

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ КОМПЛЕКСА ПОРТАТИВНЫХ ЛАБОРАТОРИЙ «КАПЕЛЬКА» ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГИДРАВЛИКИ

Г.Д. Слабожанин, Д.Г. Слабожанин, А.И. Соболев, Н.А. Калинин



**СЛАБОЖАНИН
Геннадий
Дмитриевич**

Доцент Томского государственного архитектурно-строительного университета (ТГАСУ), кандидат технических наук. Руководитель выпуска комплекса лабораторий «КАПЕЛЬКА», лауреат премии Гособразования СССР за создание учебно-лабораторного оборудования. Область научных интересов: гидравлика, гидропривод, водообработка, биоритмы творчества гидравликов, проявление золотой пропорции в гидравлике. Автор более 140 научных работ, в том числе 33 изобретений.



**СОБОЛЕВ
Андрей
Иванович**

Инженер-проектировщик ООО «АКВАТЕХ». Область научно-профессиональных интересов: водоподготовка, гидравлика инженерных сооружений и оборудования. Автор 5 научных работ и 2 учебно-методических пособий.



**СЛАБОЖАНИН
Дмитрий
Геннадьевич**

Технический директор компании ООО «ВИП-МАСТЕР», аспирант ТГАСУ. Область научно-профессиональных интересов: гидравлика, отопление, вентиляция, виброакустическая водоочистка. Автор 27 научных работ, в том числе 5 изобретений.



**КАЛИННИКОВ
Николай
Анатольевич**

Ассистент ТГАСУ, аспирант. Область научно-педагогических интересов: гидравлика и гидропривод, виброакустическая активация воды затворения строительных смесей. Автор 3 научных работ и 1 учебно-методического пособия.

© Г.Д. Слабожанин, Д.Г. Слабожанин, А.И. Соболев, Н.А. Калинин, 2008

Введение

В инженерном образовании при изучении гидравлики большая роль отводится учебным гидравлическим экспериментам. Однако, как выяснили авторы статьи, учебные заведения слабо оснащены необходимой современной учебной техникой. Большинство из них имеют морально устаревшие и зачастую неработоспособные ввиду большого износа громоздкие учебные гидравлические установки. А выпускаемые в России и за рубежом современные учебные лабораторные стенды по общей гидравлике и гидравлике открытых русел из-за высокой стоимости (более 1 млн руб.) недоступны для многих высших и особенно средних специальных учебных заведений и их филиалов. Кроме того, эти стенды не предназначены для изучения мостовой гидравлики.

Демонстрационное же портативное оборудование по гидравлике для использования на лекциях и практических занятиях до сих пор вообще не выпускалось, хотя его использование позволяет значительно повысить эффективность обучения. Поэтому проблема создания и организации выпуска отечественного, эстетичного, конструктивно простого, удобного в эксплуатации и недорогого портативного учебного оборудования по гидравлике чрезвычайно актуальна.

В Томском архитектурно-строительном университете (ТомГАСУ) был разработан комплекс портативных лабораторий «КАПЕЛЬКА», предназначенный преимущественно для увлекательных демонстраций гидравлических явлений, приборов и режимов работы гидротехнических сооружений. Вместе с тем, этот комплекс может быть использован для выполнения учебных лабораторных работ, рекомендованных примерной программой Министерства образования и науки РФ для не машиностроительных направлений и специальностей (в основном для инженерно-строительных).

Технические решения устройств комплекса

Комплекс «КАПЕЛЬКА» состоит из трех лабораторий: «Капелька-1» по общей гидравлике, «Капелька-2» по гидравлике открытых ру-

сел, «Капелька-3» по мостовой гидравлике и включает десять учебных демонстрационно-лабораторных устройств.

Устройства портативны и автономны относительно систем водо- и электроснабжения, просты по конструкции, выполнены из прозрачного материала и заполнены водой с красителями или с мечеными частицами для обеспечения максимальной наглядности изучаемых явлений, функционируют за счет их наклона или перевертывания и соответствуют требованиям эстетики и эргономики.

При их разработке в качестве прототипов были приняты традиционные учебно-лабораторные гидравлические устройства [1, 2], схемы которых приведены в табл. 1. Здесь же представлен общий вид четырех устройств комплекса. Назначение и возможности каждого устройства отражены в табл. 2.

Лаборатория «Капелька-1» предназначена для изучения общей гидравлики и состоит из четырех устройств (№ 1–4).

Устройство № 1 (размеры 270x180x25 мм, масса 0,5 кг) позволяет демонстрировать работу сразу нескольких разных приборов для исследования свойств жидкости. Благодаря его использованию за одно лабораторное занятие можно быстро измерить все основные физико-механические параметры жидкостей и сравнить их значения со справочными. Оно состоит из корпуса с отдельными прозрачными герметичными полостями, в которые встроены пять приборов с исследуемыми жидкостями (см. табл. 1). Термометр 1 фиксирует температуру окружающей среды, а следовательно, и температуру жидкостей во всех приборах и устройствах комплекса. Приборы 3–5 начинают работать после перевертывания устройства (см. табл. 2).

Устройство № 2 (размеры 360x240x15 мм, масса 0,8 кг) содержит элементы головоломки и помогает быстро приобрести навыки по определению гидростатического давления. Устройство имеет герметичный корпус с опытным резервуаром 2, частично заполненным цветной жидкостью, и камерой 1, связанной с атмос-

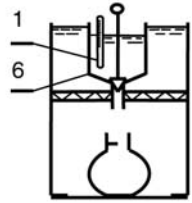
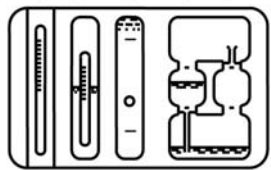
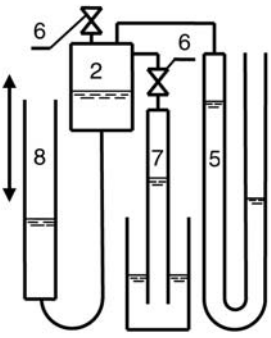
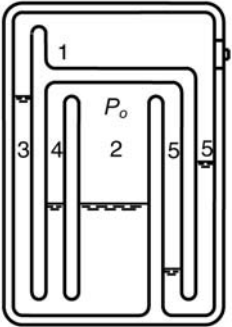
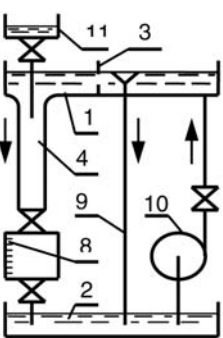
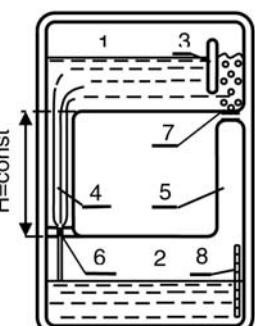
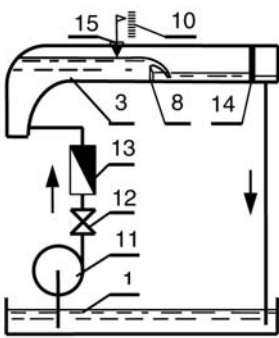
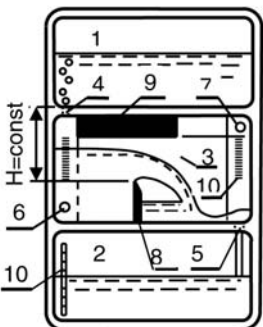
ферой, сообщающихся посредством вертикальных каналов, которые являются жидкостными измерительными приборами (см. табл. 1).

Для получения в опытном резервуаре 2 избыточного давления ($p_0 > p_a$) наклоном устройства вправо переливают жидкость из левого

колена мановакуумметра 5 в резервуар 2. Для создания в нем вакуума ($p_0 < p_a$) выполняют обратное действие. После перевертывания устройства открытый пьезометр 3 становится обратным пьезометром, т.е. вакуумметром 7

Таблица 1

Традиционные и портативные устройства для изучения гидравлики

Название устройств и их элементов	Традиционные устройства (прототипы)	Устройства комплекса лабораторий «Капелька»
Устройства для изучения свойств жидкости: 1 – термометр; 2 – ареометр; 3 – вискозиметр Стокса; 4 – капиллярный вискозиметр; 5 – сталагмометр; 6 – вискозиметр Энглера		Устройство № 1 1 2 3 4 5 
Устройства для измерения гидростатического давления: 1 – полость с атмосферным давлением; 2 – опытнй резервуар; 3 – пьезометр; 4 – уровнемер; 5 – мановакуумметр; 6 – вентиль; 7 – обратный пьезометр (вакуумметр); 8 – подвижный сосуд		Устройство № 2 
Устройства для изучения режимов течения: 1, 2 – баки; 3 – успокоительная перегородка; 4, 5 – опытные каналы; 6 – щель; 7 – решетка; 8 – уровнемерная шкала; 9 – переливная труба; 10 – насос; 11 – бак с подкрашенной водой		Устройство № 3 
Устройства для изучения водосливов: 1, 2 – баки; 3 – лоток; 4–7 – отверстия, соединяющие лоток с баками; 8 и 9 – водосливы с тонкой стенкой и с широким порогом; 10 – шкала; 11 – насос; 12 – вентиль; 13 – расходомер; 14 – жалюзи; 15 – мерная игла		Устройство № 5 

(см. табл. 2). При проведении лабораторной работы для каждого случая используют показания разных приборов, определяют значения

давления на дне резервуара и сравнивают их.

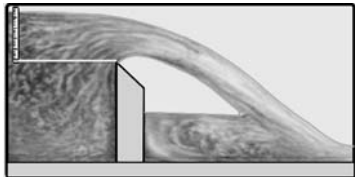
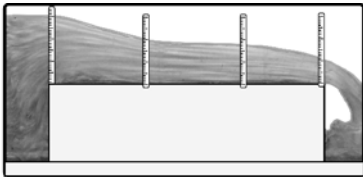
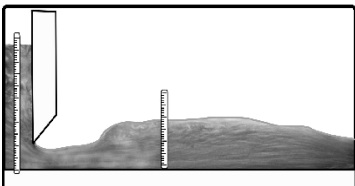
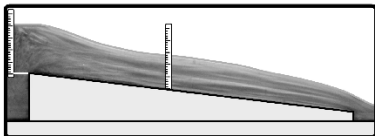
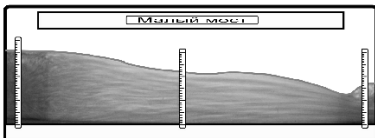
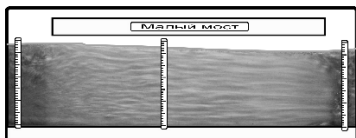
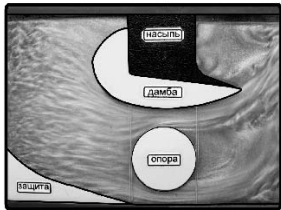
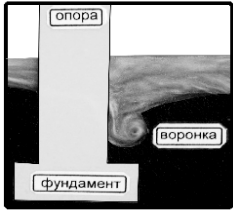
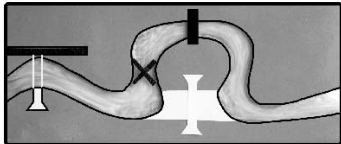
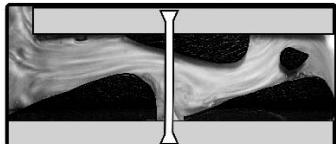
Устройство № 3 позволяет изучить режимы течения жидкости. Устройства № 3–4 име-

Таблица 2

Назначение и возможности устройств комплекса портативных лабораторий «КАПЕЛЬКА» для изучения инженерно-строительной гидравлики

Лаборатория «Капелька-1» для изучения общей гидравлики	
Устройство № 1 для измерения плотности, температурного расширения, вязкости и поверхностного натяжения жидкостей	
Устройство № 2 для измерения давления на дне резервуара 2 пьезометром 3, уровнемером 4, мановакуумметром 5 и вакуумметром 7 при различных соотношениях поверхностного p_0 и атмосферного p_a давлений	
Устройство № 3 для наблюдения ламинарного и турбулентного течения (с определением числа Re), обтекания перегородки, сужения и расширения потока	
Устройство № 4 для иллюстрации уравнения Бернулли (с построением пьезометрической 1 и напорной 2 линий) и определения потерь напора в каналах	

Продолжение табл. 2

Лаборатория “Капелька-2” для изучения гидравлики открытых русел		
Устройство № 5 для изучения водосливов с определением коэффициентов расхода		
	Водослив с тонкой стенкой	Водослив с широким порогом
Устройство № 6 для изучения гидравлического прыжка с опытной проверкой критерия его вида		
	Отогнанный прыжок	Затопленный прыжок
Устройство № 7 для изучения труб с определением глубин и коэффициента шероховатости		
	Безнапорная труба	Напорная труба
Лаборатория “Капелька-3” для изучения мостовой гидравлики		
Устройство № 8 для изучения течения воды под малым мостом с определением глубин		
	Неподтопленный мост	Подтопленный мост
Устройство № 9 для изучения течения воды и видов размыва русла на мостовых переходах		
	Мостовой переход	Подмыв опоры
Устройство № 10 для изучения русловых процессов и особенностей их учета при выборе створа моста		
	Ограниченное и свободное меандрирование	Побочный и осередковый типы

ют одинаковые размеры (360x240x45 мм), массу (1,7 кг), конструкцию и принцип работы. Они содержат по два бака объемом по 1 литру, один из которых полностью заполнен водой, содержащей микроскопические частицы алюминия для визуализации процесса течения. Баки соединены между собой опытными каналами или щелевым лотком, в которых и наблюдается течение. Устройства работают по принципу песочных часов, т.е. приводятся в действие перевертыванием. Расход жидкости в устройствах стабилен во времени, регулируется наклонами устройств в разные стороны и измеряется объемным способом.

После перевертывания устройства № 3 вода из верхнего бака 1 самотеком через опытный канал 4 поступает в нижний бак 2 и вытесняет из него воздух через канал 5 и решетку 7 в виде пузырей в верхний бак 1 (табл. 1). Поэтому давления на входе в канал 4 (на дне верхнего бака) и на выходе из щели 6 (над жидкостью в нижнем баке) уравниваются, и истечение происходит под действием постоянного во времени напора H , создаваемого столбом жидкости в канале 4. Так обеспечивается установившееся ламинарное течение жидкости при $Re=400-1000$ в канале 4 (аналогично стабилизируется расход в опытных каналах остальных устройств). После очередного перевертывания устройства функции каналов 4 и 5 меняются: в канале 5 устанавливается турбулентное течение при $Re=4000-6000$, а канал 4 пропускает воздух. При расположении устройства на боковых сторонах можно наблюдать обтекание перегородки 3, сужение и расширение потока

при истечении через щель (см. табл. 2).

Устройство № 4 для иллюстрации уравнения Бернулли и определения потерь напора в каналах (по длине и местного) создано на базе устройства № 3 (см. табл. 1). Для этого в нем исключены щель 6 и решетка 7, а опытные каналы расположены горизонтально и параллельно друг другу в центральной части лицевой панели устройства. Они соединены между собой группой пьезометров для попеременного получения распределения давления в этих каналах (см. табл. 2).

Лаборатория «Капелька-2» предназначена для изучения гидравлики открытых русел и состоит из трех устройств (№ 5–7). Она позволяет изучить картину течения жидкости через модели гидротехнических сооружений в щелевых лотках шириной 4 мм, экспериментально определить значения коэффициентов расхода, напоров и глубин и сравнить их с рассчитанными по инженерным формулам.

Устройства № 5, 6 и 7 имеют прозрачные корпуса и содержат по два бака 1 и 2, соединенных между собой щелевым каналом (лотком) 3 через отверстия 4, 5 и 6, 7 (см. табл. 1). В щелевом лотке установлены модели гидротехнических сооружений: в устройстве № 5 – модели водослива с тонкой стенкой 8 и водослива с широким порогом 9; в устройстве № 6 – модели щита (затвора) и водосливов практического профиля с криволинейным и полигональным очертаниями; в устройстве № 7 – модели напорной и безнапорной водопропускных труб (см. табл. 2). При перевертывании устройства № 5 жидкость из верхнего бака 1 поступа-



Рис. 1. Общий вид устройств лаборатории «Капелька-1»

ет через отверстие 6 в нижнюю часть лотка 3, где наблюдается истечение через водослив с тонкой стенкой 8, а в другом положении устройства в этом же лотке наблюдается течение на водосливе с широким порогом 9. Вид гидравлического прыжка при истечении из-под щита в устройстве № 6 изменяется его наклоном в стороны.

Лаборатория «Капелька-3» предназначена для изучения мостовой гидравлики и также состоит из трех устройств (№ 8–10). Она позволяет получить ясное представление о русловых процессах, картине течений и размывах в подмостовых руслах. Устройства № 8, 9 и 10 выполнены по аналогии с устройством № 5, но щелевой канал разделен по высоте на два параллельных опытных канала, которые в устройстве № 8 представляют собой модели русел неподтопленного и подтопленного малого моста. В устройстве № 9 они иллюстрируют мостовой переход в плане и в продольном сечении русла, а в устройстве № 10 – русла с различными типами русловых процессов (табл. 2). После перевертывания устройств наблюдают течение в одном (нижнем) опытном канале, а при их очередном перевертывании – во втором. Содержание и порядок выполнения демонстраций и лабораторных работ на комплексе «КАПЕЛЬКА» подробно описаны в методических указаниях, помещенных на сайте <http://drop-let.narod.ru>

Художественно-конструкторские решения устройств комплекса отвечают современным требованиям технической эстетики, выполнены в едином стиле и имеют вид прозрачного плоского параллелепипеда (рис. 1). Эта форма является наиболее рациональной, так как устройства функционируют за счет последовательного перевертывания в вертикальной плоскости на 90° и 180°, о возможности которого информирует симметричность их объемно-пространственной структуры по фасаду. Кроме того, такая форма обеспечивает компактную упаковку устройств и удобство переноски каждой портативной лаборатории в чемодане с габаритами 400x270x170 мм.

Корпус устройств с полостями (баками) и лицевая панель (крышка) с опытными каналами имеют вид прямоугольника со скругленными углами. Расположение фронтальных поверхностей всех элементов, полостей и каналов устройств на одной фасадной плоскости панели делает их хорошо обозреваемыми. Обрамление элементов устройств общей рамкой (каемкой) композиционно объединяет их и сигнализирует о функциональной связи. Отношение сторон лицевой панели устройств выбрано близким к «золотой пропорции», что обеспечивает гармоничность и целостность восприятия их внешнего вида. Прозрачность устройств и использование в них цветных жидкостей способствуют четкому выявлению основных функциональных зон (емкостей, каналов), легкости восприятия принципа их действия и контрастности уровней жидкости, что облегчает и ускоряет отсчет показаний жидкостных приборов.

Конкурентные преимущества комплекса

Достоинства комплекса, достигнутые благодаря удачным техническим и художественно-конструкторским решениям, повышают культуру и эффективность учебного процесса, так как обеспечивают простоту конструкций устройств, их портативность и автономность относительно водо- и энергопитающих сетей, бесшумность работы, удобство в эксплуатации, наглядность изучаемых процессов, быстрое проведение опытов; не требуют инструктажа по технике безопасности, технического обслуживания и привлечения к выполнению демонстрационных и лабораторных работ учебно-вспомогательного персонала, а также позволяют экономить лабораторные площади. Размеры и масса устройств наилучшим образом отвечают эргономическим параметрам при самостоятельной работе обучающихся в положении сидя. Устройства готовы к работе в любой момент и в любой аудитории. Для приведения установок в действие их достаточно перевернуть или наклонить.

Таким образом, при проведении демонстрационного эксперимента комплекс «КАПЕЛЬ-

КА» имеет неоспоримые преимущества по сравнению с традиционными лабораторными стендами, поэтому Научно-методический совет по гидравлике при Министерства образования и науки рекомендовал использовать комплекс «КАПЕЛЬКА» в основном для иллюстрации на лекциях и практических занятиях основных положений и принципов равновесия и течения жидкости в каналах и сооружениях. При выполнении лабораторных работ из-за весьма узкого диапазона изменения исходных параметров и возможного нарушения условий моделирования НМС счел целесообразным использование комплекса «КАПЕЛЬКА» совместно с традиционными лабораторными стендами. Этот подход наиболее оправдан, если стенды автоматизированы, а запись результатов измерений и их обработка осуществляются с использованием персонального компьютера.

Высокие технические и эргономические качества устройств (лабораторий) определяют-ся техническими решениями, на которые получены патенты РФ на изобретения (№ 1721326 , 1742655) и свидетельство на полезную модель № 27172 [3–5]. Лаборатории комплекса «КАПЕЛЬКА» занимали первые места на ВВЦ и в конкурсе «Сибирские Афины», были одобрены Министерством образования РФ и Международной комиссией по сертификации учебных заведений.

Выпуск комплекса

Простота и высокая технологичность конструкций устройств при изготовлении формированием из листовой прозрачной пластмассы

без применения дефицитных и дорогостоящих материалов и комплектующих деталей и узлов (двигателей, насосов, запорной и регулирующей арматуры) позволили освоить выпуск комплекса в ТомГАСУ малыми сериями. Благодаря своим достоинствам лаборатории комплекса «КАПЕЛЬКА» имеют большой спрос и уже используются более чем в 600 учебных заведениях России, а также в Казахстане, Болгарии и Великобритании.

Список литературы

1. Лабораторный практикум по гидравлике, гидромашинам и гидроприводу: Учеб. пособие для вузов / Я.М. Вильнер, И.П. Воняровский, В.И. Кузменков, И.А. Шульпин – Минск: Высш. школа, 1980. С. 7, 29, 36.
2. Яковлев Н.А. Методические указания к лабораторным работам по общему курсу гидравлики. – Л.: Изд-во ЛПИ, 1979. С. 6.
3. Пат. 1742655 Россия, МКИ G 01 L 7/18. Демонстрационный прибор для измерения гидростатического давления / Г.Д. Слабожанин, В.Д. Слабожанин. – Оpubл. 23.06.1992.
4. Пат. 1721326 Россия, МКИ F 15 В 19/00. Учебно-лабораторная установка для исследования установившегося напорного течения жидкости / Г.Д. Слабожанин, В.Д. Слабожанин. – Оpubл. 23.03.1992.
5. Свидетельство на полезную модель 27172 Россия, МКИ F 15 В 19/00. Учебно-лабораторное устройство для изучения свойств жидкости / Г.Д. Слабожанин, К.Н. Ребенков, Д.Г. Слабожанин. – Оpubл. 10.01.2003.