов. Аппроксимация и вопросы устойчивости сплайн-схем могут быть рассмотрены по алгоритмам, приведенным в работах [2, 5].

Список литературы

1. Селезнев В.Е. Использование компьютерных газодинамических симуляторов для повышения безопасности // Безопасность труда в промышленности. – 2004. – № 7. – С. 48–53.
2. Численный анализ и оптимизация газодинамических режимов транспорта природного газа / В.Е. Селезнев, С.Н. Прялов, В.В. Киселев и др. – М.: Едиториал УРСС, 2003.
3. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы математической физики. – М.: Научный мир, 2000.
4. Ортега Дж., Пул У. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений: Пер. с англ. – М.: Наука, 1986.
5. Селезнев В.Е., Алешин В.В., Прялов С.Н. Численное моделирование газопроводов / Под ред. В.Е. Селезнева. – М.: Едиториал УРСС, 2005.

УДК 681.121

Гиперфлоу-УС: математическая модель передачи сигнала

А.М. Деревягин, А.С. Фомин, В.И. Свистун (НПФ «Вымпел»)

Одной из ключевых задач при разработке ультразвукового расходомера Гиперфлоу-УС являлось создание устойчивой системы детектирования и распознавания ультразвукового импульса. С этой целью была создана математическая модель процесса передачи сигнала в трубопроводе, позволяющая численно строить отклик на приемнике.

В разработке и производстве комплексных средств измерения расхода и контроля качества природного газа на объектах добычи, транспортирования и подземного хранения газа, а также информационно-управляющих систем для кустов газовых скважин одним из направлений деятельности научно-производственной фирмы «Вымпел» стало создание энергонезависимых информационно-управляющих систем добычи газа в условиях Крайнего Севера. Основой для подобных систем на скважинах Анерьяхинской площади Ямбургского ГКМ является комплексный датчик-расходомер Гиперфлоу-ЗПМ. Благодаря сверхнизкому энергопотреблению расходомер обеспечивает автономную работоспособность системы в течение трех лет. Гиперфлоу-ЗПМ реализует наиболее распространенный и часто применяемый метод переменного перепада давления. Несмотря на свою популярность, этот метод обладает рядом принципиально неустранимых недостатков, среди которых:

- узкий динамический диапазон;
- наличие сопротивления потоку рабочей среды;
- чувствительность к износу и загрязнению;
- необходимость трудоемкого демонтажа для проведения периодической поверки.

Например, на преодоление сопротивления сужающего устройства при магистральном транспорте газа уходит до

5 % топливного газа газокompрессорных установок.

Тенденция повышения требований к системам учета газа привела к необходимости создания расходомера нового поколения, который сочетал бы в себе достоинства Гиперфлоу-ЗПМ и в то же время реализовывал более универсальный и точный метод определения расхода газа.

Созданный ультразвуковой расходомер Гиперфлоу-УС (рис. 1), реализующий этот метод, обладает существенно более широкими функциональными возможностями по сравнению с ультразвуковыми расходомерами других фирм-производителей. Отличительными особенностями Гиперфлоу-УС являются:

- возможность работы на «грязном» газе без необходимости замены или очистки ультразвуковых датчиков;
- многолучевой способ обработки сигнала;
- снижение требования к наличию прямого участка перед измерительным трубопроводом.

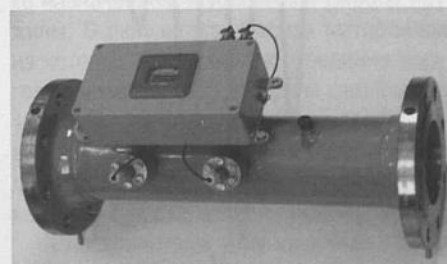


Рис. 1. Расходомер Гиперфлоу-УС

Оригинальность конструкции прибора и вместе с тем точность измерения расхода обеспечиваются благодаря решению широкого спектра технических и математических задач. Коснемся одной из них – задачи детектирования ультразвукового сигнала.

По принципу действия расходомер Гиперфлоу-УС относится к времяимпульсным ультразвуковым расходомерам, работа которых основана на измерении разности времен прохождения зондирующих импульсов ультразвуковых колебаний по направлению движения потока рабочей среды и против него (рис. 2). Возбуждение и прием зондирующих импульсов осуществляются пьезоэлектрическими датчиками, устанавливаемыми на измерительный трубопровод и работающими попеременно в режиме прием-передача. Первый электроакустический преобразователь смещен относительно второго по направлению потока на расстояние равное диаметру трубы. К особенностям конструкции прибора относятся расположение датчиков перпендикулярно к поверхности трубы, причем внешняя излучающая поверхность каждого преобразователя совмещена с внутренней поверхностью трубопровода. Благодаря этому полностью отсутствует искажение потока рабочей среды и, как следствие, исключается возможность загрязнения приемно-излучающей поверхности датчиков.

При подаче кратковременного импульса заданной формы на излучатель отклик на

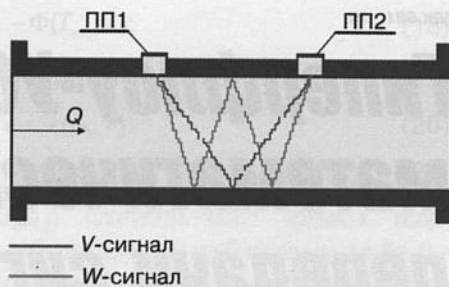


Рис. 2. Модель измерительного участка (ПП – пьезоэлектрический преобразователь; Q – скорость потока рабочей среды)

приемнике представляет собой сумму лучей, пришедших от излучателя по разным путям. Время задержки каждого из них определяется путем сравнения с известным излученным сигналом. Было замечено, что формы сигналов, отраженных различным числом раз от стенок трубопровода, разные. Незнание закона отражения сигнала вызывало погрешности при определении времен задержек. Эти погрешности существенно влияли на точность определения расхода газа и были недопустимы при работе прибора. Для решения этой проблемы была создана математическая модель процесса передачи сигнала в трубопроводе, которая позволяет численно строить отклик на приемнике в зависимости от излученного импульса.

Построение модели состоит из двух этапов. На первом аналитически решается трехмерная нестационарная задача излучения кратковременного звукового сигнала внутрь трубы кругового сече-

ния, на втором рассчитывается отклик на приемнике.

Предполагается, что на поверхности цилиндра радиуса a находится небольшая прямоугольная мембрана размером $2d \times 2h$ ($d \ll a, h \ll a$), которая колеблется по заданному закону $A(t)$. Требуется найти потенциал Ψ поля скоростей частиц сплошной среды, подчиняющийся волновому уравнению, в области, ограниченной стенками цилиндра. Граничные условия находятся из предположения абсолютной твердости стенок трубы и известного закона колебания мембраны.

Запишем условие задачи более формально. Волновое уравнение в цилиндрических координатах представляется в виде $\Delta \Psi(\varphi, r, z, t) = 1/c^2 \Psi_{tt}(\varphi, r, z, t)$,

где c – скорость звука в среде; Δ – оператор Лапласа.

Граничное условие:

$$\partial \Psi / \partial r |_{r=a} = -v_r(\varphi, z, t) =$$

$$\begin{cases} 0, & |z| > h, & |\varphi| \leq \pi, \\ 0, & |z| < h, & |\varphi| > \alpha, \\ A(t) \cos(\pi z / 2h) \cos(\pi \varphi / 2\alpha), & |z| \leq h, & |\varphi| \leq \alpha. \end{cases}$$

Здесь $v_r(\varphi, z, t)$ – радиальная составляющая скорости частиц среды на поверхности цилиндра, $\alpha = d/a$, $A(t)$ – сигнал на мембране.

Для решения поставленной задачи к волновому уравнению и граничному условию применяется преобразование Лапласа, т. е. осуществляется переход из простран-

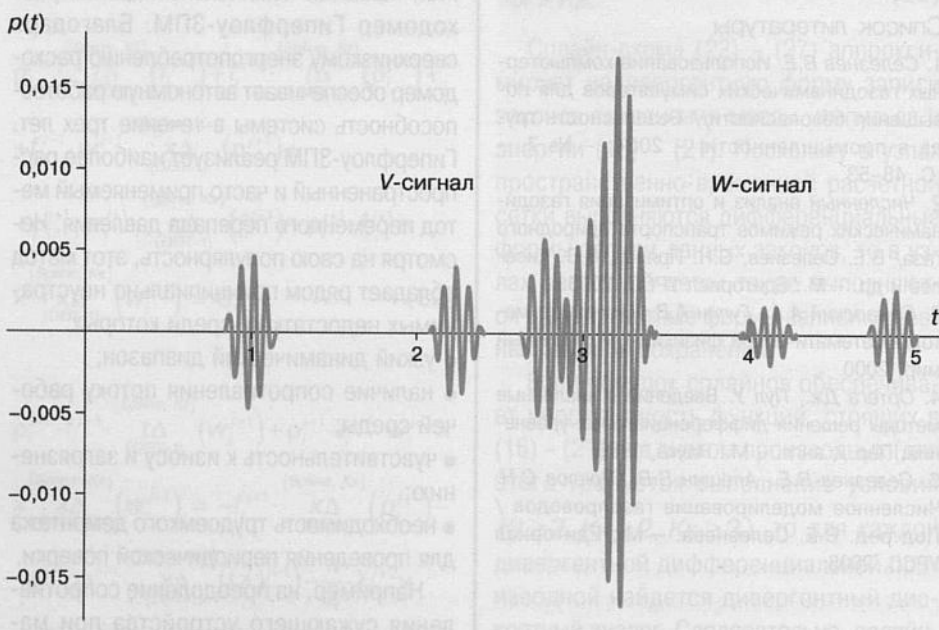
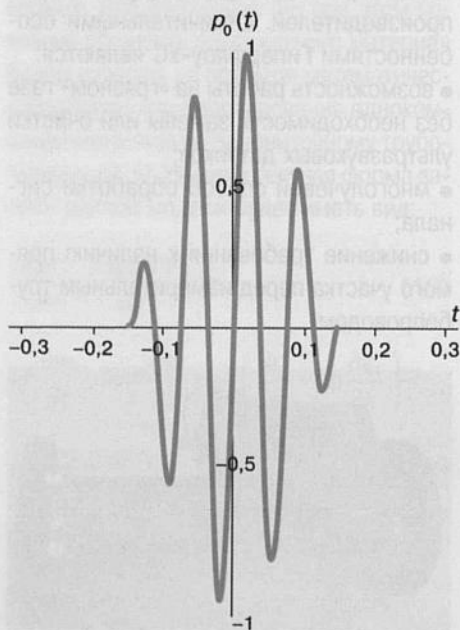


Рис. 3. Пример расчета по программе USP ($\rho_0(t)$ – входной сигнал, $\rho(t)$ – отклик на приемнике)

ства оригиналов $\Psi(t)$ в пространство изображений $\psi(s)$. Решение для преобразованной задачи находится аналитически.

На втором этапе построения модели в среде Mathematika 5.0 на основании формулы полученной для $\psi(s)$ численно рассчитывается сигнал давления $p(t)$ на стенке цилиндра в зависимости от излученного сигнала давления $p_0(t)$ (рис. 3). Расчет реализуется программой Ultrasonic Signal Project (USP).

Численный эксперимент позволил найти закон изменения формы акустического импульса при его отражении от стенок трубопровода. При каждом отражении спектр сигнала поворачивается на $\pi/2$ по часовой стрелке в комплексной плоскости. Поясним данный эффект на примере. Рассмотрим акустический луч, отраженный один раз от противоположной стенки трубопровода. Назовем его V -сигнал по форме траектории движения. По найденному закону его спектр повернут на $\pi/2$ относительно спектра излученного сигнала. Возьмем теперь луч, прошедший по четырем диаметрам с тройным отражением от стенки трубы. Сигнал на приемнике, соответствующий этому лучу, будет называться W -сигналом, а его спектр повернут на $3\pi/2$ относительно импульса на излучателе. В результате спектр V -сигнала отстает от спектра W -сигнала на π . Это означает, что V -сигнал является перевернутым W -сигналом. Этот эффект можно заметить как на модели (см. рис. 3), так и на реальном приборе.

Математическая база, созданная для расходомера Гиперфлоу-УС, послужила фундаментом для многих технических усовершенствований прибора. Модель процесса передачи ультразвукового импульса в трубопроводе позволила:

- определить с большой точностью время задержки акустического сигнала;
- увеличить число измерительных каналов за счет распараллеливания наложенных сигналов;
- определить степень закрутки потока путем анализа лучей, прошедших по и против часовой стрелки.

Решение этих задач позволило более точно определить эпюры скорости потока, что повысило метрологические характеристики прибора, надежность его работы, снизило требования к длине прямого участка перед измерительным трубопроводом.

УДК 681.121

Устройство для измерения расхода и микро-процессорного управления приводами трубопроводной арматуры

И. С. Жаров (ВлГУ)

Рассматривается устройство преобразователя с упругим элементом, применяемого для измерения расхода газа, нефти, жидкостей в тепловых сетях. Показаны преимущества конструкций с плоским упругим элементом. Описана конструкция установки для градуировки упругого элемента по расходу. Незначительное расхождение экспериментальных данных перемещения пружины с теоретическими подтверждает адекватность предложенной конструкции и разработанной методики расчета упругого элемента для измерения и регулирования расхода.

Для эффективного использования и экономии топливно-энергетических ресурсов и тепловой энергии требуется повышение контроля за работой энергетического оборудования и точности учета всех видов энергии в процессе производства, распределения и потребления. Это становится возможным при дальнейшем совершенствовании устройств контроля и измерения расхода. Измерение параметров объекта производится с помощью первичных измерительных преобразователей расхода с электрическими сигналами на выходе.

Преобразователи выбирают исходя из требований надежности, удобства эксплуатации, точности и стоимости для конкретных условий применения. В настоящее время для измерения расхода газов наиболее широко используют следующие устройства: турбинные, термоанемометрические, переменного перепада давления, постоянного перепада давления, пружинные.

Во Владимирском государственном университете (ВлГУ) разработана конструкция первичного преобразователя для измерения расхода газов, нефти, жидкостей в тепловых сетях [1]. Анализ показал, что наиболее перспективна конструкция с плоской пружиной.

В трубопроводе размещена плоская пружина, на которую воздействует гидродинамическое давление потока жидкости или газа. Расход определяется по углу поворота пружины. Один конец пружины жестко закреплен. Такая пружина под действием динамического давления потока работает на изгиб. При этом противодействующий момент создается за счет сил упругости лопасти.

Эта пружина легко изготавливается, надежна в эксплуатации, обладает меньшими габаритами и потерями на внутреннее трение и гистерезис, исключаются подвижные кинематические пары (т. е. нет люфтов и износа). Плоскую пружину можно изготовить штамповкой из ленты практически из любого пружинного материала [2]. Выбор материала определяется только назначением и условиями работы пружины. В результате анализа материалов, из которых возможно изготовление упругого элемента, была выбрана сталь марки 12Х18Н9. Эта сталь обладает достаточно высоким значением модуля упругости, малым гистерезисом и не корродирует при контакте с протекающей средой.

К достоинствам упругих элементов относится возможность применения для больших диапазонов расхода и двустороннего