



Щипицын Виталий Дмитриевич,

кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры общей и экспериментальной физики ФГБОУ ВПО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет», г. Пермь

Schipitsyn@mail.ru

Вяткин Алексей Анатольевич,

кандидат физико-математических наук, старший преподаватель кафедры общей и экспериментальной физики ФГБОУ ВПО «Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет», г. Пермь

A.A.Vjatin@mail.ru

Формирование у студентов навыков работы с современным высокотехнологическим научным оборудованием на примере систем скоростной видеосъемки¹

Аннотация. В статье рассматривается методика применения современных приборов и устройств в экспериментальных исследованиях, выполняемых на базе лаборатории вибрационной гидродинамики Пермского государственного гуманитарно-педагогического университета (ПГГПУ). В частности, подробно описана методика постановки и проведения научного эксперимента с применением высокоскоростной видеосъемки, а также последующей обработки полученных данных на примере работы с цифровой видеокамерой марки Basler A402k. Статья может быть использована в качестве методического пособия для студентов физического факультета ПГГПУ при изучении спецкурса «Гидродинамика и вибрационная гидромеханика».

Ключевые слова: методика, скоростная видеосъемка, экспериментальные исследования.

Введение

Концепция модернизации российского образования выдвигает новые требования к системе высшего образования [1]. Одной из важнейших задач, поставленных перед высшей школой, является повышение эффективности обучения, что невозможно без использования нового, современного оборудования, без внедрения более эффективных технологий, приемов и методов работы. В русле этой концепции большинство дисциплин, преподаваемых в вузах, претерпевают значительные изменения, как по содержанию, так и по методам их преподавания.

Студентам физического факультета Пермского государственного педагогического университета при выполнении лабораторных работ по различным профильным дисциплинам, а также в рамках выполнения курсовых и дипломных исследовательских работ приходится знакомиться с разнообразными современными приборами и оборудованием, осваивать технологию и оригинальную методику работы с ними. Одним из таких курсов является «Гидродинамика и вибрационная гидромеханика».

Направление научных исследований, связанное с гидродинамикой, обусловлено исторически. Представителям Пермской научной школы гидродинамики принадлежит большое количество экспериментальных и теоретических работ, получивших известность и признание, как на российском, так и на международном уровне. В настоящее время на кафедре общей и экспериментальной физики физического

¹ Работа выполнена в рамках проекта №030-Ф программы стратегического развития ПГГПУ



факультета ПГПУ под руководством профессора В. Г. Козлова ведутся активные экспериментальные исследования в области вибрационной гидромеханики.

В отличие от других дисциплин, на которых студенты, в большинстве случаев, знакомятся с оборудованием и методиками с целью выполнения конкретных задач, касающихся лишь данного курса, в рамках спецкурса «Гидродинамика и вибрационная гидромеханика» происходит непосредственное вовлечение студентов факультета в активную научно-исследовательскую деятельность. Помимо знакомства с современными приборами, студенты осваивают методы работы с ними в рамках непосредственной серьезной экспериментальной научной деятельности, погружаются в фундаментальную науку, осваивают методы планирования, подготовки и проведения современного научного эксперимента. Происходит знакомство с целым рядом специальных прикладных программ и утилит, применяемых как для настройки приборов и оборудования, так и для дальнейшей обработки результатов эксперимента. Эти навыки могут пригодиться студентам в случае дальнейшего продолжения научной деятельности в рамках выполнения курсовых, дипломных и магистерских выпускных работ.

Такой подход позволяет выпускать специалистов высокой квалификации, способных успешно заниматься оригинальными научными исследованиями, активно вести преподавательскую деятельность в образовательных учреждениях среднего и среднего специального образования.

Целью настоящей статьи является описание методики ознакомления студентов с работой одного из сложных технических устройств, применяемым в экспериментах по гидродинамике – системой скоростной видеосъемки. Детально описывается методика подготовки и проведения экспериментов с применением скоростной видеокамеры, а также даются рекомендации по обработке результатов исследований.

Системы скоростной видеосъемки

В наши дни существует большое количество разнообразных явлений и процессов, которые не удастся наблюдать, а тем более исследовать без применения современного высокотехнологического оборудования. Например, процессы, скорость протекания которых так велика, что человеческий глаз не в состоянии заметить всех тонкостей и деталей. К ним относится горение, взрыв, деформации, разрушения материалов, вибрации и другие высокоинтенсивные процессы.

Современные скоростные видеокамеры, способные проводить съемку со скоростью до сотен тысяч кадров в секунду, позволяют визуализировать быстротекущие процессы, которые невозможно увидеть невооруженным глазом и зафиксировать обычной видеокамерой, тем самым открывают новые возможности в исследовании таких процессов.

Высокоскоростные видеосистемы в наши дни являются неотъемлемой частью в оснащении современных лабораторий и экспериментальных стендов. Скоростная видеосъемка применяется в основном в технических или научных целях.

Одной из областей эффективного применения высокоскоростных видеосистем является регистрация быстротекущих процессов в гидродинамике, в частности, изучение поведения многофазных систем и твердых включений в жидкости при вибрационном воздействии. Системы скоростной видеорегистрации дают возможность анализировать движение некоторых объектов, причем позволяют не только визуально следить за поведением объекта или группы объектов, но и проводить количественный анализ, измерять размеры объектов, их координаты, скорости и ускорения, угловые



или линейные перемещения и т. д. Для этого система скоростной съемки калибруется по известным размерам объектов, находящихся в поле зрения видеокамеры.

Сегодня на рынке представлен довольно большой выбор высокоскоростных камер, а также систем и комплексов на их основе. Наибольшее внимание заслуживают такие зарубежные и отечественные производители и поставщики камер скоростной съемки, как Optronic (Германия), Basler (Германия), PCO (Германия), Mikrotron GmbH (Германия), Lambert Instruments (Нидерланды), СЕДАТЭК (г. Москва), FastVideo (г. Москва), МКОИ (г. Москва), Видеоскан (г. Москва), Камера IQ (г. Москва).

При выборе системы скоростной видеосъемки следует обратить внимание на следующие характеристики и особенности: архитектура системы, формат матрицы, чувствительность, разрешение, скорость при полном разрешении, максимальная скорость съемки и промежуточные режимы, особенности задания режима скорости/разрешение, минимальное время экспозиции, объем встроенной памяти или объем памяти накопителя регистратора, интерфейс камеры [2].

В рамках данной статьи не будем вдаваться в детальное описание каждой из вышеназванных характеристик, поскольку работа имеет более методическую, чем техническую направленность, а перейдем к наиболее обсуждаемой характеристике систем скоростной видеорегистрации – максимальной частоте захвата кадров видеокамер, или, другими словами, скорости видеосъемки. На основании этой характеристики можно выделить следующие три класса скоростных камер:

- скоростные видеокамеры начального уровня (скорость съемки 50–100 кадр/сек);
- скоростные видеокамеры средней производительности (скорость съемки 200–500 кадр/сек);
- профессиональные скоростные видеокамеры (скоростью съемки 1 000–100 000 кадр/сек).

Анализ показывает, что достаточно полно требованиям, предъявляемым к исследованиям быстропротекающих процессов в гидродинамике, удовлетворяет монохромная скоростная камера марки Basler A402k (рис. 1).



Рис. 1. Скоростная видеокамера Basler A402k

Данная модель камеры позволяет регистрировать видеосигнал с частотой 24 кадра в секунду при максимальном разрешении 2350×1720 пикселей. При уменьшении разрешения возможно пропорциональное повышение скорости видеосъемки. Так, например, для области размером 800×300 пикселей можно получить частоту съемки порядка 400 кадров в секунду. Для достижения высокой скорости съемки в камерах серии A400k используется CMOS-матрица со скользящим затвором [3].



Камера подключается к компьютеру через плату ввода изображений (фреймграббер) с высокоскоростным интерфейсом Camera Link и может непрерывно передавать данные в оперативную память компьютера. Камера может работать как в режиме свободного запуска, так и в режиме внешней синхронизации. Управление видеочкамерой также производится по протоколу Camera Link. Имеется возможность непрерывной скоростной видеозаписи прямо на жёсткий диск компьютера. Возможность установки различных объективов типа F-mount позволяет использовать камеру во всевозможных задачах и приложениях.

Стандартное программное обеспечение камеры позволяет управлять ее основными параметрами, а также настройками для проведения видеосъемки. Полученные данные могут сохраняться на диск компьютера в собственном формате программы, в виде серии картинок, либо как видеофильм. Программное обеспечение позволяет осуществлять как непрерывный просмотр серии кадров с заданной скоростью, так и покадровый просмотр и дальнейший анализ.

Созданный на основе этой камеры комплекс цифровой скоростной видеосъемки быстропротекающих процессов включает в себя ПК, необходимый для хранения, обработки и визуализации информации, и пакет специального программного обеспечения для настройки камеры и последующей обработки и анализа данных.

Методика эксперимента с применением скоростной видеосъемки

В рамках изучения спецкурса «Гидродинамика и вибрационная гидромеханика» происходит непосредственное ознакомление студентов с современными приборами и оборудованием, а также методами планирования, постановки и проведения научного эксперимента. Одним из устройств, применяемым в научных исследованиях, является система скоростной видеосъемки. Остановимся более подробно на методике работы с ней на примере изучения вибрационной динамики легкого цилиндрического тела кругового сечения в прямоугольной полости, заполненной вязкой жидкостью, при горизонтальных гармонических вибрациях [4].

Кювета 1 (рис. 2) из плексигласа с находящимся в ней цилиндром 2 заполняется водоглицериновым раствором и закрепляется на столике механического вибратора, задающего горизонтальные вибрации по закону $X = b \cos \Omega t$ с амплитудой b и линейной частотой $f \equiv \Omega / (2\pi)$. Горизонтальное положение полости и оси вибраций в эксперименте контролируется с точностью 0,01 рад. Используются цилиндры одинаковой длины и разного диаметра d . В опытах варьируются относительная плотность тел $\rho \equiv \rho_S / \rho_L$ (где ρ_S – средняя плотность тела, ρ_L – плотность жидкости) и кинематической вязкости жидкости ν . Визуальные наблюдения и видео-регистрация процесса проводятся в обычном и стробоскопическом освещении, фото-регистрация – в свете лампы вспышки. Движение тела изучается при помощи скоростной видеочкамеры высокого разрешения Basler A402k, подключенной непосредственно к компьютеру.

Обнаружено, что на колеблющееся в полости тело действует вибрационная сила отталкивания, способная удерживать тело на некотором расстоянии от границы (рис. 3, а). При интенсификации вибрационного воздействия расстояние между цилиндром и потолком увеличивается (б); при понижении частоты зазор монотонно уменьшается до нуля (в).

В надкритической области (после отталкивания цилиндра от потолка) обнаружено пороговое возбуждение осредненного тангенциального движения тела. Показано, что это связано с потерей симметрии колебаний тела.

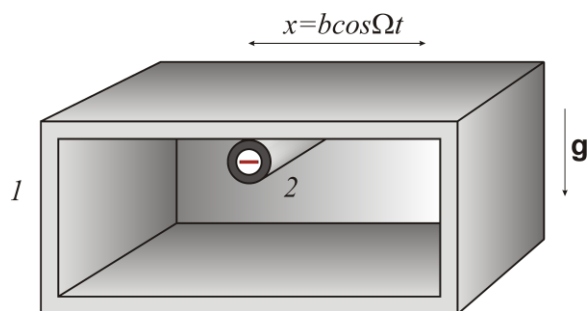


Рис. 2. Схема кюветы

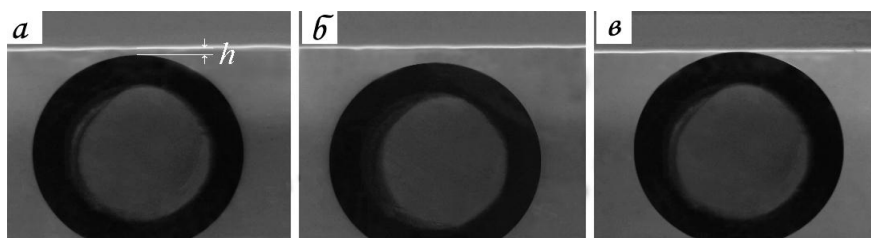


Рис. 3. Квазистационарные положения тела

После того, как лабораторная установка готова к эксперименту, необходимо настроить систему скоростной видеосъемки. Настройка осуществляется как вручную, так и с помощью специализированных программ на компьютере. Исходя из конкретных условий эксперимента, осуществляется настройка экспозиции (диафрагмы, выдержки и светочувствительности ISO), фокусировки, разрешения кадра, а также скорости видеосъемки. Кроме этого необходимо выбрать способ записи и сохранения отснятых видеоданных. Для данной модели камеры существует два способа записи и сохранения материала на компьютере: запись в оперативную память с последующим сохранением на компьютере, либо непосредственная запись на жесткий диск компьютера. Оба способа имеют свои преимущества и недостатки. При записи материала непосредственно на жесткий диск существует возможность отснять изучаемый процесс в течение длительного времени, при этом возникают потери отдельных кадров, связанные с низкой скоростью записи данных на жесткий диск. При записи в оперативную память компьютера таких потерь кадров не происходит, но объем отснятого материала ограничивается объемом этой памяти. Поэтому, выбирать способ сохранения данных необходимо исходя из конкретных условий эксперимента. Для изучаемого в данном эксперименте быстротекущего процесса оптимальным оказывается запись в оперативную память с последующим сохранением на жестком диске ПК.

После того как осуществлена настройка и предварительное тестирование всей системы скоростной видеорегистрации, проводится непосредственная съемка изучаемого процесса. Колебания цилиндра относительно полости изучались при заданном значении амплитуды b и различных частоты f вибраций.

Неподвижная в лабораторной системе отсчета камера регистрирует положение кюветы и тела со стороны торца последнего. Отснятый камерой поток видеоданных в режиме реального времени передается в оперативную память компьютера с последующим сохранением на жестком диске ПК. Скорость регистрации для данного эксперимента составляет 380 кадров в секунду при разрешении 800×300 точек на кадр. Выбранное разрешение видеосъемки позволяет добиться оптимального соот-



ношения скорости видеозаписи и качества отснятого видеоматериала. Весь процесс видеосъемки осуществляется в свете мощных монохромных осветителей белого света, что необходимо для достижения максимальной яркости и контраста полученного изображения с целью его дальнейшей обработки и анализа.

Методика обработки видеозаписей, полученных с помощью скоростной видеокамеры. Результаты эксперимента

После того, как видеоматериал эксперимента отснят и сохранен на компьютере, проводится его обработка и дальнейший анализ. Массив видеоданных, полученных с камеры, экспортируется в серию последовательных кадров (фреймов). Формат этих кадров определяется программой, в которой осуществляется их непосредственная обработка и измерение интересующих характеристик изучаемого процесса. Измерение этих характеристик проводится вручную и покадрово с помощью специальных инструментов программы, либо при небольшой доработке фреймов (настройка оптимальной яркости и контраста) – автоматически с помощью пакета автоматизированной обработки графических данных.

На рисунке (рис. 4) приведены результаты исследований колебательной и осредненной динамики цилиндра. В процессе покадровой обработки удается получить временные зависимости положения тела в системе отсчета полости одновременно с положением самой полости в лабораторной системе отсчета. Здесь h – величина зазора между телом и потолком полости, $\delta \equiv \sqrt{2\nu/\Omega}$ – толщина вязкого пограничного слоя Стокса, ξ – осциллирующая составляющая координаты тела, b – амплитуда вибраций полости. Точность измерения пространственной координаты оказывается достаточно высокой (составляет 0,04 мм).

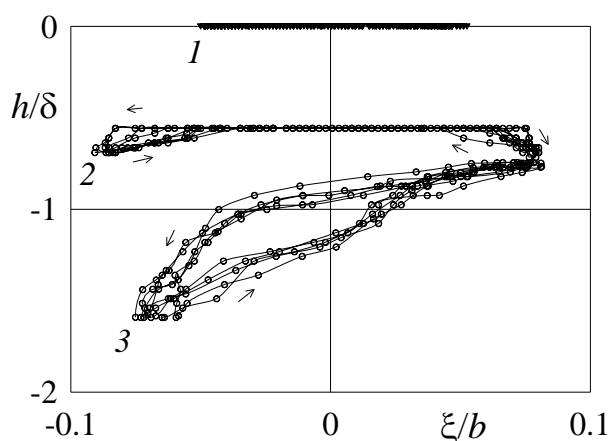


Рис. 4. Траектории осциллирующего движения легкого тела относительно полости: до отрыва (1), после отрыва (2) и при осредненном движении слева направо (3)

Сравнение траекторий осциллирующего движения цилиндра показывает, что асимметрия колебаний является причиной возникновения тангенциального движения. Форма петли определяет направление движения тела: если в крайнем левом положении величина зазора больше, чем в крайнем правом, цилиндр перемещается в правую сторону, и наоборот. Стрелками отмечено направление движения вдоль траектории.

Применение скоростной видеосъемки с ее последующей покадровой обработкой и анализом позволило детально исследовать осредненную и колебательную динамику легкого цилиндра, построить траектории осциллирующего движения тела,



что невозможно сделать методом простого визуального наблюдения. Таким образом, скоростная видеосъемка является эффективным средством исследования быстропротекающих процессов, дает новые возможности в их изучении.

Заключение

В рамках современного процесса обучения, ориентированного, главным образом, на оптимизацию подготовки студентов, одним из приоритетных направлений подготовки является вовлечение будущих выпускников в активную самостоятельную исследовательскую деятельность.

Данная статья знакомит с работой одного из сложных технических устройств – системой скоростной видеосъемки на примере экспериментального исследования вибрационной динамики легкого цилиндра в вязкой жидкости. В работе детально описана методика постановки, планирования и проведения эксперимента с применением скоростной видеорегистрации. Кроме того, в работе описаны способы обработки, анализа и интерпретации полученных в ходе эксперимента массива видеоданных.

Несмотря на то, что в работе описан лишь отдельный случай применения скоростной видеосъемки в исследованиях поведения многофазных гидродинамических систем, статья будет полезна всем, кто планирует использование скоростной видеорегистрации в своих исследованиях, поскольку является неким обобщенным алгоритмом подготовки и проведения исследований со скоростной видеокамерой и соответствующим пакетом специализированных прикладных программ.

Кроме того, настоящая статья может быть использована в качестве методического пособия для студентов физических факультетов в рамках выполнения лабораторного практикума по вибрационной гидромеханике.

Ссылки на источники

1. Концепция модернизации российского образования на период до 2010 года // Приказ №393 Министерства образования Российской Федерации от 11.02.2002 г.
2. Характеристики скоростных видеокамер. – URL: http://www.cameraiq.ru/faq/highspeed_camera/highspeed_specs.
3. Описание скоростной видеокамеры Basler A402k. – URL: <http://www.baslerweb.com/products/A400.html>.
4. Иванова А. А., Козлов В. Г., Щипицын В. Д. Легкий цилиндр в полости с жидкостью при горизонтальных вибрациях // Известия РАН. – 2010. – № 6. – С. 63–73.

Schipitsyn Vitaliy,

Assistant Professor at the chair general and experimental physics of Perm State Pedagogical University, Perm
Schipitsyn@mail.ru

Vjatkin Alexey,

Assistant Professor at the chair general and experimental physics of Perm State Pedagogical University, Perm
A.A.Vjatkin@mail.ru

Formation of students' skills of operating hi-tech scientific equipment based on use of high-speed video system

Abstract. In the article the method of application of modern instruments and devices in the experimental studies carried out at the Laboratory of Vibrational Hydrodynamics of Perm State Humanitarian Pedagogical University (PSHPU). In particular, the detailed methodology is given on the example of a digital camera Basler A402k to formulate and conduct of scientific experiment with the use of high-speed video and to post-process the experimental data. The article can be used as a methodological guide for the students of the Physics Department in the special course "Fluid Dynamics and Vibrational Hydrodynamics".

Keywords: methodology, high-speed video, experiment.

