

УДК 621.18:662.9

## ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЛИНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО РАСХОДОМЕРА ДЛЯ ВЯЗКОГО ЖИДКОГО ТОПЛИВА

*Артемьев А. А., Кириллов К. М., Мамонов В.Н, Серов А.Ф.*

*Федеральное научное бюджетное учреждение Институт теплофизики  
им. С.С. Кутателадзе Сибирского отделения Российской академии наук,  
г. Новосибирск*

В статье рассмотрены результаты испытаний измерительной линии ультразвукового расходомера, созданного для применения в системах управления подачей топлива или нефти. Приведены результаты моделирования и численных расчетов трехмерного течения вязкой жидкости в оригинальной измерительной линии расходомера.

Использование расходомеров в системах учета потребления жидкого топлива, особенно с неньютоновскими свойствами, невозможно без учета влияния вязкости на показания расходомера. Вязкость нефтепродуктов зависит от температуры, увеличиваясь с ее понижением. Опыт создания ультразвукового расходомера «Тритон» (сертификат об утверждении типа средств измерений № 20775 от 15 июня 2005 г., № 29307–05 в Государственном реестре средств измерений), а также исследования, проведенные в Институте теплофизики СО РАН [1, 2], позволили найти решение для создания измерительной линии, при использовании которой величина вязкости протекающей жидкости не влияет на результат измерения величины средней по сечению скорости потока. В новой схеме гидродинамического канала расходомера «Кварта» найдено хорошее сочетание простоты конструкции и точности изготовления, что позволяет обеспечить высокие метрологические параметры в широком диапазоне изменения вязкости жидкости, расход которой измеряется.

Особенностью расходомера «Кварта» является измерительная линия, содержащая канал плоской формы, который состоит из трех частей: плоского конфузора, плоского измерительного участка и плоского диффузора. Входное и выходное сечения измерительной линии расходомера имеют круглую форму диаметром 50 мм и плавно сопрягаются с плоским каналом. В плоском измерительном участке измерительной линии устанавливаются ультразвуковые датчики так, что ультразвуковой луч «просвечивает» поток жидкости под углом  $30^\circ$  к продольной оси канала по всей его ширине.

Для определения механизма влияния конструкции измерительной линии и величины вязкости жидкости на погрешность определения скорости потока было проведено математическое моделирование трехмерного течения жидкости в области «просвечивания» потока ультразвуковым лучом.

Для моделирования течения жидкости в измерительной линии был применён пакет Fluent. Пакет Fluent - это CFD (**Computational fluid dynamics**) пакет общего назначения, способный моделировать большое разнообразие задач для ограниченных и внутренних течений жидкости. Графический интерфейс пользователя связывает воедино постановку задачи (включая создание/импорт геометрии и генерацию сетки), препроцессинг, решение и обработку результатов и использует фиксированную сетку из пирамидальных элементов, что упрощает генерацию и обеспечивает многие желательные свойства (например, регулярность, улучшает точность, уменьшает требования к памяти, облегчает численную аппроксимацию). Для решения задачи была применена низкорейнольдсовская K-эпсилон модель (Low Reynolds K-epsilon) с шагом сетки 2 мм.

Динамический диапазон расходомера 1:20 (от 1,0 м<sup>3</sup>/ч до 20,0 м<sup>3</sup>/ч), что соответствует диапазону средней скорости во входном сечении измерительной линии от 0,14 м/с до 2,8 м/с. Расходомер может быть использован для измерения расхода жидкостей, имеющих динамическую вязкость в диапазоне от 0,005 кг/(м\*с) до 0,08 кг/(м\*с). Такой диапазон расходов и вязкости жидкости соответствует диапазону числа Рейнольдса, определенному по диаметру входного сечения измерительной линии и средней скорости потока в её входном сечении, от 88 до 28000. Это означает, что при измерении расхода в измерительной линии может быть реализован ламинарный, турбулентный или переходной тип течения.

На рис. 1 в качестве иллюстрации возможностей метода расчета приведен пример расчета поля скоростей для одного из значений средней скорости потока во входном сечении измерительной линии. В правой части рисунка приведена цветовая шкала для определения величины вектора скорости потока. Приведено поле скорости в вертикальной плоскости по оси измерительной линии и линии равных скоростей в поперечном сечении плоского измерительного участка.

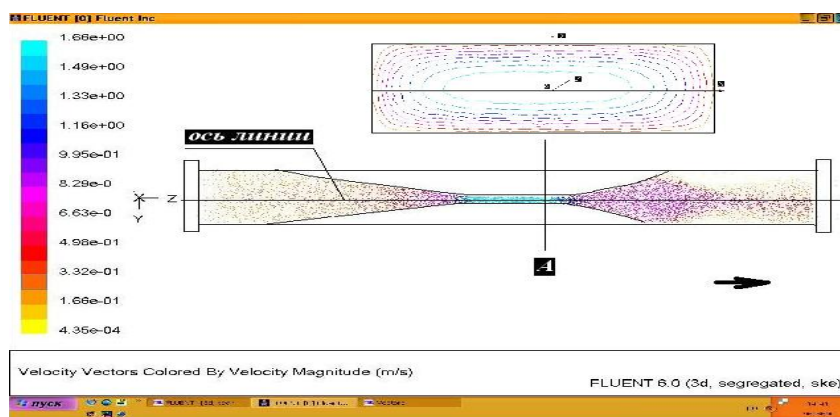


Рис. 1. Поле скоростей по оси измерительной линии

На рис. 2 изображена схема расположения ультразвуковых датчиков А и В расходомера в вертикальной плоскости по оси измерительной линии и распределение продольной составляющей вектора скорости потока вдоль измерительного луча АВ, проходящего через центры датчиков А и В.

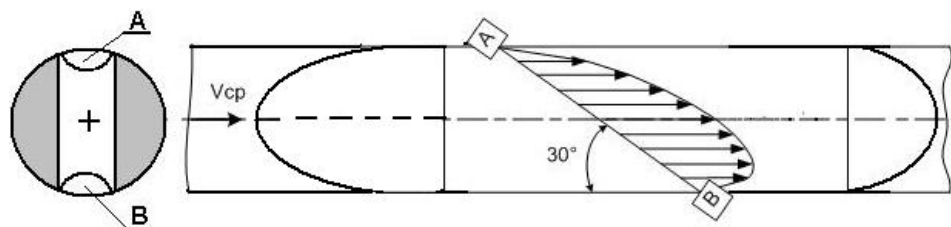


Рис. 2. Схема расположения ультразвуковых датчиков расходомера

Были проведены расчеты среднего значения продольной составляющей вектора скорости потока вдоль измерительного луча АВ  $V_{cp}(AB)$  для четырех значений вязкости потока жидкости (0,01, 0,02, 0,04 и 0,08 кг/(м\*с)) в диапазоне расходов от 0,5 м<sup>3</sup>/ч до 4 м<sup>3</sup>/ч.

На рис. 3 приведены результаты этих расчетов, которые отражают следующий факт: если ультразвуковые датчики расходомера представляют собой точечные источники-приемники излучения, то результаты измерения расхода будут иметь погрешность, зависящую от величины измеряемого расхода и от вязкости жидкости. Результат вполне очевидный, так как при изменении расхода и вязкости жидкости изменяется режим течения в плоском измерительном участке измерительной линии (ламинарный, переходной или турбулентный режим течения). Величина  $V_{cp}(AB)$  зависит от степени наполненности профиля скорости в измерительном участке (от режима течения).

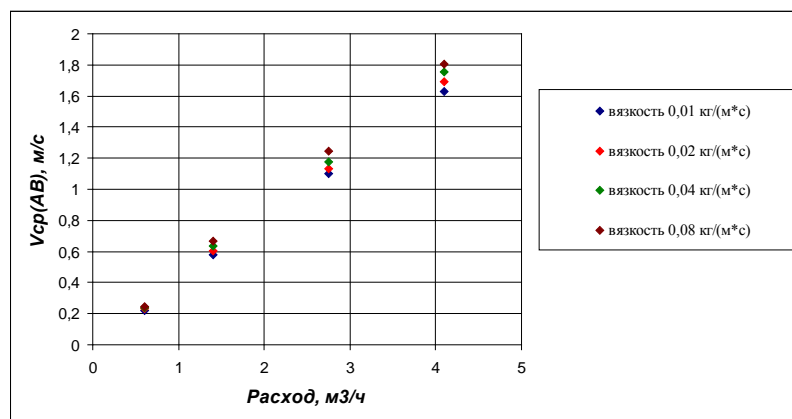


Рис. 3. Влияние вязкости жидкости на показания расходомера при точечных источниках-приемниках ультразвукового излучения.

На рис. 4 приведены результаты предыдущих расчетов (рис.3), но обработанные в виде относительной погрешности  $\delta$  измерения скорости  $V_{cp}(AB)$ . Величина  $\delta$  определена как  $\delta = (V_{cp}(AB)|_v - V_{cp}(AB)|_{0,01}) / V_{cp}(AB)|_{0,01}$ . Здесь величина  $V_{cp}(AB)|_{0,01}$  рассчитана для жидкости с вязкостью 0,01 кг/(м³·с), а  $V_{cp}(AB)|_v$  – рассчитана для жидкости с вязкостью  $v$  (0,02, 0,04 или 0,08 кг/(м³·с)).

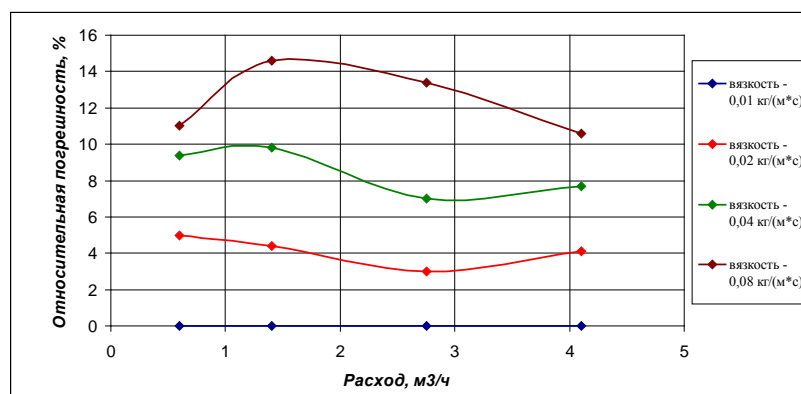
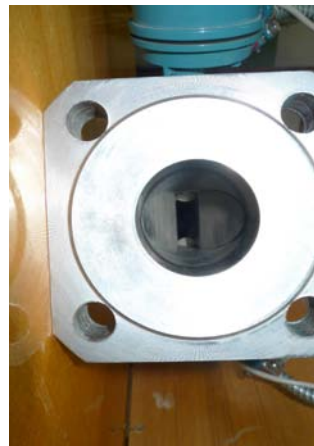


Рис. 4. Относительная погрешность измерения средней скорости.

Из рис. 4 следует, что в рассматриваемом случае можно ожидать погрешности измерения среднего значения продольной составляющей вектора скорости потока вдоль измерительного луча АВ  $V_{cp}(AB)$  более 10%.

Для устранения данной погрешности были разработан расходомер с особой конструкцией измерительной линии (рис. 5).



*a*

*б*

Рис 5. Рабочий образец расходомера «Кварта-Т-50».  
*a* – общий вид расходомера; *б* – измерительная линия расходомера.

На рис. 5*б* показана форма канала измерительной линии и способ установки ультразвуковых датчиков, которые позволяют измерять среднюю скорость потока (расход жидкости) без погрешности, связанной с вязкостью жидкости [3]. На рис. 6 приведена калибровочная кривая расходомера, которая подтверждает такое свойство расходомера.

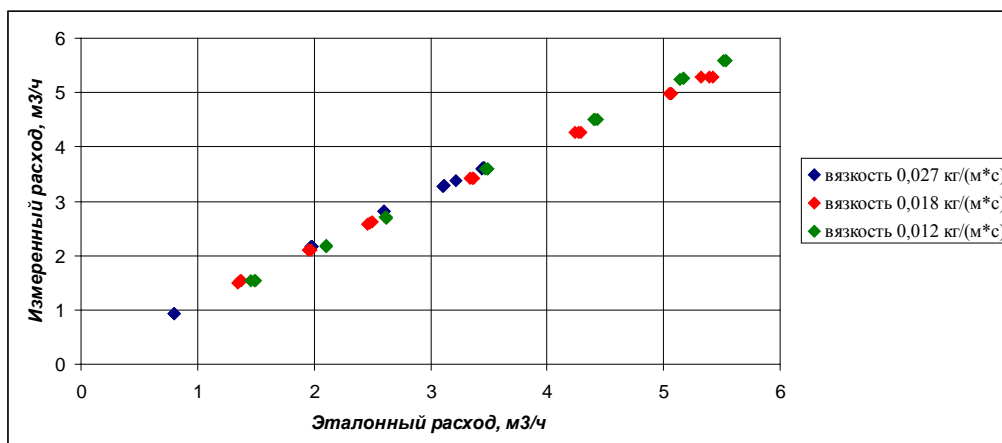


Рис 6. Калибровочная кривая расходомера.

### Литература

1. А.Ф. Серов, А.Д. Назаров, М.В. Бодров, Аппаратура и алгоритм для определения содержания нефти в смеси у скважины. Сборник материалов Международного научного конгресса Гео-Сибирь-2007, т. 5, с. 218 – 224, 25 – 27 апреля 2007 г., Новосибирск, СГГА.
2. Патент №85227. Измеритель расхода нефти. Серов А.Ф., Мамонов В.Н., Назаров А.Д., Кротов, С.В. (РФ). Заявка №2009106182. Приоритет 24 февраля 2009г. Зарегистрировано в Государственном реестре Российской Федерации 27 июля 2009 г.
3. Кремлевский. П.П. Расходомеры и счетчики количества вещества. Справочник. Кн.2 – Санкт-Петербург: Изд-во «Политехника». – 2004. – 412 с.