

ПРОЕКТ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИМ СТЕНДОМ, ОБРАБОТКИ ВИДЕО ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ МГНОВЕННЫХ ПОЛЕЙ СКОРОСТЕЙ

Мирзоян А.С.

amspectre@gmail.com,

Петров А.В.

gmdidro@gmail.com,

Лебедев В.В.

Рыбинск, РГАТА имени П.А.Соловьева

Аннотация

Спроектирована система управления и мониторинга состояния вращающегося гидродинамического стенда. Приведен обзор основных методов построения мгновенных полей скоростей по видео информации. Приведено описание схемы проведения эксперимента.

1. Введение

Разнообразные технологические процессы, используемые человеком в промышленности, связаны с созданием потока жидкости или газа. Практически любой такой искусственный поток обладает турбулентностью. Потoki вещества в своем естественном состоянии также в большинстве случаев нестационарны. В связи с этим актуальными являются способы расчета и управления такими потоками. Одной из наиболее часто используемых теоретических моделей, описывающей движение вязкой ньютоновской жидкости, являются уравнения Навье – Стокса [1], записанные для несжимаемой жидкости в векторной форме ниже:

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + v \cdot \nabla v \right) = -\nabla p + \mu \nabla^2 v + f, \quad (1)$$

где ρ - плотность жидкости, v - векторное поле скоростей, p - давление, μ - коэффициент кинематической вязкости, f - векторное поле массовых сил.

Однако решение этих уравнений для реальных практических случаев представляет большие трудности. Поэтому часто прибегают к экспериментальным методам исследования динамики потоков. Целью данной работы является описание проекта экспериментального гидродинамического стенда и его информационной системы, позволяющей производить управление параметрами стенда, визуализацию динамики потока, построение мгновенных полей скоростей.

2. Структура гидродинамического стенда

Особенностью описываемого гидродинамического стенда является то, что рабочая зона эксперимента (канал) размещена на вращающейся платформе, что влечет дополнительные технологические трудности при построении и оборудовании стенда. Теоретические основы гидродинамического моделирования течения вдоль диска турбины, экспериментальное исследование которого должен обеспечить проектируемый стенд, описаны в работе [1]. Мнемосхема стенда приведена на рисунке 1.

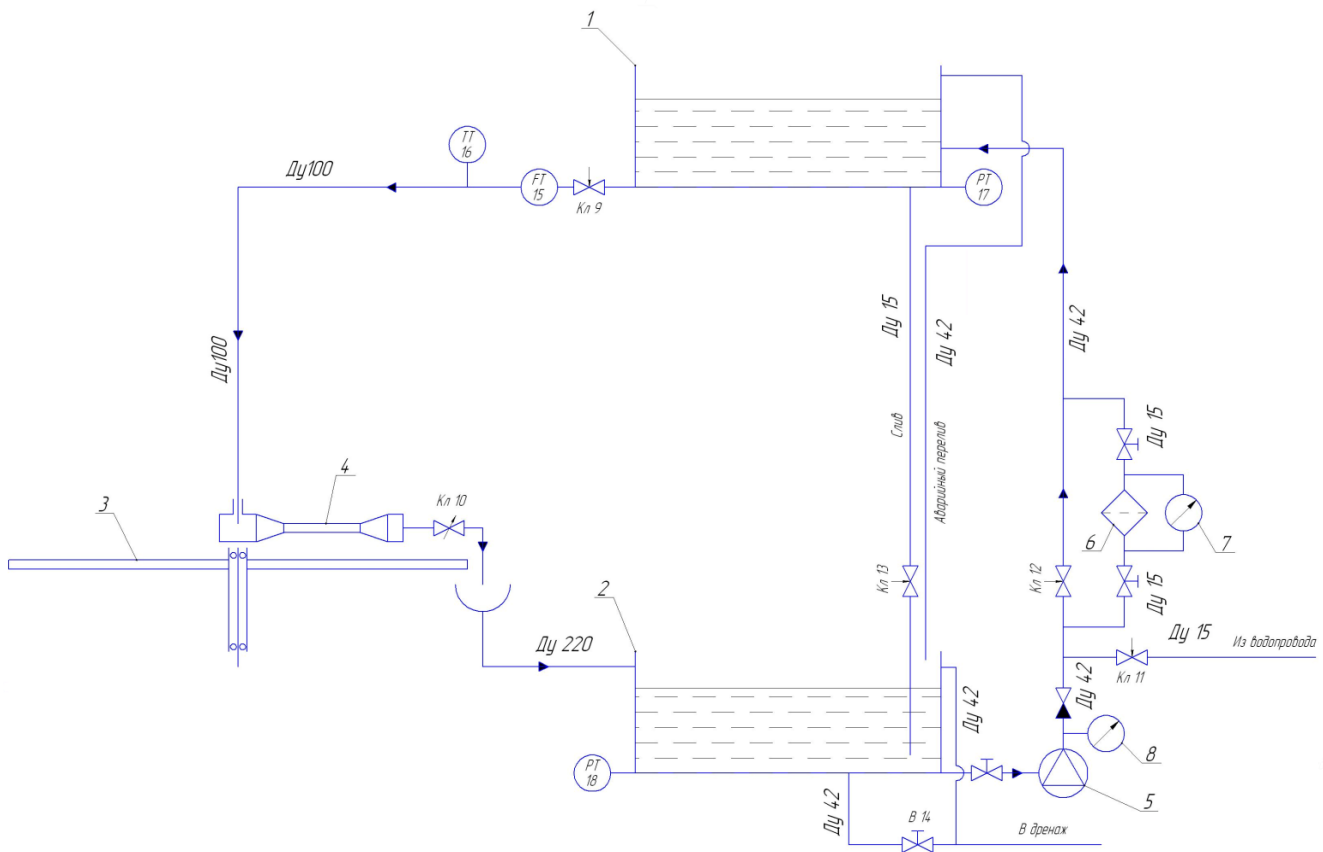


Рис. 1. – Мнемосхема гидростенда [1] (1 – напорный бак; 2 – приемный бак; 3 – вращающаяся платформа; 4 – объект исследования; 5 – циркуляционный насос; 6 – фильтр тонкой очистки; 7, 8 – контрольные манометры; Кл 9 – клапан подачи жидкости на стенд; Кл 10 – клапан регулировки расхода; Кл 11 – запорный клапан подпитки из внешней сети; Кл 12 – шунтирующий клапан; Кл 13 – запорный клапан линии слива из напорного бака; В 14 – задвижка слива жидкости в дренаж; FT 15 – электромагнитный расходомер; ТТ 16 – датчик температуры; РТ 17, РТ 18 – датчики гидростатического давления)

Устройство управления стендом можно схематически разделить на две системы – систему обеспечения работы стенда и систему, обеспечения заданных параметров эксперимента. К первой системе можно отнести подсистему обеспечения циркуляции жидкости в каналах и емкостях стенда, подсистему фильтрации жидкости, подсистему аварийной остановки стенда, вторая система включает в себя подсистему обеспечения заданного расхода жидкости (и косвенно уровня жидкости в канале), подсистему обеспечения заданной частоты вращения платформы с каналом.

В состав устройства регистрации экспериментальных данных входят перечисленные на рисунке 1 датчики, а также видеокамера, установленная на вращающейся платформе. Описание информационной структуры данных устройств приведено ниже в разделе 3.

3. Структурная схема информационной системы гидродинамического стенда

Система управления, регистрации и мониторинга состояния стенда состоит из подсистемы, размещенной на подвижной платформе, и стационарного компьютера оператора (рисунок 2). Взаимодействие между данными подсистемами осуществляется по беспроводному каналу – протокол Wifi физического уровня, протокол TCP/IP уровня канала, протокол уровня приложений

основан на пассивности подвижной подсистемы, оптимизирован для быстрой реакции на запросы оператора.

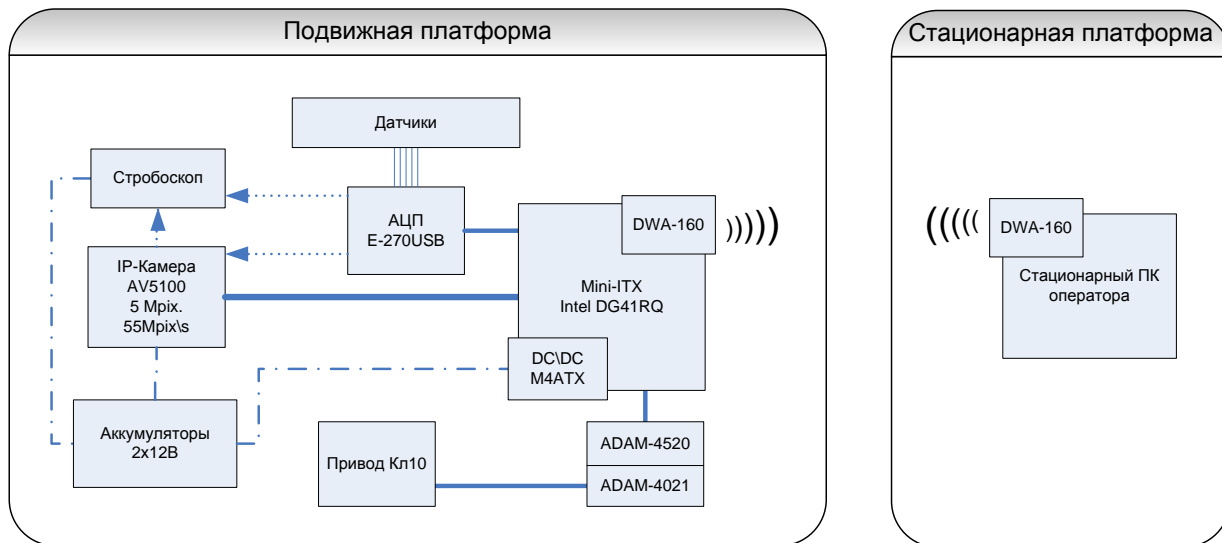


Рис. 2. – Структурная схема системы управления гидродинамическим стендом

Подсистема, размещенная на подвижной платформе, ответственна за сбор показаний датчиков, размещенных на платформе, за управление видеочертой и трансляцию видеопотока, за управление исполнительными устройствами, размещенными на платформе. Основным вычислительным блоком данной подсистемы является одноплатный компьютер формата Mini-ITX на базе материнской платы Intel DG41RQ и двухядерного процессора Intel E3300. Наличие двух ядер процессора позволит наиболее гибко реализовывать трансляцию видеопотока и управление \ мониторинг состояния остального оборудования.

Видеокамера AV5100 является камерой с интегрированным видео датчиком высокого разрешения (5 Mpix), платой захвата видео, сжатия видео в формат MJPEG (Motion JPEG) и передачи видео по протоколу Ethernet (100Base-T) со скоростью 55Mbit/s. Формат сжатия MJPEG был выбран исходя из требований к последующей обработке видеопотока – MJPEG сжимает каждый кадр видеопоследовательности по отдельности, в отличие от формата H.264 (MPEG), который выполняет сжатие на основе межкадровой разницы, что осложняет последующую обработку отдельного кадра.

Управление камерой осуществляется при помощи SDK от Arecont Vision и логическими TTL-сигналами. Для создания необходимого уровня освещенности используется стробоскоп. Оцифровка сигналов датчиков, размещенных на мобильной платформе, производится с помощью АЦП E-270, подключенного к компьютеру по протоколу USB 1.1. Управление позиционером привода клапана 10 осуществляется по токовому сигналу 4-20мА, получаемому последовательным включением модулей ADAM4520 и ADAM4021. Питание оборудования осуществляется от двух аккумуляторов 12В. Для питания компьютера используется блок питания M4-ATX (DC/DC преобразователь на 250 Вт).

Стационарный компьютер с помощью программно реализованной операторской панели предоставляет оператору возможности слежения и управления состояниями оборудования стенда. Оператор имеет возможность в реальном времени наблюдать графики изменения интересующих его показаний датчиков, а также просматривать видео с камеры. Предусматривается обработка кадров видеопоследовательности в частности для восстановления карты скоростей потока. Взаимодействие стационарного компьютера и компьютера, расположенного на подвижной платформе, реализуется с помощью USB-адаптеров беспроводной связи Dlink DWA-160, способных передавать данные со скоростью 300Mbit/s.

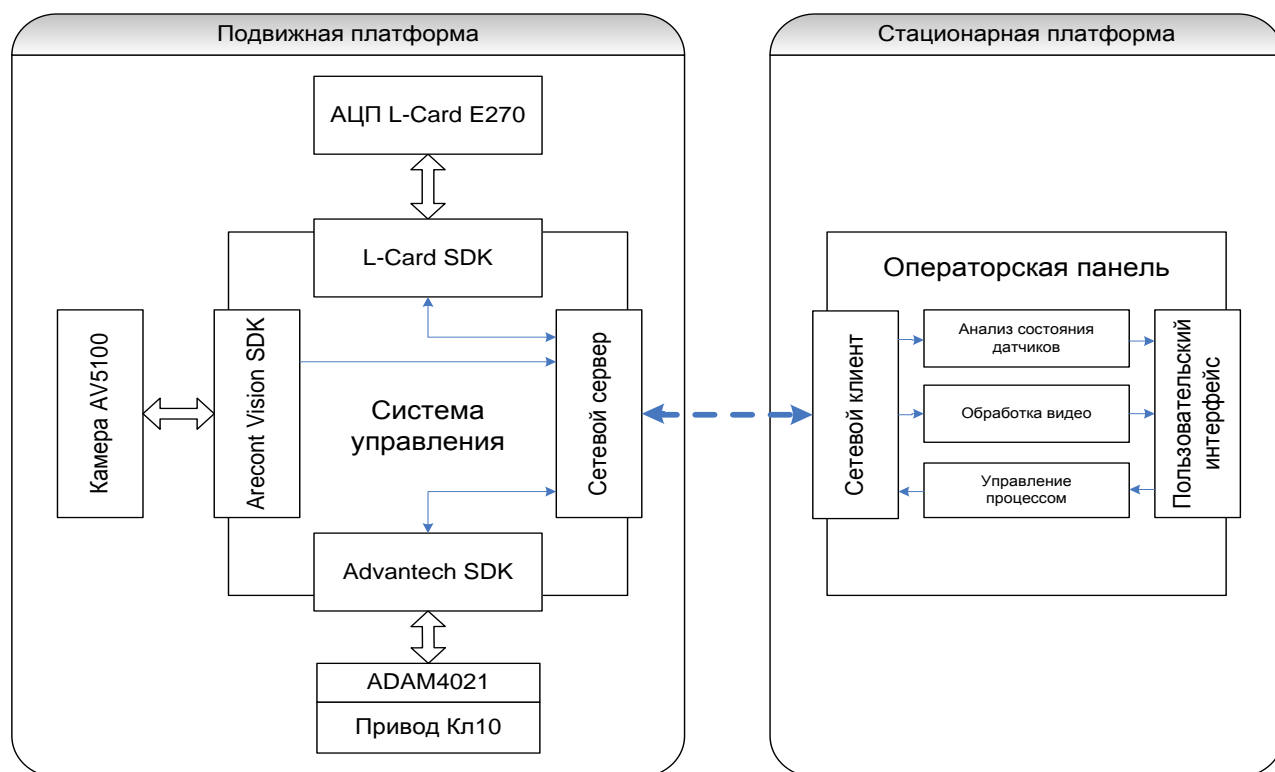


Рис. 3. – Диаграмма размещения компонентов ПО.

Взаимодействие подвижной и стационарной частей системы управления и мониторинга строится по клиент-серверной технологии с активным сервером. Размещение основных компонентов ПО отображено на рисунке 3.

«Подвижная» система состоит из четырех основных частей:

- 1) За взаимодействие с операторской панелью отвечает компонент сетевого сервера, реализующий функции сетевой приема/передачи данных, используя протокол TCP/IP.
- 2) За взаимодействие с АЦП E270 отвечает компонент, основанный на комплекте библиотек для работы с АЦП E270 от L-Card. Предоставляет возможность получения оцифрованных показаний датчиков, управления TTL-синхровыходами АЦП E270.
- 3) За взаимодействие с камерой AV5100 отвечает компонент, основанный на комплекте библиотек для AV5100 от Arecont Vision. Предоставляет функции приема видео, управления и настройки камеры AV5100.
- 4) За позиционирование привода Кл10 отвечает компонент, основанный на комплекте библиотек для управления модулем ADAM4021 от Advantech.

«Стационарная» система состоит из пяти основных частей:

- 1) Компонент сетевого клиента отвечает за взаимодействие с подвижной системой, реализует функции сетевой приема/передачи данных, используя протокол TCP/IP.
- 2) Компонент анализа состояния датчиков собирает показания датчиков, ведет статистику, предоставляет функции получения стабилизированных значений.
- 3) Компонент обработки видео собирает видеоданные, сохраняет и строит по ним карту скоростей потока жидкости.
- 4) Компонент управления предоставляет функции управления процессом, синхронизацию передачи данных.
- 5) Пользовательский интерфейс является программной операторской панелью, отображает полученные результаты, предоставляет оператору возможность управления процессом.

4. Обзор способов построения мгновенных полей скоростей по видео информации и описание схемы проведения эксперимента

Современные методы построения мгновенных полей скоростей по видео информации реализацию двумя основными подходами: кросс-корреляционный анализ изображений частиц, полученных в два момента времени [2] (Particle Image Velocimetry, PIV) и слежение за отдельно взятыми частицами [4] (Particle Tracking Velocimetry, PTV). Существуют также разнообразные модификации данных подходов, включая их совместное использование. В нашей стране разработкой алгоритмов восстановления полей скоростей потоков вещества по видео информации активно занимается фирма «ПОЛИС» [3], также использующая в своих программных продуктах оба, описанных выше подхода и их модификации.

Подход PIV обеспечивает высокую подпиксельную точность построения векторов полей скоростей, обладает устойчивостью к различным шумам, возникающим на изображениях и признан достаточно эффективным [5]. К основным недостаткам этого подхода относят ограничение на минимальное количество трассеров в потоке в расчете на элементарную область и неспособность эффективно обрабатывать изображения с неравномерным распределением частиц. Вместе эти ограничения приводят к неприемлимо в некоторых случаях пространственному разрешению получаемых с помощью PIV-методов результатов.

Подход PTV позволяет увеличить пространственное разрешение и способен эффективно обрабатывать изображения с неравномерным распределением частиц.

Проектируемый гидродинамический стенд не накладывает особых ограничений на вид используемых трассеров. При этом для решения задачи исследования течения вдоль диска турбины [1] в качестве трассеров было предложено использовать водородные пузырьки, порождаемые проволокой малого сечения, погруженной в канал с жидкостью. Рассмотрим, приведенную на рисунке 4, схему рабочей зоны эксперимента.

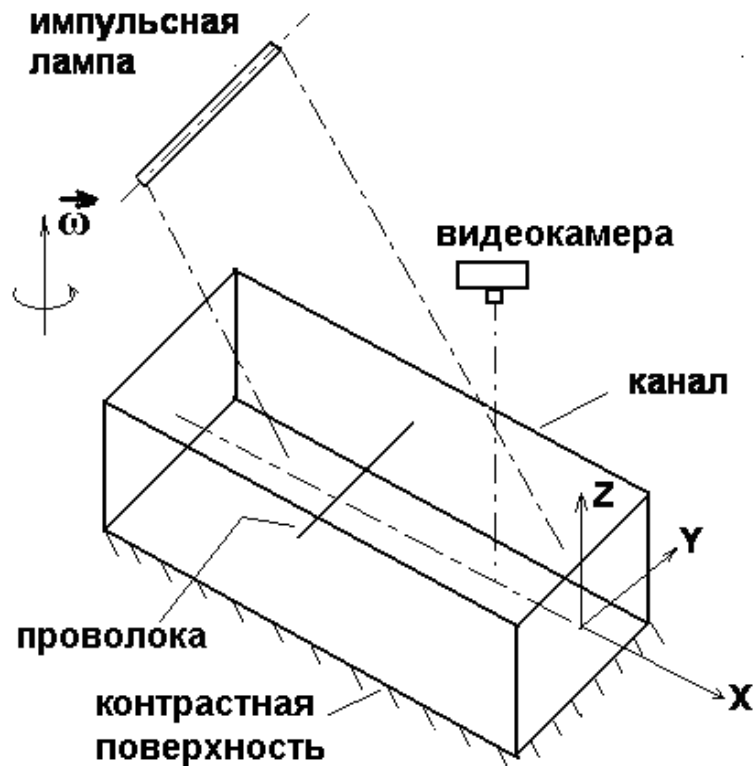


Рис. 4. – Схема рабочей зоны эксперимента

Ось вращения канала совпадает по направлению с осью z . Основное движение происходит вдоль оси x . Проволока, генерирующая пузырьки, расположена в плоскости $z_0=const$. Таким образом, при радиальном расположении канала на рабочем столе сила Кориолиса будет направлена вдоль оси y .

Рассмотрим вопрос измерения смещения единичного пузырька. Предположим, что пузырек при образовании у проволоки мгновенно приобретает местную скорость в окружающем его потоке и что пузырек продолжает оставаться в плоскости проволоки (x, y, z_0). На рисунке 5 показана схема картины потока.



Рис. 5. - Схема движения пузырьков в переменном поле скоростей потока

В момент, предшествующий сходу с нити пузырька «В», пузырек «А» уже двигался вместе с потоком, в общем случае с переменной скоростью, в течение периода времени $t_p = l \cdot T$, где $l=1, 2 \dots$ и соответствует числу целых периодов T импульсов между моментами схода пузырьков «А» и «В». Спустя время t' после схода с нити пузырька «В» происходит регистрация пузырьков. При использовании методики одного кадра величина скорости, определенная по относительному расстоянию между пузырьками «А» и «В» в момент t' относилась к точке, с которой сошел пузырек «В». Погрешность осреднения в этом случае возрастает пропорционально времени запаздывания t' . Для того, чтобы избежать этого недостатка, нужно снести точку приложения вектора скорости с нити в среднюю между пузырьками «А» и «В» точку (x_0, y_0, z_0) , которой соответствует временной интервал $\tau = t_p/2 + t'$. В этом случае погрешность, определяемая осреднением, значительно снижается.

При проведении проектных работ были получены кадры видеопоследовательности с изображением пузырьков в стационарной покоящейся жидкости. Пузырьки свободно (с учетом сил Архимеда и вязкого трения) всплывали на поверхность жидкости. Полученные кадры, изображенные ниже, показывают возможность применения как PIV (рисунок ба), так и PTV (рисунок бб) подходов при использовании оборудования, запланированного к использованию на стенде.



Рис. 6. – Кадры двух видеопоследовательностей

5. Заключение

Спроектирована система управления и мониторинга состояния вращающегося гидродинамического стенда. Предварительные результаты показывают возможность использования спроектированных систем для построения полей скоростей с использованием как PIV, так и PTV-подходов. Применение PIV-подхода требует дополнительного анализа вопросов инвариантности методов обработки к изменению формы пузырька и его проскальзыванию в жидкости, поэтому на первом этапе планируется применение разновидности PTV метода, а именно метода временных линий водородных пузырьков.

Работа выполнена в рамках государственного контракта № П680 от 10.08.2009 года.

Литература

1. Диденко Р. А. Разработка теоретических основ гидро-газодинамического моделирования течения вдоль диска турбины // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева, Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева. 2009. №1. С. 77-83
2. Ахметбеков Е.К., Токарев М.П. Маркович Д.М. Исследование метода слежения за частицами в потоке с корреляционной коррекцией // Труды 9-ой Международной научно-технической конференции Оптические методы исследования потоков (ОМИП-2007), Московский энергетический институт (технический университет), Москва, 2007
3. <http://www.polis-instruments.ru/>
4. Токарев М.П., Маркович Д.М., Бильский А.В. Адаптивные алгоритмы обработки изображений частиц для расчета мгновенных полей скорости // Вычислительные технологии. 2007. Т. 12. № 3. С. 109-131
5. M. Stanislas, K. Okamoto, C. J. Kähler, J. Westerweel, F. Scarano Main results of the third international PIV Challenge. // www.pivChallenge.org, 2007