

ВЛИЯНИЕ ПОГРУЖНОГО ТЕРМОМЕТРА НА МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВИХРЕВОГО РАСХОДОМЕРА

Горяников Д.В.

Научный руководитель: кан. техн. наук, доц. Фролов А.С.

СибГУ им. Ф.М. Решетнева, г. Красноярск

Аннотация

В статье представлены результаты исследования влияния погружного термометра на число Струхала в вихревом расходомере с выносным чувствительным элементом и сравнение полученных результатов с участком трубопровода без погружного термометра. Численное моделирование методом CFD (Computational Fluid Dynamics), реализованным в программе для моделирования физических явлений с помощью метода конечных элементов Comsol Multiphysics (Femlab) проведено для цилиндрического тела обтекания при двух различных скоростях потока (0,11 и 0,27 м/с). Полученные данные о числе Струхала в зависимости от скорости потока и влияния погружного термометра, являющимся гидросопротивлением в трубопроводе, позволяют оптимизировать конструкцию трубопровода с вихревым расходомером для повышения точности измерений. Число Струхала в трубопроводе без погружного термометра имеет более усредненное значение, без резких его изменений, что является хорошим признаком. Тогда как в трубопроводе с термометром число Струхала резко падает. Можно сделать вывод, что тела, меняющие поток в трубопроводе, сильно влияют на точность измерения вихревым расходомером. Для увеличения точности вихревого расходомера с погружным термометром необходимо ставить тело обтекания на большее расстояние от всех погружных элементов.

Ключевые слова: тело обтекания, вихревой расходомер, число Струхала, моделирование гидродинамического процесса, исследование зависимости.

INFLUENCE OF A SUBMERSIBLE THERMOMETER ON THE METROLOGICAL CHARACTERISTICS OF A VORTEX DISCHARGE METER

Danil Goryanikov

Science Supervisor: Cand. of Tech. Sc. (PhD) Alexander Frolov

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

Abstract

The article presents the results of a study of the effect of a submersible thermometer on the Strouhal number in a vortex flowmeter with a remote sensing element. Numerical modeling using the CFD (Computational Fluid Dynamics) method, implemented in the Comsol Multiphysics (Femlab) software for modeling physical phenomena using the finite element method, was conducted for a cylindrical flow body at two different flow velocities (0.11 and 0.27 m/s). The data obtained on the Strouhal number, depending on the flow rate and the influence of the submersible thermometer, which is a hydraulic resistance in the pipeline, allow us to optimize the design of the pipeline with a vortex flowmeter in order to improve the accuracy of measurements. The Strouhal number in a pipeline without a submersible thermometer has a more averaged value, without sharp changes, which is a good sign. However, in a pipeline with a thermometer, the Strouhal number drops sharply. It can be concluded that bodies that change the flow in the pipeline have a significant effect on the Strouhal number.

Keywords: flow body, vortex flowmeter, Strouhal number, modeling of the hydrodynamic process, study of the dependence.



Введение

Эффективное управление технологическими процессами в современных промышленных установках невозможно без точного контроля расходования сред. Вихревые расходомеры, занимающие значительную долю рынка средств измерения, обладают уникальным сочетанием преимуществ: от отсутствия подвижных частей до способности работать с агрессивными средами [3]. Они получили широкое распространение в различных отраслях промышленности для измерения расхода жидкостей, газов и пара благодаря таким преимуществам, как высокая точность, широкий диапазон измерений, отсутствие подвижных частей и надежность в эксплуатации. Принцип их действия основан на зависимости частоты образования вихрей за обтекаемым телом (частоты вихреобразования) от скорости потока, которая описывается числом Струхала [1]. Этот параметр для вихревых расходомеров демонстрирует сложную зависимость от условий эксплуатации. Ключевым условием для обеспечения заявленной метрологической точности является стабильность и предсказуемость процесса вихреобразования, на которую напрямую влияет структура потока на входе в первичный преобразователь.

На практике вихревой расходомер часто работает в составе измерительного комплекса, где совместно с ним используются другие контрольно-измерительные приборы, в частности, погружные термометры (термопреобразователи сопротивления), необходимые для контроля температуры технологической среды и последующей компенсации ее влияния на плотность и объем измеряемой среды. Установка такого термометра в трубопровод до или после расходомера представляет собой локальное гидродинамическое возмущение, искажающее профиль скорости потока. Это может нарушать стабильность отрыва вихрей, модулируя их частоту, что в конечном итоге приводит к систематической погрешности измерения расхода [2].

Несмотря на очевидность данной проблемы, ее систематическому исследованию в научно-технической литературе уделено недостаточно внимания. Производители вихревых расходомеров, как правило, регламентируют требования к прямым участкам трубопровода до и после прибора, однако влияние конкретных типов возмущающих элементов, таких как погружной термометр, часто не квалифицируется. Это приводит к ситуациям, когда на объекте, несмотря на соблюдение паспортных длин прямых участков, наблюдаются необъяснимые отклонения в показаниях, причиной которых является интерференция потоков от соседних приборов.

Материалы и методы

Целью исследования является определение влияния погружного термометра на точность измерения вихревого расходомера путем выявления зависимости числа Струхала (Sh) от скорости потока (V) и сравнении с участком трубопровода без термометра сопротивления.

Нами было выбрано цилиндрическое ТО – тело обтекания (рис. 1).

Далее нами был выбран термометр сопротивления с длиной погружаемой части $L = 0,5$ м под наклоном 45 градусов и помещен на участок трубопровода. На расстоянии в 3 диаметра тела обтекания было помещено само тело обтекания с гибким электродом, являющимся датчиком, за ним (рис. 2) [4]. Также был смоделирован участок трубопровода без погружного термометра для дальнейшего сравнения метрологических характеристик (рис. 3).

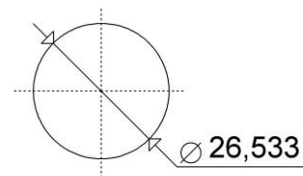


Рис. 1. Цилиндрическое ТО



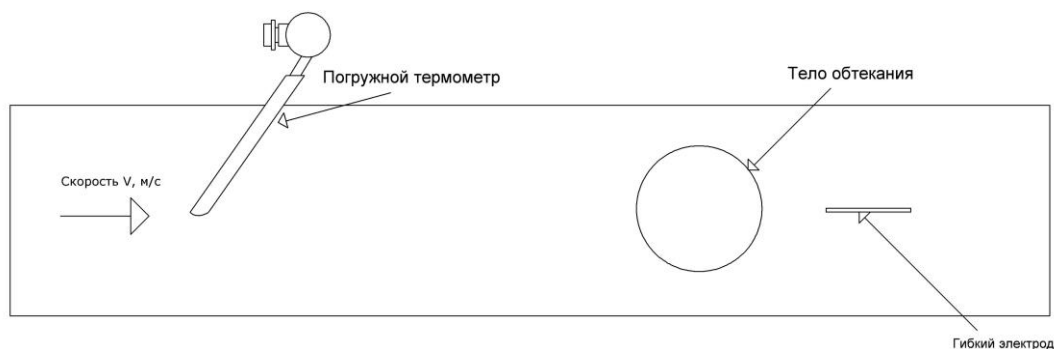


Рис. 2. Участок трубопровода с погружным термометром и цилиндрическим ТО

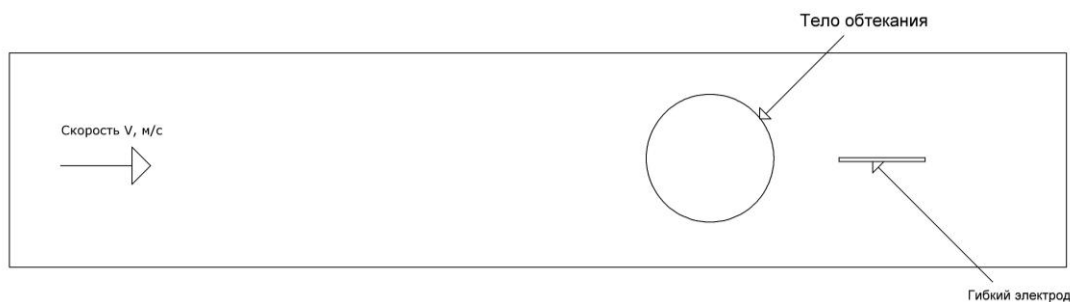


Рис. 3. Участок трубопровода без погружного термометра и цилиндрическим ТО

Для выполнения исследования нами был выбран метод численного моделирования гидродинамических процессов CFD (Computational Fluid Dynamics), реализованный в программе Comsol Multiphysics (Femlab).

Исследование проводилось на участке трубопровода диаметром $D = 0,8$ м на разных скоростях, равных $0,11$ м/с и $0,27$ м/с. Был найден усредненный период (T) для каждой из скоростей (v) и каждого из видов трубопроводов, согласно (1)

$$T = (T_1 + T_2 + \dots + T_n)/n; \quad (1)$$

где T_1, T_2, \dots, T_n – это периоды, с; n – это количество измеренных периодов

Далее было найдено число Струхалия (Sh), согласно (2)

$$T = d/(T \cdot V); \quad (2)$$

где T – усредненный период, с; d – диаметр тела обтекания, м; v – скорость потока, м/с.

Результаты

По результатам численного исследования был построен график зависимости числа Струхалия Sh от скорости потока v для трубопроводов с погружным термометром и без него (рис. 4). В ходе проведенного численного эксперимента мы получили зависимость числа Струхалия от скорости. Из графика видно, что число Струхалия в трубопроводе без погружного термометра имеет более усредненное значение, без резких его изменений, что является хорошим признаком. Тогда как в трубопроводе с термометром число Струхалия резко падает. Можно сделать вывод, что тела, меняющие поток в трубопроводе, сильно влияют на точность измерения вихревым расходомером.

Выводы (Conclusion)

Проведённое численное моделирование в Comsol Multiphysics показало, что зависимость числа Струхалия от скорости потока для исследованных участков трубопровода имеет большое различие в значениях и точности измерения вихревого расходомера.



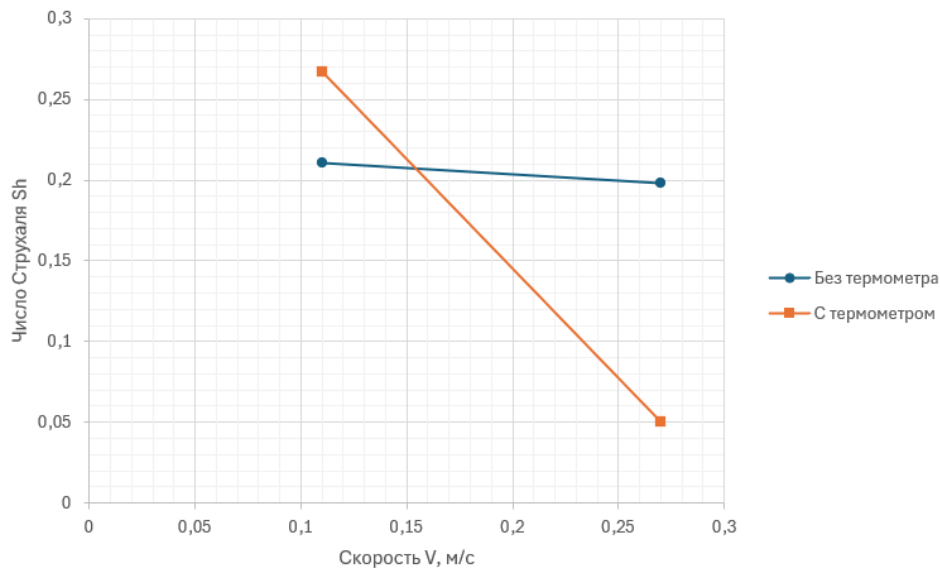


Рис. 4. График зависимости числа Струхалия Sh от скорости потока v

Полученные результаты демонстрируют влияние погружных элементов в трубопроводах на точность измерения. Для увеличения точности вихревого расходомера с погружным термометром необходимо ставить тело обтекания на большее расстояние от всех погружных элементов.

Библиографический список

1. **Рябинкин В.Н.** Проблемы в энергосбережении // Градостроительство. – 2012. – № 3(19). – С. 81-86. EDN: [OZPOVF](#)
2. **Лурье М.С.** Технологические испытания и поверка погружных вихревых расходомеров для целлюлозно-бумажного производства // Датчики и системы. – 2010. – № 6. – С. 42–45. EDN: [MSXTJX](#)
3. **Кремлевский П.П.** Расходомеры и счетчики количества: справочник / 4-е изд., перераб. и доп. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-е, 1989. – 701 с.
4. **Лурье М.С., Лурье О.М., Фролов А.С., Бенько Н.В.** Исследование и оптимизация гидродинамических характеристик погружных вихревых расходомеров // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2021. – № 3. – С. 44–48. EDN: [BHJXSE](#). DOI: [10.31044/1684-2561-2021-0-3-44-48](https://doi.org/10.31044/1684-2561-2021-0-3-44-48)

Сведения об авторах

Горяников Данил Валерьевич, студент, 4 курс, бакалавр, кафедра автоматизации производственных процессов, Сибирский государственный университет науки и технологий им. академика М. Ф. Решетнева, г. Красноярск, dddgor555@gmail.com.

Authors about

Danil Goryanikov, 4th year student, Bachelor's degree, Department of Automation of Production Processes, Siberian State University of Science and Technology named after Academician M.F. Reshetnev, Krasnoyarsk, dddgor555@gmail.com.

Ссылки для цитирования

Горяников Д.В. Влияние погружного термометра на метрологические характеристики вихревого расходомера // Энергетические системы. – 2025. – № 3. – С. 109-112.

Goryanikov, D. V. (2025). Influence of a submersible thermometer on the metrological characteristics of a vortex discharge meter. *Energy Systems*, 3, 109-112. <https://doi.org/10.34031/es.2025.3.14>

