

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДОВ ДЛЯ ВИХРЕВЫХ РАСХОДОМЕРОВ

А. А. Ходыкина

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнёва, г. Красноярск, Российская Федерация

Научный руководитель А. С. Фролов

Рассмотрен вопрос имитационного моделирования влияния местных гидравлических сопротивлений в трубопроводе на гидродинамические характеристики потока с фиксированным прямым участком перед телом обтекания с каналом обратной связи. На основе полученных данных построены графики зависимости числа Струхаля (Sh) в исследуемом диапазоне скоростей при воздействии гидравлических сопротивлений и без.

Ключевые слова: вихревые расходомеры, моделирование, число Струхаля (Sh), тело обтекания.

Основной задачей любого производства является обеспечение максимально эффективной и безопасной эксплуатации оборудования, продлевая срок его работы, а также оптимальное применение ресурсов. Это достигается путём использования измерительных приборов, например, таких как вихревые расходомеры с телом обтекания (ТО) и каналом обратной связи (КОС).

Технология измерения, заложенная в вихревых расходомерах, рассчитывает объем или массу вещества, прошедшего по сечению трубы за единицу времени, за счет измерения частоты колебаний давления [1]. Поток жидкости огибает тело обтекания (ТО), установленное в трубопроводе, меняя скорость и давление струй и формирует след, состоящий из цепочки регулярных вихрей, также называемой дорожкой Кармана. Установленный в канале обратной связи ТО, гибкий электрод преобразует эту энергию регулярных вихрей в выходной электрический частотный сигнал, который и используется в расчетах.

Промышленные производства имеют обширные трубопроводные сети, в которых присутствуют повороты и сопряжения труб различного диаметра, что влияет как на скорость потока, так и на создаваемую эпюру. В целом всевозможные сочленения труб различного диаметра создают потоку местные гидравлические сопротивления, которые, в свою очередь, влияют на погрешности измерения [2] и приводят к финансовым и материальным потерям.

Для формирования равномерной эпюры скоростей, не зависящей от предыстории потока, на производстве устанавливается прямолинейный участок нормированной длины, но это сильно увеличивает габариты используемого оборудования и усложняет его размещение в пространстве.

В работе рассматривается оценка влияния местных гидравлических сопротивлений концентрического и эксцентрического перехода диаметром 150–80 мм, влияющих на погрешность измерения в рабочем диапазоне скоростей (расходов) при фиксированной длине прямого участка перед ТО вихревого расходомера.

Исследования проводились с помощью имитационного моделирования физических процессов, экономя время, материальные ресурсы и финансовые вложения, а также получая прогноз результатов на основе имеющихся данных и условий ещё на этапе проектирования. Использовался метод численного моделирования гидродинамических процессов CFD (Computational Fluid Dynamics), реализованный в программе COMSOL Multiphysics, которая является универсальной средой моделирования с

удобным интерфейсом, мощными решателями, и поддерживающая конечно-элементную технологию вместе с адаптивным построением сетки.

Было выбрано ТО грибовидной формы (рис. 1), с характерным размером 26,533 мм и КОС, стабилизирующим вихреобразование, шириной 10 мм.

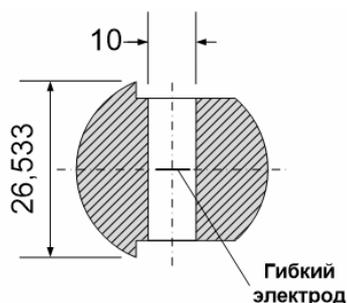


Рис. 1. Поперечное сечение ТО грибовидной формы (фотон) с КОС

На первом этапе исследования для каждой скорости V , соответствующей определённому числу Re (Рейнольдса), и диаметра трубопровода, соответствующего входному сечению гидравлического сопротивления, был сформирован квазиустановившийся поток жидкости, а после получены эпюры скоростей потока жидкости на прямом участке трубопровода длиной $100D$.

На втором этапе исследования полученная ранее на первом этапе эпюра скорости передавалась на измерительный участок с гидравлическим сопротивлением в виде концентрического и эксцентрического перехода согласно ГОСТ [3], а также на прямолинейный участок перед расходомером, равный $5D$ диаметрам трубопровода перед ТО с КОС вихревого расходомера (рис. 2).

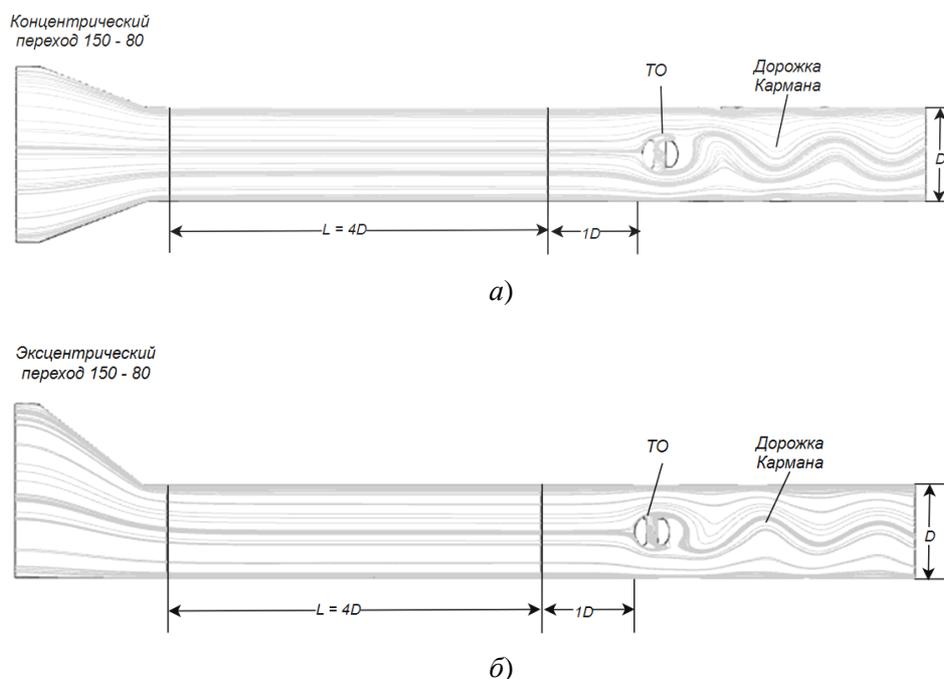


Рис. 2. Течения потока в трубопроводе после местных гидравлических сопротивлений

Исследования проводились с измерительным участком трубопровода диаметром $D = 80$ мм при скоростях V , равных 0,11; 0,27; 0,44 м/с.

Для каждого значения числа V определялось среднее значения периода $T_{\text{ср}}$ на интервале усреднения, по которому согласно (1) находится безразмерная величина число Струхалия Sh [4]:

$$Sh = \frac{d}{V \cdot T_{\text{ср}}}, \quad (1)$$

где V – средняя скорость потока в сечении трубопровода, в котором установлено тело обтекания, м/с; d – характерный размер тела обтекания, м.

Результатами постпроцессорной обработки данных численного эксперимента являлись зависимость числа Струхалия (Sh) в исследуемом диапазоне V с местными гидравлическими сопротивлениями и без них.

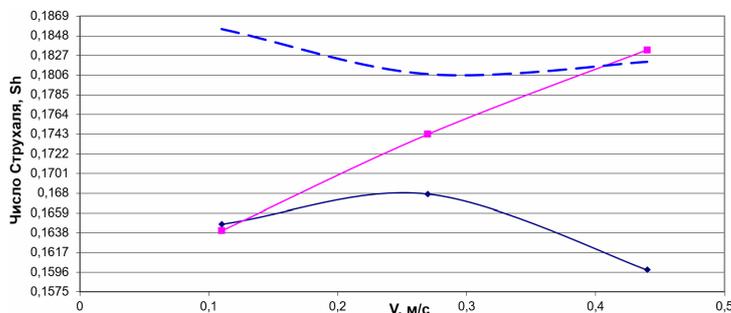


Рис. 3. График зависимости числа Струхалия (Sh) от скорости V :
 —◆— — переход 150–80 концентрический; —■— — переход 150–80 эксцентрический;
 — — — без сопротивлений

Для каждого гидравлического сопротивления находилось среднее значение числа $Sh_{\text{ср}}$ в рабочем диапазоне скоростей. Отклонение от среднего значения ΔSh , %, определяется из выражения (2). Данные расчетов приведены на рис. 4.

$$\Delta Sh, \% = \frac{Sh_{\text{ср}} - Sh}{Sh_{\text{ср}}}. \quad (2)$$

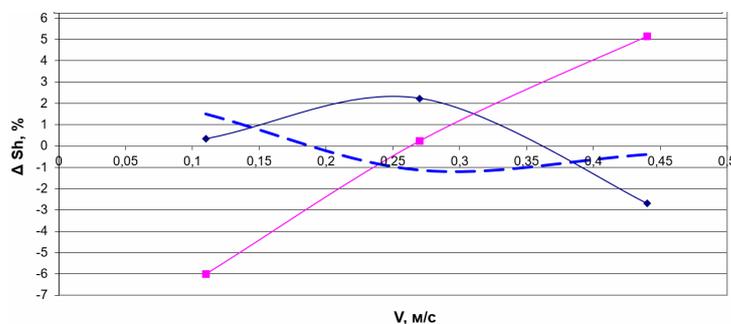


Рис. 4. График зависимости среднего значения числа Струхалия (ΔSh) от скорости потока:
 —◆— — переход 150–80 концентрический; —■— — переход 150–80 эксцентрический;
 — — — без сопротивлений

В результате анализа численного эксперимента установлено, что зависимость числа $Sh = f(V)$ для ТО (при постоянном L) от влияния гидравлических сопротивлений можно сделать выводы:

1. Изменение числа Sh вследствие влияния исследуемых переходов носит различный характер, что, в свою очередь, может быть связано с нарушением симметричности эпюры скоростей после переходов и, как следствие, изменения отрывной зоны [5] и обтекания самого ТО вихревого расходомера.

2. В потоке без сопротивлений отклонение значения числа Струхалия (Sh) в диапазоне скоростей меньше двух других и составляет 0,5 %. У эксцентрического перехода 150–80 отклонение составляет 1,9 % и это почти в четыре раза больше, чем у потока без сопротивлений. А у концентрического перехода 0,8 %.

3. Отклонение среднего значения числа Струхалия у потока без сопротивлений составляет 2,6 %, у концентрического перехода – 4,9 %, а у эксцентрического перехода – 11,1 %.

Предметом дальнейшего исследования может быть удлинение прямолинейного участка перед расходомером и нахождение новых погрешностей.

Л и т е р а т у р а

1. Альшева, К. В. Методы и особенности исследования вихревых расходомеров / К. В. Альшева // Вестн. ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». – 2018. – Т. 18, № 3. – С. 119–123.
2. Лурье, М. С. Погрешности погружных вихревых расходомеров и методы их снижения / М. С. Лурье, О. М. Лурье // Датчики и системы. – 2012. – № 1. – С. 25–29.
3. Детали трубопроводов бесшовные приварные из углеродистой и низколегированной стали. Переходы. Конструкция: ГОСТ 17378–2001. – Дата введения: 2003–01–01. – 15 с.
4. Лурье, М. С. Сравнительный анализ тел обтекания вихревых расходомеров методом имитационного моделирования / М. С. Лурье, О. М. Лурье, А. С. Фролов // Датчики и системы. – 2017. – № 10. – С. 17–21.
5. Эпик, Э. Я. Влияние загромождения канала и турбулентности потока на обтекание цилиндра / Э. Я. Эпик, Л. Г. Козлова // Теплофизика и теплотехника. – 1973. – Вып. 25. – С. 55–57.

WEB-ПРИЛОЖЕНИЕ АНКЕТИРОВАНИЯ СТУДЕНТОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ МЕНЕДЖМЕНТА КАЧЕСТВА

Д. А. Нестерков, М. А. Кругликовский

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

Научный руководитель С. В. Белова

Представлено клиент-серверное приложение анкетирования обучающихся для системы менеджмента качества БНТУ. Приложение позволяет автоматизировать процесс сбора данных, формировать аналитические отчеты и предоставлять обратную связь участникам.

Ключевые слова: система менеджмента качества, анкетирование, веб-приложение, React, Node.js, WebSocket.

Система менеджмента качества (СМК) Белорусского национального технического университета – это комплекс мероприятий, проделанных на непрерывное совершенствование образовательной и научно-исследовательской деятельности. Целью БНТУ в области СМК является удовлетворение потребностей и ожиданий студентов и научного сообщества в качественных услугах.