

ВЛИЯНИЕ ЗАДВИЖКИ НА ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ ВИХРЕВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

Гракович Ф.М.

Научный руководитель: кандидат техн. наук, Лурье О.М.

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

Аннотация

Точность вихревых расходомеров критически зависит от степени гидродинамической стабилизации потока перед измерительным преобразователем. В данной работе методом вычислительной гидродинамики исследовано влияние длины прямого участка после частично закрытой задвижки (20% закрытия) на стабильность процесса вихреобразования и определяемую частоту схода вихрей. Моделирование проводилось для двух качественно различных режимов течения в трубе диаметром 80 мм: переходного со скоростью $V = 0,11$ м/с и развитого турбулентного со скоростью $V = 0,27$ м/с. Результаты выявили принципиальную зависимость характера и величины погрешности от режима течения. В переходном режиме наблюдается систематическое завышение частоты вихреобразования на 16,5% при установке расходомера на расстоянии $3D$ от сопротивления. В турбулентном режиме проявляется противоположный эффект – занижение частоты на 9% при том же расстоянии. Установлено, что для турбулентного потока стабилизация и выход на погрешность менее 2% достигаются на участке $10D-15D$. В то же время, переходный режим требует значительно больших расстояний для выхода на эталонные показатели, что свидетельствует о различной физике взаимодействия возмущенного потока с телом обтекания в этих режимах.

Ключевые слова: вихревой расходомер, тело обтекания (ТО), канал обратной связи (КОС), частота вихреобразования (f), турбулентный поток, чувствительность расходомера.

THE INFLUENCE OF THE GATE VALVE ON THE MEASUREMENT ERROR OF VORTEX FLOW METERS

Fedor Grakovich

Scientific supervisor: Cand. of Tech. Sc. (PhD), Olga Lur'e

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk

Abstract

The accuracy of vortex flow meters critically depends on the degree of hydrodynamic stabilisation of the flow in front of the measuring transducer. In this work, computational fluid dynamics was used to investigate the influence of the length of the straight section after a partially closed gate valve (20% closure) on the stability of the vortex formation process and the determined vortex shedding frequency. Modelling was carried out for two qualitatively different flow regimes in a pipe with a diameter of 80 mm: transitional with a velocity of $V = 0.11$ m/s and developed turbulent with a velocity of $V = 0.27$ m/s. The results revealed a fundamental dependence of the nature and magnitude of the error on the flow regime. In the transitional regime, a systematic overestimation of the vortex formation frequency by 16.5% is observed when the flow meter is installed at a distance of $3D$ from the resistance. In the turbulent regime, the opposite effect is observed – an underestimation of the frequency by 9% at the same distance. It has been established that for turbulent flow, stabilisation and an error of less than 2% are achieved in the $10D-15D$ section. At the same time, the transitional regime requires significantly greater distances to reach the reference values, which indicates different physics of the interaction of the disturbed flow with the body of the flow in these regimes.

Keywords: vortex flow meter, flow body (FB), feedback channel (FC), vortex formation frequency (f), turbulent flow, flow meter sensitivity.



Введение

Вихревые расходомеры занимают важное место в арсенале средств измерения расхода жидкостей и газов благодаря своей надежности, широкому диапазону измерений и отсутствию подвижных частей. Принцип их действия основан на строгой зависимости между скоростью потока и частотой образования вихрей Кармана, срывающихся с тела обтекания. Однако практическая реализация метрологических характеристик этих приборов в значительной степени определяется условиями их установки в трубопроводной системе. Наличие гидравлических возмущений, создаваемых запорной арматурой, коленами, тройниками и другими местными сопротивлениями, может приводить к существенным искажениям профиля скорости и возникновению систематических погрешностей измерения.

Современная нормативная база и техническая документация производителей содержат определенные требования к минимальным длинам прямых участков до и после расходомера. Тем не менее, анализ существующих рекомендаций показывает их обобщенный характер и недостаточный учет влияния режимных параметров потока, в частности, числа Рейнольдса, определяющего динамические характеристики течения. Особую сложность представляет прогнозирование метрологических характеристик расходомеров в переходной области чисел Рейнольдса, где поток демонстрирует повышенную чувствительность к внешним возмущениям и характеризуется неустойчивостью процессов переноса.

Актуальность настоящего исследования определяется необходимостью разработки научно обоснованных практических рекомендаций по установке вихревых расходомеров, учитывающих взаимосвязанное влияние типа гидравлического сопротивления, степени его открытия и режимных параметров потока. Полученные результаты будут способствовать повышению точности измерений расхода в реальных промышленных условиях, где обеспечение нормативных длин прямых участков часто связано со значительными технологическими и компоновочными ограничениями.

Цель работы заключается в комплексном исследовании влияния длины прямого участка после частично закрытой задвижки на процессы вихреобразования и точность определения частоты схода вихрей в вихревом расходомере при качественно различных режимах течения. Для достижения этой цели предусмотрено проведение серии численных экспериментов с использованием методов вычислительной гидродинамики, включая моделирование обтекания тела вихревого расходомера при наличии гидравлического сопротивления на различных расстояниях от преобразователя. Исследование охватывает детальный анализ характеристик вихреобразования в переходном и развитом турбулентном режимах течения, количественную оценку погрешностей определения частоты вихреобразования на различных расстояниях от местного сопротивления, установление зависимостей между степенью стабилизации потока и режимными параметрами, а также разработку обоснованных практических рекомендаций по оптимальному монтажу вихревых расходомеров в условиях ограниченных прямых участков.

Материалы и методы

В рамках исследования методом вычислительной гидродинамики были рассмотрены три конфигурации расположения вихревого расходомера относительно местного сопротивления (задвижка с степенью закрытия 20%). Расстояние между задвижкой и телом обтекания расходомера составляло $3D$, $7D$ и $15D$, где D - внутренний диаметр трубопровода, равный 80 мм (рис. 1).



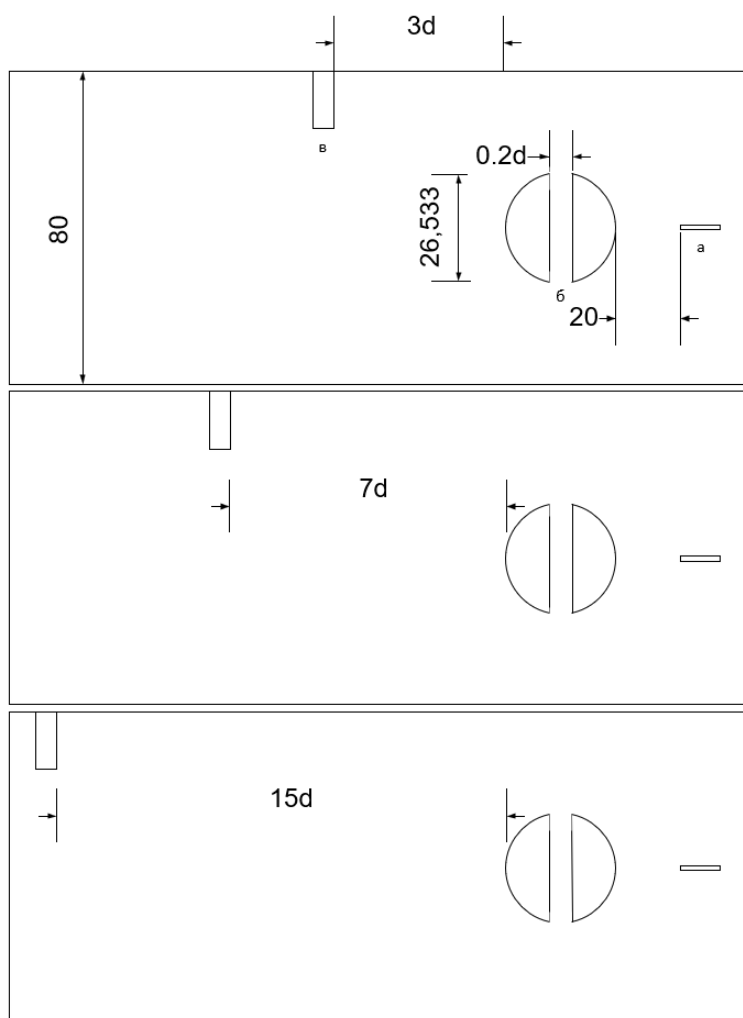


Рис. 1. Схема расположения задвижки и тела обтекания в трубопроводе:
а – чувствительный элемент; б – тело обтекания; в – задвижка

В качестве тела обтекания использовался цилиндр диаметром 26,533 мм с каналом обратной связи шириной $0,2D = 5,31$ мм. Моделирование выполнялось в программе Comsol Multiphysics, которая применяет метод конечных элементов для решения задач, связанных с распределением скоростей и давления в потоке.

Экспериментальные исследования проводились на виртуальной модели участка трубопровода. Были рассмотрены различные режимы потока с двумя значениями скорости: 0,11 м/с и 0,27 м/с. Для каждой конфигурации расположения задвижки относительно тела обтекания проводился анализ периода и частоты вихреобразования. Эти параметры являются ключевыми для оценки точности и стабильности работы вихревых расходомеров в условиях возмущенного потока.

Численная модель включала стационарное течение воды при температуре 20°C. Для описания турбулентных режимов использовалась модель low Re $k-\omega$, обеспечивающая точное предсказание отрыва потока и формирования вихрей. Анализ результатов включал сравнение частот вихреобразования для различных конфигураций с эталонным случаем полностью стабилизированного потока.

Результаты

Проведенное численное моделирование позволило получить количественные данные о частоте вихреобразования за телом обтекания при различных условиях установки вихревого расходомера. Анализ результатов показал существенную зависимость



характеристик вихреобразования от расстояния между задвижкой и телом обтекания, а также от режима течения жидкости.

В табл. 1, а также на рис. 2 и 3 представлены полученные значения частот вихреобразования для различных скоростей потока и конфигураций установки.

Таблица 1

Результаты измерения частоты вихреобразования

Скорость потока, м/с	Расстояние до задвижки, м	Частота вихреобразования, Гц	Погрешность, %
0,11	0,24	1,104	+16,5
	0,56	1,053	+9,0
	1,20	0,948	0,0
0,27	0,24	2,435	-9,0
	0,56	2,526	-4,2
	1,20	2,676	0,0

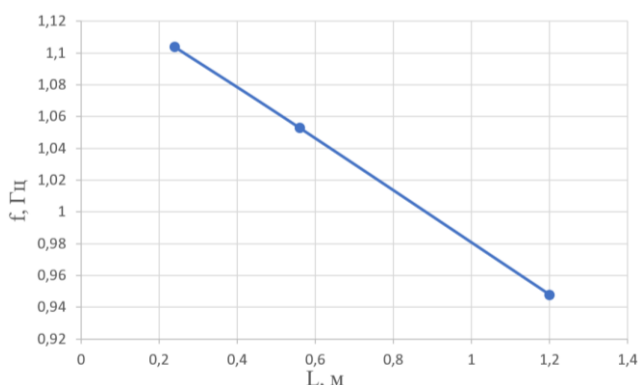


Рис. 2. Зависимость частоты вихреобразования от расстояния до расходомера при скорости потока равной 0,11 м/с

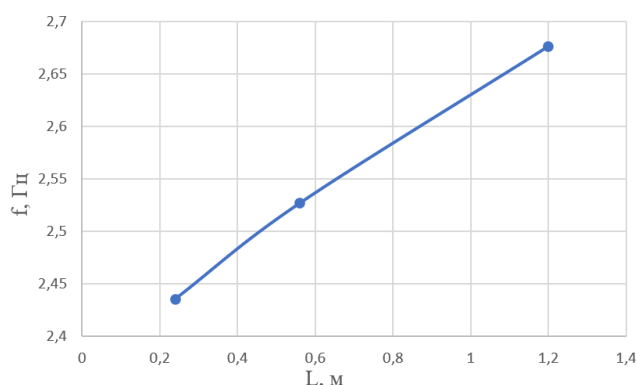


Рис. 3. Зависимость частоты вихреобразования от расстояния до расходомера при скорости потока равной 0,27 м/с

Как следует из представленных данных, в переходном режиме течения ($v = 0,11$ м/с, $Re \approx 8800$) наблюдается систематическое завышение частоты вихреобразования при уменьшении расстояния до задвижки. На участке $3D$ погрешность составляет +16,5%, уменьшаясь до +9,0% на участке $7D$.

В турбулентном режиме ($v = 0,27$ м/с, $Re \approx 21500$) характер погрешности принципиально иной - наблюдается занижение частоты вихреобразования, составляющее -9,0% на участке $3D$ и уменьшающееся до -4,2% на участке $7D$.

Анализ гидродинамических характеристик потока показал, что в переходном режиме задвижка создает устойчивую зону рециркуляции, которая сохраняется на значительном расстоянии, искажая профиль скорости и приводя к завышению частоты вихреобразования. В турбулентном режиме наблюдается интенсивное перемешивание потока, приводящее к потере импульса и, как следствие, к занижению измеряемой частоты.

Полученные результаты демонстрируют необходимость учета режима течения при определении требований к длинам прямых участков для вихревых расходомеров, поскольку один и тот же тип гидравлического сопротивления оказывает принципиально различное влияние на погрешность измерений в зависимости от числа Рейнольдса.



Выводы

Проведенное исследование подтвердило значительное влияние длины прямого участка после местного сопротивления на точность измерений вихревого расходомера. Установлено, что уменьшение расстояния между гидравлическим сопротивлением и телом обтекания приводит к существенному росту погрешности определения частоты вихреобразования.

Результаты работы выявили принципиальное различие в характере влияния возмущенного потока на процессы вихреобразования в зависимости от режима течения. В переходном режиме наблюдается систематическое завышение частоты, в то время как в турбулентном режиме проявляется противоположный эффект в виде ее занижения. Это различие обусловлено сменой доминирующих физических механизмов взаимодействия потока с телом обтекания.

Полученные данные свидетельствуют о необходимости учета режима течения при разработке требований к монтажу вихревых расходомеров. Практическая значимость работы заключается в возможности разработки обоснованных рекомендаций по установке расходомерного оборудования в условиях ограниченных прямых участков, что позволяет минимизировать систематические погрешности измерений при наличии возмущений потока.

Библиографический список

1. Лурье М. С., Лурье О. С., Фролов А. С., Бенько Н.В. Исследование и оптимизация гидродинамических характеристик погруженных вихревых расходомеров // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2021. - №3. – С. 41-44. EDN: [BHJXSE](#). DOI: [10.31044/1684-2561-2021-0-3-44-48](https://doi.org/10.31044/1684-2561-2021-0-3-44-48).
2. Wei Z.L., Wang J.Z., Han H.Y., Yang Z.Y., Wang W. Frequency Shift behind an Oscillating Bluff Body in a Wake Flow // IMEKO TC9 FLOMEKO Conference. – Seoul: FLOMEKO, 1993. – P. 515–524.
3. Lucas G.P., Turner J.T. Influence of Cylinder Geometry on the Quality of its Vortex Shedding Signal // Proc. of International Conference on Flow Measurement. – Melbourne: University of Melbourne, 1985. – P. 81–88.
4. von Karman T. Über den Mechanismus des Widerstandes, den ein bewegter Körper in einer Flüssigkeit erzeugt // Nachrichten von der Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen. Mathematisch-Physikalische Klasse. –1911. – Vol. 1 – S. 509–517.
5. Bentley J.P., Mudd J.W. Vortex Shedding Mechanisms in Single and Dual Bluff Bodies // Flow Measurement Instruments. – 2003. – Vol. 14. P. 23–31. DOI: [10.1016/S0955-5986\(02\)00089-4](https://doi.org/10.1016/S0955-5986(02)00089-4).
6. Yamasaki H., Rubin M. The Vortex Flowmeter // Flow Measurement and Control in Science and Industry. – Pittsburgh: ISA, 1974. – P. 975–983.

Сведения об авторах

Гракович Фёдор Михайлович, бакалавриат, 4 курс, автоматизация технологических процессов и производств, СибГУ им. Решетнева, г. Красноярск, fedich4702@mail.ru

Authors about

Fedor Grakovich, baccalaureate, a fourth-year law student, automation of technological processes and production, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk City.

Ссылки для цитирования

Гракович Ф.М. Влияние задвижки на погрешность измерения вихревых расходомеров // Энергетические системы. – 2025. – № 3. – С. 104-108.

Grakovich, F. (2025). The influence of the gate value on the measurement error of vortex flow meters. *Energy Systems*, 3, 104-108. <https://doi.org/10.34031/es.2025.3.13>

