КОНЦЕПТ
научно-методический электронный журнал
ART 12092 УДК 378.147.88

Брацун Д. А., Зюзгин А. В., Полежаев В. И., Путин Г. Ф. Использование мультимедиа технологий при проведении комплексных лабораторных практикумов по механике жидкости для студентов физических факультетов // Концепт: научно-методический электронный журнал. – 2012. – № 7 (июль). – ART 12092. – 0,4 п. л. – URL: http://www.covenok.ru/koncept/2012/12092.htm. – Гос. рег. Эл № ФС 77-49965. – ISSN 2304-120X.

Брацун Дмитрий Анатольевич,
доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой теоретической физики и компьютерного моделирования ФГБОУ ВПО «Пермский государственный педагогический университет», г. Пермь
dmitribratsun@rambler.ru

Зюзгин Алексей Викторович,
кандидат физико-математических наук, доцент кафедры общей физики ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь
alexey.zyuzgin@gmail.com

Полежаев Вадим Иванович,
доктор физико-математических наук, главный научный сотрудник Института проблем механики им. А. Ю. Ишлинского РАН, г. Москва
polezh@ipmnet.ru

Путин Геннадий Федорович,
доктор физико-математических наук, заведующий кафедрой общей физики ФГБОУ ВПО «Пермский государственный национальный исследовательский университет», г. Пермь
putin@psu.ru

Использование мультимедиа технологий при проведении комплексных лабораторных практикумов по механике жидкости для студентов физических факультетов

Аннотация. *Предлагается концепция учебно-исследовательской лаборатории по изучению классических конвективных задач для студентов специализации «Физическая гидродинамика» и смежных специальностей. Новизна подхода заключается в комплексном проведении лабораторной работы, которая включает в себя как сам физический эксперимент, сбор и обработку данных с помощью современных методов, так и реализацию численного моделирования и совмещенного анализа данных в режиме реального времени. Использование средств мультимедиа позволяет студентам наиболее эффективно усваивать такие базовые понятия механики жидкости, как устойчивость механического равновесия, возбуждение вторичных режимов движения жидкости и поэтапный переход к хаотическому поведению. В качестве примера рассматривается лабораторная работа по изучению конвекции в горизонтальном слое, однородно подогреваемом снизу.*
Ключевые слова*: высшее образование, мультимедиа технологии, лабораторный практикум, комплексный подход к обучению.*

С середины XX века в Перми сложилась научная гидродинамическая школа с международным авторитетом. На базе этой школы физические факультеты Пермского государственного национального исследовательского университета и Пермского государственного педагогического университета готовят исследователей по специализации «Физическая гидродинамика». В процессе обучения студенты изучают основные методы экспериментальных или теоретических исследований физики жидкостей и газов с использованием последних достижений академической науки. Такой подход позволяет выпускать специалистов высокой квалификации, способных успешно вести оригинальные научные исследования. Однако ранняя и жесткая спе-

КОНЦЕПТ
научно-методический электронный журнал
ART 12092 УДК 378.147.88
Брацун Д. А., Зюзгин А. В., Полежаев В. И., Путин Г. Ф. Использование мультимедиа технологий при проведении комплексных лабораторных практикумов по механике жидкости для студентов физических факультетов // Концепт: научно-методический электронный журнал. – 2012. – № 7 (июль). – ART 12092. – 0,4 п. л. – URL: http://www.covenok.ru/koncept/2012/12092.htm. – Гос. рег. Эл № ФС 77-49965. – ISSN 2304-120X.

циализация преимущественно на теоретических либо экспериментальных методах приводит к ограничению навыков и кругозора будущего специалиста. По-видимому, эта проблема является общей для процесса подготовки специалистов естественно-научных направлений в высшей школе.

В рамках процесса, направленного на оптимизацию подготовки студентов, предлагается концепция учебно-исследовательской лаборатории для проведения специализированного практикума по комплексному изучению конвективных задач. Такой практикум, совмещая численное и лабораторное моделирование классических проблем гидродинамики и тепломассообмена, призван ознакомить студентов с современными теоретическими и экспериментальными методами исследований. С другой стороны он помогает сформировать у студентов более глубокое представление об изучаемых явлениях и выработать навыки проведения комплексного подхода к изучению проблемы.

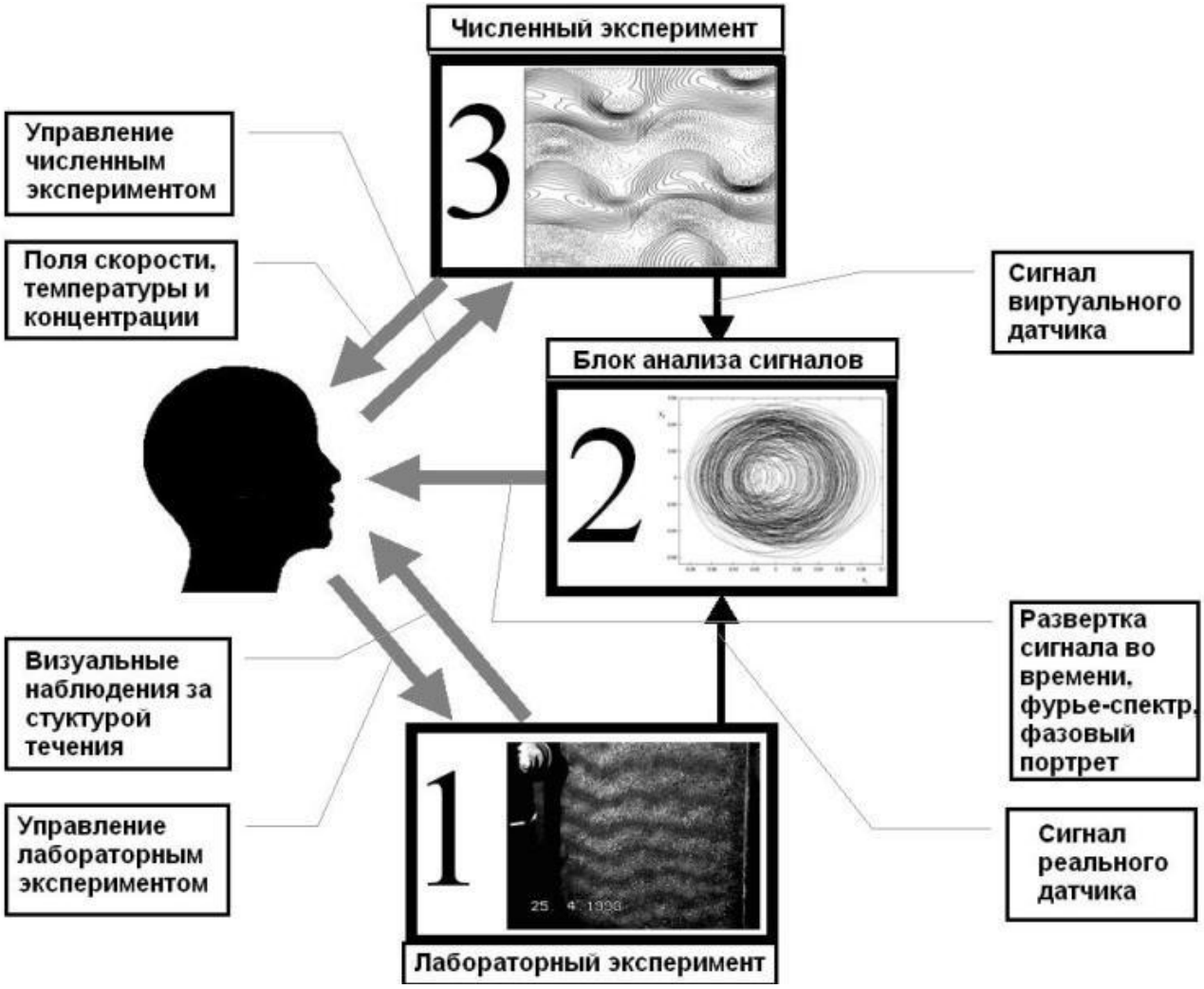

Рис. 1. Концепция комплексной лабораторной работы

Рассмотрим необходимые компоненты лабораторной работы по численному и экспериментальному моделированию конвективной задачи, блок-схема которой изображена на рисунке (рис. 1). Лабораторная установка 1 включает конвективную камеру, позволяющую непосредственно в ходе эксперимента наблюдать структуры

возникающих течений жидкости. Камера оборудована датчиком, который через измерительный тракт, снабженный аналогово-цифровым преобразователем сигнала, связан с компьютером. В зависимости от специфики задачи датчик может регистрировать изменения локальной характеристики нестационарного движения или интегральные данные стационарного режима. Сигнал такого датчика поступает в блок анализа сигналов 2, представляющий собой пакет специальных программ, находящихся на персональном компьютере. В ходе выполнения работы студент может задавать различные режимы конвективного движения путем изменения параметров конвективной установки. Экспериментальная камера позволяет, как наблюдать общую картину структуры конвективного течения, так и следить за движением отдельных частиц, специально добавленных к потоку для визуализации.

Третий компонент лабораторной работы, позволяющий проводить численное моделирование исследуемой задачи, реализован как пакет программ на том же персональном компьютере. Результаты вычислений, происходящих в режиме реального времени представляются в виде полей температуры, концентрации и функции тока. Помимо этого программа способна вести расчет векторного поля скорости и визуализировать структуру конвективного движения в виде треков частиц, примешанных в жидкость. Еще одной возможностью пакета программ является расчет эволюции характеристик течения во времени в точке размещения виртуального датчика. Сигнал такого датчика также поступает в блок анализа 2. При проведении расчета студент может изменять температуру границ полости и место расположения виртуального датчика и наблюдать за характеристиками реализующегося в численном эксперименте конвективного движения.

Пакет программ для анализа сигналов датчиков 2 позволяет производить:

- расчет усредненных амплитудных характеристик течения;
- спектральный анализ методом быстрых преобразований Фурье;
- вычисление корреляционных функций;
- вычисление показателей Ляпунова;
- восстановление фазовых портретов конвективных систем методом запаздывания;
- оценку размерности полученных в фазовом пространстве динамических объектов методом разложения на сингулярные значения;
- построение сечений Пуанкаре.

Если сигналы стационарны и соответствуют интегральным характеристикам, то производится расчет чисел Нуссельта, определяющих интенсивность конвективного движения. При выполнении работы студент может выводить на монитор компьютера результаты обработки различными методами сигналов реального и виртуального датчиков. Таким образом, выполняя лабораторную работу, студент взаимодействует с мультимедийной системой, под которой понимается взаимодействие визуальных, графических, текстовых и прочих эффектов под управлением интерактивного программного обеспечения с использованием современных технических и программных средств. В данном случае мультимедиа объединяют текст, графику, фото, видео в одном цифровом представлении.

Опишем методику проведения лабораторной работы. Перед началом работы в конвективную камеру блока 1 (рис.1) заливается рабочая жидкость с примесью визуализирующих частиц и с помощью термостатирующих устройств на границах полости задается перепад температур. Затем в численную модель блока 3 (рис.1) вводятся характеристики рабочей жидкости и ставятся граничные условия, адекватные

лабораторной модели. После этого задаются координаты виртуального датчика, соответствующие месту расположения датчика в конвективной камере.

Запустив, таким образом, выполнение численного и экспериментального моделирования задачи, студент может, используя возможности блоков 1–3, наблюдать и сопоставлять следующие характеристики конвективного процесса:

– структуру течения жидкости;
– траектории светорассеевующих частиц;
– поля температуры, скорости, концентрации и функции тока;
– численно рассчитанные траектории движения частиц;
– осциллограммы реального и виртуального датчиков;
– спектры осциллограмм;
– корреляционные функции, показывающие степень упорядоченности процессов в среде;
– показатели Ляпунова, характеризующие устойчивость динамических режимов поведения;
– восстановленные фазовые портреты реальной и численно моделируемой конвективных систем в различных проекциях эффективного фазового пространства.

Осмысление поступающей в ходе выполнения лабораторной работы информации, полученной из реальной физической модели и в результате расчета её математической модели, позволит студенту приобрести более глубокое понимание происходщих физических процессов и методов их теоретического описания. Для учащихся, специализирующихся в области экспериментальных исследований будет полезно узнать, как строится математическая модель явления и какие теоретические приближения являются наиболее принципиальными для корректного описания экспериментальных данных. В любой момент студент может вносить изменения в теоретическую модель (из подготовленного списка) и непосредственно наблюдать производимый этим эффект. Студентам, специализирующимся в области теоретических исследований, лабораторная работа будет полезна для знакомства на практике с реальной физической системой, поведение которой всегда богаче и разнообразнее любой математической модели, её описывающей. Знание о том, каким образом экспериментатор достигает в своей лабораторной установке соответствие системе приближений и допущений, сделаных в теории, поможет теоретику в дальнейшем более тщательно выстраивать математическую модель явления. Важнам результатом выполнения таких лабораторных работ является преодоления своеобразного снобизма, свойственного замкнутым группам студентов, специализирующихся только на теоретическом или только экспериментальном исследовании.

Отметим, что концепция комплексного физического практикума предусматривает использование его в целях

– поддержки лекционного курса общей физики (например, иллюстрация и изучение поведения динамических систем, маятника и др.);
– проведения комплексных лабораторных работ по курсу общей физики, физики атмосферы и океана, теплофизики, специальным дисциплинам;
– проведения лабораторных и научно-исследовательских работ по дисциплинам специализации «Физическая гидродинамика»: «Конвективные процессы в реальной невесомости», «Конвекция в замкнутых объемах», «Автоматизация физического эксперимента» и др.

КОНЦЕПТ
научно-методический электронный журнал
ART 12092 УДК 378.147.88
Брацун Д. А., Зюзгин А. В., Полежаев В. И., Путин Г. Ф. Использование мультимедиа технологий при проведении комплексных лабораторных практикумов по механике жидкости для студентов физических факультетов // Концепт: научно-методический электронный журнал. – 2012. – № 7 (июль). – ART 12092. – 0,4 п. л. – URL: http://www.covenok.ru/koncept/2012/12092.htm. – Гос. рег. Эл № ФС 77-49965. – ISSN 2304-120X.

Для решения названных задач практикум содержит три составляющие – демонстрационную, обучающую и исследовательскую. Для использования лабораторной работы в демонстрационно-ознакомительных целях каждая установка практикума снабжена набором программ, позволяющих в автоматическом режиме проводить лабораторный и численный эксперименты и анализировать данные с представлением в наглядном виде основных характеристик изучаемой задачи. При выполнении учебных лабораторных работ студент имеет возможность с помощью управляющего компьютера самостоятельно задавать и изменять начальные условия и управляющие параметры задачи, проводя, таким образом, подробное исследование физической системы. Аппаратная реализация современных методов физического и численного экспериментов, контроля, регистрации и анализа данных позволяет использовать обсуждаемый практикум для выполнения научно-исследовательских работ бакалаврами и магистрами.

Рассмотрим в качестве примера лабораторную работу по изучению устойчивости механического равновесия в горизонтальном слое несжимаемой жидкости, однородно подогреваемой снизу («задача Рэлея-Бенара»). Эта задача интересна тем, что эволюция конвективных потоков с изменением управлющего параметра демонстрирует существенные черты, присущие не только различным явлениям гидродинамической неустойчивости, но и нелинейным структурообразующим процессам различной природы. Таким образом, конвекция Рэлея-Бенара является стандартным примером самоорганизации в сложной диссипативной системе. Конвективная камера и экспериментальная установка подробно описаны в работах [1, 2]. Одна из стенок лабораторной модели была выполнена из прозрачного плексигласа. В качестве датчика использовалась дифференциальная константан-манганиновая термопара. Ее измерительный спай выставлялся в полость на четверть толщины слоя и размещался на полувысоте полости. В качестве рабочей жидкости использовался спирт. Перепад температур задавался с помощью струйных ультратермостатов. Численное моделирование задачи проводилось с помощью авторского многофункционального пакета программ «Комга» [3], позволяющего проводить двумерный расчет конечно-разностными методами. Трехмерные эффекты моделировались с помощью пакета «Nekton» [4], использующего метод спектральных элементов. Блок анализа сигналов состоял из авторских пакета «Армэкс» и программ восстановления фазовых портретов и нахождения сингулярных значений [5].

Известно, что в такой задаче после кризиса механического равновесия жидкости развивается стационарный режим конвекции в виде горизонтальных валов или гексагональных ячеек, который называется в литературе конвекцией Рэлея-Бенара [1, 2]. Управляющим параметром задачи служит градиент температуры. Вследствие подогрева в первоначально однородном слое жидкости начинается диффузия из-за возникшей неоднородности плотности. При преодолении некоторого критического значения градиента, диффузия не успевает привести к однородному распределению температуры по объёму. Возникают цилиндрические валы, вращающиеся навстречу друг другу. При увеличении градиента температуры возникает второй критический переход. Для ускорения диффузии каждый вал распадается на два вала меньшего размера. При дальнейшем увеличении управляющего параметра валы дробятся, и в пределе возникает турбулентный хаос. В более тонких слоях при подогреве снизу образуются ячейки правильной гексагональной формы, внутри которых жидкость поднимается по центру и опускается по граням ячейки. Реализация ячеистой («бенаровской») структуры конвективного движения или «рэлеевских» валиков определяется начальными и граничными условиями. Предлагаемая в лабораторной работе

КОНЦЕПТ
научно-методический электронный журнал
ART 12092 УДК 378.147.88
Брацун Д. А., Зюзгин А. В., Полежаев В. И., Путин Г. Ф. Использование мультимедиа технологий при проведении комплексных лабораторных практикумов по механике жидкости для студентов физических факультетов // Концепт: научно-методический электронный журнал. – 2012. – № 7 (июль). – ART 12092. – 0,4 п. л. – URL: http://www.covenok.ru/koncept/2012/12092.htm. – Гос. рег. Эл № ФС 77-49965. – ISSN 2304-120X.

конструкция конвективной камеры позволяет задавать как первую, так и вторую моды конвективного движения (рис. 2), а также изучать их пространственную и временную эволюцию с ростом управляющего параметра задачи. Все численные и экспериментальные результаты на рис. 2 приведены для одного значения управляющего параметра задачи. Из рисунка видно, что представленные характеристики конвективного режима хорошо согласуются.

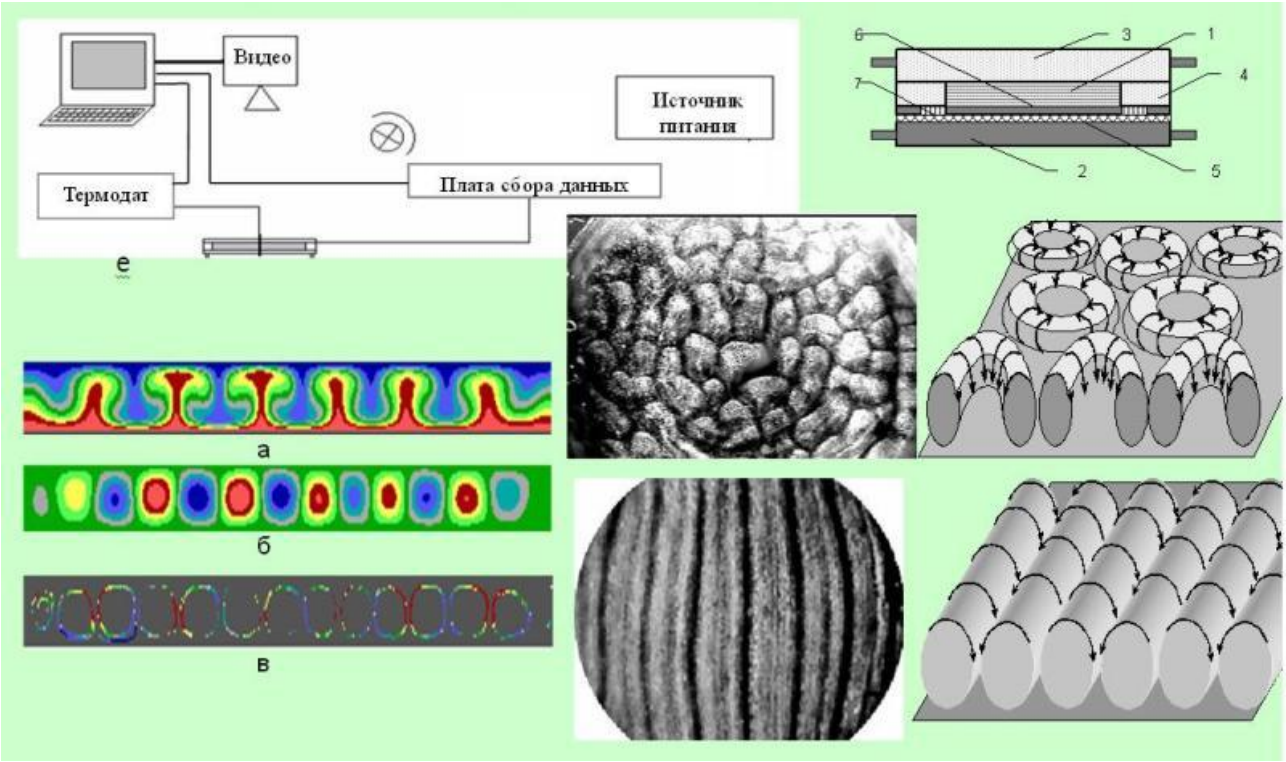

Рис. 2. Комплекс данных, с которыми знакомится учащийся при выполнении лабораторной исследовательской работы «Задача Рэлея-Бенара: горизонтальный слой жидкости, подогреваемый снизу». Схема установки, численно полученные структуры течений (слева); структуры течений, непосредственно наблюдаемые в ходе выполнения эксперимента (в центре); схемы течений (справа), построенные на основе обобщенных данных

В заключении отметим, что анализ и сопоставление согласующихся и взаимно дополняющих друг друга характеристик конвективных режимов позволяют формировать у студентов более полное и глубокое представление о рассматриваемых физических явлениях. Это помогает развивать образное мышление и пространственное воображение студентов, что в дальнейшем существенно помогает при самостоятельных исследованиях.

Применение элементов обсуждаемого подхода к исследованию конвективных задач в спецпрактикуме «Конвекция в замкнутых объемах» кафедры общей физики Пермского государственного научно-исследовательского университета показало, что такие работы неизменно вызывают оживленный интерес у студентов. В связи с этим планируется расширить парк лабораторных работ нового типа за счет других задач конвективного практикума.

Ссылки на источники

1. Гершуни Г. З., Жуховицкий Е. М. Конвективная устойчивость несжимаемой жидкости. – М: Наука, 1972. – 392 с.

КОНЦЕПТ
научно-методический электронный журнал
ART 12092 УДК 378.147.88
Брацун Д. А., Зюзгин А. В., Полежаев В. И., Путин Г. Ф. Использование мультимедиа технологий при проведении комплексных лабораторных практикумов по механике жидкости для студентов физических факультетов // Концепт: научно-методический электронный журнал. – 2012. – № 7 (июль). – ART 12092. – 0,4 п. л. – URL: http://www.covenok.ru/koncept/2012/12092.htm. – Гос. рег. Эл № ФС 77-49965. – ISSN 2304-120X.

2. Гетлинг А. В. Конвекция Рэлея-Бенара. Структуры и динамика. – М:. Эдиториал УРСС, 1999. – 248 с.
3. Ермаков М. К., Никитин С. А., Полежаев В. И. Система и компьютерная лаборатория для моделирования процессов конвективного тепло- и массообмена // Изв. РАН. Мех. жидк. и газа. – 1997. – № 3. – С. 22–38.
4. Bratsun D. A., Zyuzgin A. V., Putin G. F. Nonlinear Dynamics and Pattern Formation in a Vertical Fluid Layer Heated from the Side // Int. J. Heat and Fluid Flow. – 2003. – V. 24. – N. 6. – P. 835–852.
5. Брацун Д. А., Зюзгин А. В. Метод восстановления фазового портрета при экспериментальном исследовании тепловой конвекции в плоском вертикальном слое // Вест. Перм. ун-та. Физика. – Пермь: Перм. ун-т, 1998. – Вып. 4. – С. 148–152.

Bratsun Dmitry,
Head of Theoretical Physics Department of Perm State Pedagogical University
dmitribratsun@rambler.ru
Zyuzgin Alexey,
Lecturer of General Physics Department of Perm State Research University
alexey.zyuzgin@gmail.com
Polezhaev Vadim,
Chief Scientist of Institute for Problems in Mechanics of the Russian Academy of Sciences
polezh@ipmnet.ru
Putin Gennady,
Head of General Physics Department of Perm State Research University
putin@psu.ru

Usage of multimedia technologies in integrated fluid mechanics laboratories for students of physics faculties

Abstract. A new concept of teaching and research laboratory for the study of classical convection problems for the students of specialisation “physical hydrodynamics” and related specialties has been proposed. The novelty of the approach lies in the complex laboratory work, which includes both the physical experiment, data collection and signal processing using modern techniques and simultaneous in-real-time implementation of numerical modeling and data analysis. Use of information-communication technologies and multimedia allows students to more effectively absorb such basic concepts of fluid mechanics, as the stability of mechanical equilibrium, the excitation of secondary modes of fluid motion and the gradual transition to chaotic behavior. As an example, the laboratory session for the study of convection in a gorizontal layer heated from below is presented.

Keywords: high education, multimedia technologies, laboratory practicum, integrated approach to learning.

ISSN 2304-120X
9 772304 120128 07