Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
"Волжский государственный университет водного транспорта"

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
Б.1.О.Д19 Гидромеханика

Профиль	Эксплуатация судовых энергетических установок судов смешанного река-море плавания
Институт	Пермский филиал
	Отделение высшего образования
Специальность	26.05.06 Эксплуатация судовых энергетических установок

1. Объем дисциплины и виды учебной работы

Вид учебной работы	Всего часов/зачетных единиц	Семестры
		4
Лекции	26 Часы	26
СРС	56 Часы	56
Лабораторные работы	13 Часы	13
Практические занятия	13 Часы	13
Дифференцированный зачет	0 Часы	

2. Место дисциплины в структуре ООП

Код дисциплины	Наименование блока	Трудоемкость дисциплины, з.е.
Б1.О.19	Блок 1 Дисциплины (модули) (Обязательная часть)	3

3. Разделы дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Лекции	СРС	Лабораторные работы	Практические занятия	Дифференцированный зачет	Всего
1	Раздел 1. Основные физические свойства жидкости.						
1,1	Тема 1.1. Основные понятия и определения жидкости и газа, как сплошной среды. Физические свойства жидкости. Аномалии воды.	1 Часы	3 Часы				4 Часы
1,2	Тема 1.2. Силы, действующие в жидкости.	1 Часы	3 Часы				4 Часы
2	Разлел 2. Гидростатика.						
2,1	Тема 2.1. Гидростатическое давление и его свойства. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля.	2 Часы	4 Часы	2 Часы	2 Часы		10 Часы
2,2	Тема 2.2. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости. Основное уравнение гидростатики и уравнение поверхности равного уровня.	2 Часы	3 Часы				5 Часы
2,3	Тема 2.3. Сила давления на плоские и криволинейныке жесткие стенки. Эпюра давления. Гидростатический парадокс.	1 Часы	4 Часы	2 Часы	2 Часы		9 Часы
2,4	Тема 2.4. Плавание тел и остойчивость. Закон Архимеда.	1 Часы	3 Часы		2 Часы		6 Часы
2,5	Тема 2.5. Применение методов дпо определению остойчивости, посадке и напряжений, построение диаграмм расчета напряжений в корпусе	2 Часы	3 Часы				5 Часы
3	Разлел 3. Динамика жидкости и газа.						
3,1	Тема 3.1. Основные понятия динамики жидкости. Установившееся и неустановившееся, равномерное и неравномерное, напорное и безнапорное течения. Линии тока, элементарная струйка, трубка тока, гидравлический радиус. Живое сечение потока.	2 Часы	3 Часы				5 Часы
3,2	Тема 3.2. Уравнение постоянства расхода для установившегося движения жидкости (уравнение неразрывности). Методы математического анализа и экспериментального исследования движения жидкости	2 Часы	3 Часы				5 Часы
3,3	Тема 3.3. Уравнения движения идеальной жидкости в форме Эйлера.	2 Часы	3 Часы				5 Часы

3,4	Тема 3.4. Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной и реальной жидкости. Геометрическая и энергетическая сущность уравнения Бернулли.	2 Часы	4 Часы	2 Часы	2 Часы		10 Часы
3,5	Тема 3.5. Режимы движения жидкостей: ламинарный и турбулентный. Сопротивления потоку жидкости (местные и по длине). Потери в грунтопроводе.	2 Часы	4 Часы	2 Часы	2 Часы		10 Часы
3,6	Тема 3.6. Истечение жидкости через отверстия и насадки при постоянном и переменном напорах. Исследование истечения жидкости при переменном напоре, наполнение и опорожнение камер шлюзов	2 Часы	4 Часы	2 Часы	2 Часы		10 Часы
3,7	Тема 3.7. Понятие о гидравлическом ударе. Способы и методы борьбы с гидравлическим ударом	1 Часы	4 Часы	1 Часы			6 Часы
3,8	Тема 3.8. Проектирование схем трубопроводов, гидравлических и пневматических систем	2 Часы	4 Часы	2 Часы			8 Часы
3,9	Тема 3.9. Меры по определению водонепроницаемости в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии. Тесты по всем темам дисциплины. Тест по темам 1-3	1 Часы	4 Часы		1 Часы		6 Часы

4. Компетенции обучающегося, формируемые в процессе освоения дисциплины

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Формируемые компетенции			
1	Раздел 1. Основные физические свойства жидкости.				
1,1	Тема 1.1. Основные понятия и определения жидкости и газа, как сплошной среды. Физические свойства жидкости. Аномалии воды.	ОПК-2.(ИДК: ОПК-2.3.1;)			
1,2	Тема 1.2. Силы, действующие в жидкости.	ОПК-2.(ИДК: ОПК-2.3.1;)			
2	Разлел 2. Гидростатика.				
2,1	Тема 2.1. Гидростатическое давление и его свойства. Основное уравнение гидростатики. Закон Паскаля.	ПК-20.(ИДК: ПК-20.3.1;ПК-20.У.1;ПК-20.В.1;)			
2,2	Тема 2.2. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости. Основное уравнение гидростатики и уравнение поверхности равного уровня.	ПК-19.(ИДК: ПК-19.3.1;)			
2,3	Тема 2.3. Сила давления на плоские и криволинейныке жесткие стенки. Эпюра давления. Гидростатический парадокс.	ПК-19.(ИДК: ПК-19.3.1;ПК-19.У.1;ПК-19.В.1;)			
2,4	Тема 2.4. Плавание тел и остойчивость. Закон Архимеда.	ПК-19.(ИДК: ПК-19.3.1;ПК-19.У.1;ПК-19.В.1;)			
2,5	Тема 2.5. Применение методов дпо определению остойчивости, посадке и напряжений, построение диаграмм расчета напряжений в корпусе	ПК-19.(ИДК: ПК-19.3.1;)			
3	Разлел 3. Динамика жидкости и газа.				
3,1	Тема 3.1. Основные понятия динамики жидкости. Установившееся и неустановившееся, равномерное и неравномерное, напорное и безнапорное течения. Линии тока, элементарная струйка, трубка тока, гидравлический радиус. Живое сечение потока.	ПК-20.(ИДК: ПК-20.3.1;)			
3,2	Тема 3.2. Уравнение постоянства расхода для установившегося движения жидкости (уравнение неразрывности). Методы математического анализа и экспериментального исследования движения жидкости	ПК-20.(ИДК: ПК-20.3.1;)			
3,3	Тема 3.3. Уравнения движения идеальной жидкости в форме Эйлера.	ПК-20.(ИДК: ПК-20.3.1;)			
3,4	Тема 3.4. Уравнение Бернулли для элементарной струйки идеальной и реальной жидкости. Геометрическая и энергетическая сущность уравнения Бернулли.	ОПК-2.(ИДК: ОПК-2.3.1;ОПК-2.У.1;ОПК-2.В.1;)	ПК-19.(ИДК: ПК-19.У.1;ПК-19.В.1;)		
3,5	Тема 3.5. Режимы движения жидкостей: ламинарный и турбулентный. Сопротивления потоку жидкости (местные и по длине). Потери в грунтопроводе.	ОПК-2.(ИДК: ОПК-2.3.1;ОПК-2.У.1;ОПК-2.В.1;)			
3,6	Тема 3.6. Истечение жидкости через отверстия и насадки при постоянном и переменном напорах. Исследование истечения жидкости при переменном напоре, наполнение и опорожнение камер шлюзов	ОПК-2.(ИДК: ОПК-2.3.1;ОПК-2.У.1;ОПК-2.В.1;)			
3,7	Тема 3.7. Понятие о гидравлическом ударе. Способы и методы борьбы с гидравлическим ударом	ОПК-2.(ИДК: ОПК-2.У.1;ОПК-2.3.1;ОПК-2.В.1;)			
3,8	Тема 3.8. Проектирование схем трубопроводов, гидравлических и пневматических систем	ПК-57.(ИДК: ПК-57.3.1;ПК-57.У.1;ПК-57.В.1;)			

3,9	Тема 3.9. Меры по определению водонепроницаемости в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии. Тесты по всем темам дисциплины. Тест по темам 1-3	ПК-19.(ИДК: ПК-19.3.1;ПК-19.У.1;ПК-19.В.1;)	ОПК-2.(ИДК: ОПК-2.З.1;ОПК-2.У.1;ОПК-2.В.1;)	ПК-20.(ИДК: ПК-20.3.1;ПК-20.У.1;ПК-20.В.1;)	ПК-57.(ИДК: ПК-57.З.1;ПК-57.У.1;ПК-57.В.1;)

5. Перечень планируемых результатов обучения, соотнесенных с планируемыми результатами освоения

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование и развитие у обучающегося следующих компетенций:

№ п/п	компетенции	Индикатор достижения		
		Знать	Уметь	Владеть
1	Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности	ОПК-2.З.1 условия формирования естественнонаучных и общеинженерных знаний, аналитических методов в профессиональной деятельности	ОПК-2.У.1 применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности	ОПК-2.В.1 навыками применения естественнонаучных и общеинженерных знаний, аналитических методов в профессиональной деятельности
2	Способен практически применять информацию об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграммы и устройства для расчета напряжений в корпусе	ПК-19.З.1 сущность процессов остойчивости, посадки и напряжений, методику построения диаграмм при расчете напряжений в корпусе	ПК-19.У.1 применять информацию об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграммы и устройства для расчета напряжений в корпусе	ПК-19.В.1 навыками применения информации об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграммы и устройства для расчета напряжений в корпусе
3	Способен обеспечить водонепроницаемость и предпринимать основные действия, в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии	ПК-20.З.1 меры по предотвращению водонепроницаемости и основные действия, в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии	ПК-20.У.1 предпринимать основные действия, в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии	ПК-20.В.1 навыками обеспечения водонепроницаемости и предпринимать основные действия, в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии
4	Способен читать схемы трубопроводов, гидравлических и пневматических систем	ПК-57.З.1 особенности чтения схем трубопроводов, гидравлических и пневматических систем	ПК-57.У.1 применять схемы трубопроводов, гидравлических и пневматических систем	ПК-57.В.1 навыками чтения схем трубопроводов, гидравлических и пневматических систем

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование и развитие у обучающегося следующих требуемых Международной конвенцией о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года стандартов компетентности:

№ п/п	Таблица	Функция	Сфера компетентности
1			

6. Материально-техническое и учебно-методическое обеспечение программы

6.1 Помещения и оборудование

№ п/п	Вид помещений	Оснащение помещений	№ помещений
1	Учебные аудитории для проведения учебных занятий	оборудование и технические средства обучения (Стол аудиторный (51 ед.); Скамья (51 ед.); Мультимедийное оборудование (1 ед.) (166) Печь ПЛ10/12,5 (камерная высокотемпературная) (2 ед.); Твердомер ТК-2М М000000447 (1 ед.); Прибор ТШ-2 М000000435 (1 ед.); Прибор для определения твердости М000000469 (1 ед.); Микроскоп МИМ-7 М000004065 (3 ед.); Стул (10 ед.); Стол аудиторный (8 ед.); Машина 0001350240 (1 ед.); Прибор 0001330921 (1 ед.); Прибор 0001351023 (1 ед.); Установка 0001330932 (1 ед.).Весы технические (1 ед.); Гальванометр напряжения (4 ед.); Доска аудиторная (1 ед.); Интегратор (2 ед.); Киноэкран (2 ед.); Модель кристаллической решетки (4 ед.); Потенциометр КСП (7 ед.); Потенциостат П5848 (1 ед.); Прибор для определения микротвердости (1 ед.); Прибор для определения твердости металла (1 ед.); Станок для шлифования и полирования (2 ед.); Стеллаж металлический (2 ед.); Стол верстак (1 ед.); Стол монтажный (5 ед.); Стол однотумбовый (10 ед.); Твердомер ТК-2М (1 ед.); Шкаф секционный (6 ед.); Электроточило (1 ед.) (171))	166,171
2	Помещения для самостоятельной работы обучающихся	компьютерная техника с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечение доступа в электронную информационно-образовательную среду университета	171

6.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение, в том числе отечественного производства

№ п/п	Наименование
1	Microsoft Office Professional Plus 2016 (Договор №44/109-15 от 28.12.2015 (бессрочно))
2	Microsoft Office ProPlus 2013 (Договор №44/59-18 от 09.04.2018 (бессрочно))

6.3 Карта обеспеченности печатными и(или) электронными изданиями и электронными образовательными ресурсами

№ п/п	Наименование источника	Год издания	Ресурс	Количество экземпляров

1	Крайнова, В.В. Методические указания по организации и выполнению внеаудиторной (самостоятельной) работы [Электронный ресурс] : для преподавателей и студ.по направлениям подготовки (спец.) высш.и сред.проф.образования / В. В. Крайнова ; ВГУВТ. - Н.Новгород, 2018. - 1 текст/файл. - Авторский вариант. – Режим доступа: http://94.100.87.24:8080/MarcWeb/Tmp/f15520.pdf	2 018	Электронный ресурс	0
2	Шейпак, А.А.;Гидравлика и гидропневмопривод;учеб.пособие;Шейпак, А.А.-М.,МГИУ; <null> ;	2 005	Текст	1
3	Лепешкин, А.В.;Гидравлика и гидропневмопривод;учебник;Лепешкин, А.В.Михайлин, А.А.Шейпак, А.А.-М.,МГИУ; <null> ;	2 005	Текст	1
4	Лукина, Е.А.;Гидромеханика;метод.разработки к выполн.контр.работы для студ.заочн.формы обучения 180101;Лукина, Е.А.-Н.Новгород,ВГАВТ; <null> ;	2 006	Текст	49
5	Лебединская, Л.М.;Гидравлика;метод.указания к выполн.лабор.работ по спец.1401, 3302;Лебединская, Л.М.Лукина, Е.А.Раев, И.А.-Н.Новгород,ВГАВТ; <null> ;	2 003	Текст	89
6	Лепешкин, А.В.;Гидравлика и гидропневмопривод;учебник;Лепешкин, А.В.Михайлин, А.А.Шейпак, А.А.-М.,МГИУ; <null> ;	2 008	Текст	46
7	Парахневич, В.Т.;Гидравлика, гидрология, гидрометрия водотоков;учеб.пособие;Парахневич, В.Т.-Минск,Новое знание; URL: https://e.lanbook.com/book/64775 ;<null>	2 014	Электронный ресурс	0
8	Ходзинская, А.Г.;Гидравлика и гидрология транспортных систем;учеб.пособие;Зоммер, Т.В.Ходзинская, А.Г.-М.,МИСИ-МГСУ; URL: https://e.lanbook.com/book/73659 ;<null>	2 014	Электронный ресурс	0
9	Замалеев, З.Х.;Основы гидравлики и теплотехники;учебное пособие;Замалеев, З.Х.Посохин, В.Н.Чефанов, В.М.-Санкт-Петербург,Лань; URL: https://reader.lanbook.com/book/238526#3 (дата обращения: 07.0.2022) ;<null>	2 022	Электронный ресурс	0
10	Крестин, Е.А.;Задачник по гидравлике с примерами расчетов;учебное пособие;Крестин, Е.А.Крестин, И.Е.-Санкт-Петербург,Лань; URL: https://reader.lanbook.com/book/158956 (дата обращения: 14.10.2021) ;<null>	2 021	Электронный ресурс	0
11	Кожевникова, Н.Г.;Гидравлика и гидравлические машины;лабораторный практикум:учебное пособие;Бекишев, Б.Т.Драный, А.В.Ещин, А.В.Кожевникова, Н.Г.Цымбал, А.А.Шевкун, В.А.-Санкт-Петербург,Лань; URL: https://reader.lanbook.com/book/212381#1 (дата обращения: 19.05.2022) ;<null>	2 022	Электронный ресурс	0
12	Лозовецкий, В.В.;Гидро- и пневмосистемы транспортно-технологических машин;учебное пособие;Лозовецкий, В.В.-Санкт-Петербург,Лань; URL: https://reader.lanbook.com/book/210932#1 (дата обращения: 18.05.2022) ;<null>	2 022	Электронный ресурс	0
13	Никитаев, И.В.;Гидравлика и гидропневмопривод;метод.материалы для выполн.лабор.работ для студентов;Никитаев, И.В.-Н.Новгород,<null>; <null> ;http://94.100.87.24:8080/marcweb/	2 016	Электронный ресурс	0
14	Никитаев, И.В.;Испытания насоса и вентилятора;метод.указания к выполн.лабор.работ для студ.очн.и заочн.обучения спец.23.03.03, 26.03.01;Никитаев, И.В.-Н.Новгород,<null>; <null> ;http://94.100.87.24:8080/marcweb/	2 016	Электронный ресурс	0

Программа предусматривает возможность применения электронного обучения, дистанционных образовательных технологий.

Электронная информационно-образовательная среда университета с возможностью доступа к информационно- телекоммуникационной сети "Интернет" - Режим доступа: http://www.eios.vsuwt.ru/.

6.4 Современные профессиональные базы данных

№ п/п	Наименование
1	Статистический сборник: Транспорт в России- Режим доступа: http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/publications/catalog/doc_1136983505312
2	Центральная база статистических данных - Режим доступа: http://cbsd.gks.ru/

6.5 Информационные справочные системы

№ п/п	Наименование
1	Справочная правовая система «КонсультантПлюс» - Режим доступа: http://www.consultant.ru (договор от 02.02.2015 г.)
2	Справочная правовая система «Гарант» - Режим доступа: http://www.garant.ru (договор 62/16 от 01.09.2016 г. - бессрочный)
3	Справочная правовая система «КонсультантПлюс» - Режим доступа: http://www.consultant.ru (договор от 02.02.2015 г.)
4	Справочная правовая система «Гарант» - Режим доступа: http://www.garant.ru (договор 62/16 от 01.09.2016 г. - бессрочный)

7. Оценочные и методические материалы

Оценочные и методические материалы, определяющие процедуры оценивания индикаторов, характеризующих этапы формирования компетенций, являются приложением к программе.

№ п/п	Индикатор достижения компетенций	Сфера компетентности (МК ПДНВ)	Контролируемые разделы (темы)	Формы и методы контроля и оценки результатов обучения		Процедура оценивания	Критерии оценивания результата обучения и шкала оценивания			
				Вид контроля	Форма контроля		2	3	4	5
							не зачтено	зачтено		
1	ОПК-2.У.1, ОПК-2.В.1, ПК-19.У.1, ПК-19.В.1, ПК-20.У.1, ПК-20.В.1, ПК-57.У.1, ПК-57.В.1		2.1,2.3,3.4,3.5,3.6,3.7	Текущий контроль	Лабораторная работа	отчет о выполненной работе, выполненный на формате А4 с последующей защитой	Работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов: если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно	Работа выполнена не полностью, но объем выполненной части позволяет получить правильные результаты и выводы, если в ходе проведения опыта, измерений, вычислений и наблюдений были допущены ошибки	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов, измерений, вычислений и наблюдений; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; но допускает несколько недочетов, оформление отчета согласно установленным требованиям; при защите отчета обучающийся ответил в основном на все контрольные вопросы	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов, измерений, вычислений и наблюдений; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; оформление отчета согласно установленным требованиям; при защите отчета обучающийся ответил на все контрольные вопросы

2	ОПК-2.У.1, ОПК-2.В.1, ПК-19.У.1, ПК-19.В.1, ПК-20.У.1, ПК-20.В.1, ПК-57.У.1, ПК-57.В.1		2.1,2.3,3.4,3.5,3.6,3.7,3.8	Текущий контроль	Лабораторная работа	отчет о выполненной работе, выполненный на формате А4 с последующей защитой	Работа выполнена не полностью и объем выполненной части работы не позволяет сделать правильных выводов: если опыты, измерения, вычисления, наблюдения производились неправильно	Работа выполнена не полностью, но объем выполненной части позволяет получить правильные результаты и выводы, если в ходе проведения опыта, измерений, вычислений и наблюдений были допущены ошибки	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов, измерений, вычислений и наблюдений; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; но допускает несколько недочетов, оформление отчета согласно установленным требованиям; при защите отчета обучающийся ответил в основном на все контрольные вопросы	Работа выполнена в полном объеме с соблюдением необходимой последовательности проведения опытов, измерений, вычислений и наблюдений; все опыты проводит в условиях и режимах, обеспечивающих получение правильных результатов и выводов; в отчете правильно и аккуратно выполняет все записи, таблицы, рисунки, чертежи, графики, вычисления; оформление отчета согласно установленным требованиям; при защите отчета обучающийся ответил на все контрольные вопросы
3	ОПК-2.У.1, ОПК-2.В.1, ПК-57.У.1, ПК-57.В.1		2.1,2.3,2.4,3.4,3.5,3.6,3.9	Текущий контроль	Расчетно-графическая работа	отчет о выполненной работе, выполненный на формате А4 с последующей защитой	РГР выполнена не полностью, допущены грубые ошибки, большинство предусмотренных заданий не выполнены либо выполнены с грубыми ошибками	РГР выполнена большей частью, но допущены ошибки в расчетах и чертежах (графиках); необходимые умения и практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных заданий выполнены, отдельные из выполненных заданий содержат ошибки; оформление РГР с нарушением установленных требований	РГР в целом выполнена, но допущены неточности в расчетах и чертежах (графиках), теоретическое содержание освоено; необходимые умения и практические навыки работы в основном сформированы, все предусмотренные задания выполнены с отдельными неточностями, оформление РГР согласно установленным требованиям.	РГР выполнена в полном объеме; без ошибок в расчетах и чертежах (графиках), теоретическое содержание освоено полностью, без пробелов, системно и глубоко; необходимые умения и практические навыки сформированы, все задания выполнены безупречно, оформление РГР согласно установленным требованиям.
4	ОПК-2.У.1, ОПК-2.В.1, ПК-19.У.1, ПК-19.В.1, ПК-57.У.1, ПК-57.В.1		2.1,2.3,2.4,3.4,3.5,3.6,3.9	Текущий контроль	Расчетно-графическая работа	отчет о выполненной работе, выполненный на формате А4 с последующей защитой	РГР выполнена не полностью, допущены грубые ошибки, большинство предусмотренных заданий не выполнены либо выполнены с грубыми ошибками	РГР выполнена большей частью, но допущены ошибки в расчетах и чертежах (графиках); необходимые умения и практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных заданий выполнены, отдельные из выполненных заданий содержат ошибки; оформление РГР с нарушением установленных требований	РГР в целом выполнена, но допущены неточности в расчетах и чертежах (графиках), теоретическое содержание освоено; необходимые умения и практические навыки работы в основном сформированы, все предусмотренные задания выполнены с отдельными неточностями, оформление РГР согласно установленным требованиям.	РГР выполнена в полном объеме; без ошибок в расчетах и чертежах (графиках), теоретическое содержание освоено полностью, без пробелов, системно и глубоко; необходимые умения и практические навыки сформированы, все задания выполнены безупречно, оформление РГР согласно установленным требованиям.

5	ОПК-2.3.1, ОПК-2.У.1, ОПК-2.В.1, ПК-19.3.1, ПК-19.У.1, ПК-19.В.1, ПК-20.3.1, ПК-20.У.1, ПК-20.В.1, ПК-57.3.1, ПК-57.У.1, ПК-57.В.1		1.1.1,1.2.2,2.1.2,2.2.3,2.4.2,2.5.3,3.1.3,3.2.3,3.3.4,3.5.3,3.6.3,3.7.3,3.8.3,3.9	Текущий контроль	Опрос	Опрос на контрольные вопросы прводится в конце занятия	Обучающийся демонстрирует незнание теоретических основ предмета, не умеет делать аргументированные выводы и приводить примеры, проявляет отсутствие логичности и последовательности изложения материала, делает ошибки	Обучающийся демонстрирует неглубокие теоретические знания, недостаточное умение делать аргументированные выводы и приводить примеры, показывает нелогичное и непоследовательное изложение материала, делает ошибки	Обучающийся демонстрирует прочные теоретические знания, владеет терминологией, делает аргументированные выводы и обобщения, приводит примеры, но при этом делает несущественные ошибки.	Обучающийся демонстрирует системные теоретические знания, владеет терминологией, делает аргументированные выводы и обобщения, приводит примеры, способен быстро реагировать на уточняющие вопросы
6	ОПК-2.3.1, ОПК-2.У.1, ОПК-2.В.1, ПК-19.3.1, ПК-19.У.1, ПК-19.В.1, ПК-20.3.1, ПК-20.У.1, ПК-20.В.1, ПК-57.3.1, ПК-57.У.1, ПК-57.В.1		1.1.1,1.2.2,2.1.2,2.2.2,2.3.2,2.4.2,2.5.3,3.1.3,3.2.3,3.3.3,3.4.3,3.5.3,3.6.3,3.7.3,3.8.3,3.9	Промежуточная аттестация	Дифференцированный зачет	зачет выставляется по итогам проведения и защиты лабораторных и расчетно-графических работ	Обучающийся показывает незнания основного учебного материала, допускает принципиальные ошибки в выполнении предусмотренных программой заданий, не знаком с рекомендованной литературой, не может исправить допущенные ошибки	Обучающийся показывает знания основного учебного материала в минимальном объеме; справляется с выполнением заданий, предусмотренных программой, допуская при этом большое количество не принципиальных ошибок; знаком с литературой, рекомендованной программой	Обучающийся показывает достаточный уровень знаний в пределах основного учебного материала, без существенных ошибок выполняет предусмотренные в программе задания; усвоил литературу, рекомендованную в программе; способен объяснить взаимосвязь основных понятий при дополнительных вопросах преподавателя	Обучающийся показывает всестороннее, систематическое и глубокое знание учебного материала, умеет свободно выполнять задания, предусмотренные программой; проявляет творческие способности в понимании, изложении и использовании учебного материала; усвоил рекомендованную литературу; может объяснить взаимосвязь основных понятий в их значении для последующей профессиональной деятельности

7	ОПК-2.З.1, ОПК-2.У.1, ОПК-2.В.1, ПК-19.З.1, ПК-19.У.1, ПК-19.В.1, ПК-20.З.1, ПК-20.У.1, ПК-20.В.1, ПК-57.З.1, ПК-57.У.1, ПК-57.В.1		1,1.1,1.2,2,2.1,2.2,2.3,2.4,2.5,3,3.1,3.2,3.3,3.4,3.5,3.6,3.7,3.8,3.9	Промежуточная аттестация	Итоговый тест	Контролируемые компетенции: ОПК-2, ПК-19, ПК-20, ПК-57¶Общее время выполнения: 120 минут¶Общее количество заданий: 40	0-49% правильных ответов	50-69% правильных ответов	70-89% правильных ответов	90-100% правильных ответов

Перечень лабораторных работ и методика их проведения с контрольными вопросами по дисциплине «Гидромеханика»

Контролируемые компетенции:

ОПК-2. Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности;

ПК-19. Способен практически применять информацию об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграммы и устройства для расчета напряжений в корпусе;

ПК-20. Способен обеспечить водонепроницаемость и предпринимать основные действия, в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии

ПК-57. Способен читать схемы трубопроводов, гидравлических и пневматических систем.

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
Волжский государственный университет водного транспорта

Кафедра водных путей и гидротехнических сооружений

И.В. Липатов

Виртуальный лабораторный практикум по основам гидравлики.



Н. Новгород
2021

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
Волжский государственный университет водного транспорта

Кафедра Водных путей и гидротехнических сооружений

И.В. Липатов

Виртуальный лабораторный практикум по основам гидравлики

Методические указания по выполнению лабораторных работ по гидравлике для студентов очной и заочной формы обучения по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» и 26.03.01 «Управление водным транспортом гидрографическое обеспечение судоходства»

Нижний Новгород
Издательство ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
2021

УДК 556
Л 61

Рецензент – доцент, к.т.н. Никитаев И. В.

Липатов И.В., профессор д.т.н.

Виртуальный лабораторный практикум по гидравлике и основам гидравлики: методические указания для студентов очного и заочного обучения по направлениям подготовки. 26.03.01 «Управление водным транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства», 08.03.01 «Строительство» и других инженерных специальностей / И.В. Липатов – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2021 г. – 58 с.

В методических указаниях дано описание для выполнения и подготовке к защите лабораторных работ по основам гидравлики, гидравлике и гидравлике гидротехнических сооружений

Работа рекомендована к изданию кафедрой водных путей и гидротехнических сооружений (протокол № ___ от __.__.2021 г.)

© ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2021

Введение

Идея виртуальной лаборатории является одним из аспектов совершенствования методов проведения занятий. Актуальность данного направления обоснована интенсивным развитием информационных технологий в рамках образования и дистанционных форм обучения, а также повышения качества системы образования. Виртуальные тренажеры дополняют комплекс знаний, которые получает обучаемый. Действия, происходящие на экране компьютера, связанные с физическими процессами, привносят совершенно новый элемент в представление об изучаемой дисциплине. Динамика компьютерной имитации не только используется для показа движения объекта, но и раскрывает логику движения мысли от незнания к знанию.

Виртуальная лаборатория представляет собой компьютерную программу, выполняющую функцию тренажера, который реализует трехмерную модель уникального или типового оборудования. Сочетание объемной визуализации объектов и звука позволяет обучаемому глубоко погрузиться в виртуальный мир, максимально приближенный к реальным условиям работы, дающий возможность с высокой степенью реальности участвовать в физическом эксперименте.

Выполнение виртуальных лабораторных работ при изучении гидравлики должно способствовать более глубокому пониманию студентами физической сущности изучаемых гидравлических явлений, освоению ими методов лабораторных испытаний, упрочнению связи теории с экспериментами, а также приобретению навыков в научных исследованиях и в работе с научно-технической и справочной литературой.

В предлагаемом лабораторном курсе описание каждой работы содержит:

1. вводную часть, где в сжатой форме изложены сведения общего характера, основные теоретические положения и описания физического процесса исследуемого в лабораторной работе;
2. схему и описание лабораторной установки;
3. порядок выполнения работы и детально разработанные таблицы для упрощения и удобства обработки опытных данных; индивидуальные варианты исходных данных; дополнительную информацию по управлению виртуальной моделью. В этом же разделе сформулированы цели лабораторной работы, порядок действий и алгоритм обработки экспериментов.
4. основные контрольные вопросы, позволяющие студентам целенаправленно готовиться к защите отчета по каждой работе;

Общие указания по выполнению лабораторных работ, рекомендации по составлению и оформлению отчета и защите.

1. Текстовую часть отчета о каждой лабораторной работе студент должен представлять на отдельных листах белой писчей бумаги формата А4 (210 × 297 мм), а графическую (схему установки и график, построенный в масштабе по опытным данным) − на миллиметровой или потребительской бумаге в клетку. При этом весь графический материал, в том числе надписи и обозначения на нем, должен быть выполнен карандашом. При вычерчивании графиков на осях координат должны быть нанесены шкалы, представлены обозначения откладываемых величин и их размерность.
2. Каждый рисунок в отчете должен иметь порядковый номер и пояснительную надпись, располагаемые под рисунком.
3. К выполнению работы допускаются студенты, оформившие в соответствии с изложенными ниже требованиями подготовительную часть отчета, включающую:
   а) название работы и цель ее выполнения;
   б) основные теоретические положения работы (в конспективном изложении);
   в) схему установки, а также рисунки, поясняющие физическую картину изучаемого гидравлического явления;
   г) таблицы для записи опытных данных и результатов вычислений.
4. После окончания работы результаты измерений и вычислений должны быть предъявлены преподавателю для подписи.
5. Для получения оценки (в баллах) за выполненную лабораторную работу студент должен представить преподавателю полностью оформленный отчет, т. е. отчет, дополненный результатами вычислений, графическим материалом, а также выводами (заключением) по работе, ответами на контрольные вопросы, и защитить его.

Принципы взаимодействия с виртуальной моделью лабораторной установки

Имитационная модель лабораторной установки представляет собой интерактивную геометрическую структуру, помещенную в виртуальное трехмерное пространство. Наблюдение за объектами осуществляется с помощью виртуальной камеры. В базовом (свободном) режиме камера может вращаться вокруг точки фокусировки (рис. 1). Точка фокусировки камеры может перемещаться в вертикальной фронтальной плоскости. Кроме того, камера может дистанцироваться относительно точки фокусировки на произвольное расстояние, ограниченное габаритами трехмерного пространства.

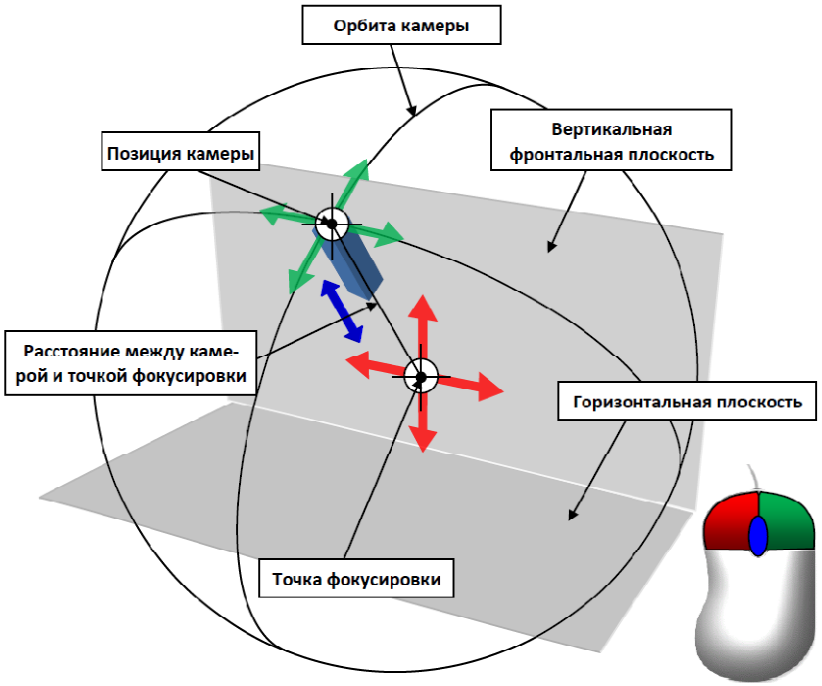


Рис. 1 Принципы управления камерой в свободном режиме

Основные манипуляции с камерой в свободном режиме осуществляются с помощью компьютерной мыши. При этом нажатие и удерживание левой кнопки мыши с сопутствующим перемещением мыши приводит к перемещению точки фокусировки камеры во фронтальной плоскости пространства. Нажатие и удерживание правой кнопки мыши с сопутствующим перемещением мыши приводит к вращению камеры относительно точки фокусировки. Углы вращения (азимут и элевация) камеры ограничены габаритами трехмерного пространства. Изменение дистанции камеры осуществляется вращением колеса прокрутки мыши в прямом и обратном направлениях.

Примечание: в некоторых лабораторных работах функция вращения камеры может отсутствовать!

Помимо свободного режима камера может переключаться на отдельные элементы лабораторной установки. Переключение камеры на отдельный объект осуществляется путем наведения указателя мыши на данный объект с последующим одинарным кликом левой кнопки мыши. При этом камера может занять статичное положение или иметь возможность перемещаться в вертикальной плоскости путем наведения указателя мыши к краям экрана или с помощью курсорных клавиш клавиатуры. Необходимость дополнительного перемещения камеры в режиме работы с объектом обусловлена превышением габаритных размеров просматриваемого объекта над габаритными размерами экрана. Возврат камеры в исходный режим кликом в произвольной области экрана.

Интерактивное взаимодействие с управляющими элементами имитационной лабораторной установки осуществляется путем наведения указателя мыши на данный объект с последующим нажатием (или одинарным кликом) левой (или правой) кнопки мыши. Специфика управления для конкретных элементов различается. К примеру, непрерывно регулирующие элементы (вентили регулирования расхода и др.) для изменения своего состояния требуют нажатия и продолжительного удерживания левой или правой (в случае обратного движения) кнопки мыши. Элементы дискретного действия (задвижки и клапаны) требуют одинарного клика левой кнопки мыши.

В момент наведения указателя мыши на объект, манипуляции с камерой временно недоступны. В тоже время в процессе манипулирования камерой невозможно выполнение действий с элементами управления лабораторной установки.

1. Лабораторная работа № 1. Измерение гидростатического давления, экспериментальное подтверждение основного уравнения гидростатики и закона Паскаля.

1.1 Описание физического процесса л/р № 1.

Гидростатическим давлением p называют нормальное сжимающее напряжение, возникающее в покоящейся жидкости под действием поверхностных и массовых сил:

$$p = \lim_{\Delta S \to 0} \frac{\Delta F}{\Delta S} , \qquad (1.1)$$

где ΔF – элементарная равнодействующая поверхностных и массовых сил (гидростатическая сила), Н; ΔS – элементарная площадка действия, м^2.

Из формулы (1.1) видно, что гидростатическое давление p есть предел отношения элементарной гидростатической силы ΔF к элементарной площади действия ΔS, когда последняя стремится к нулю.

За единицу гидростатического давления принято равномерно распределенное давление в один Паскаль (Па), т.е., создаваемое силой 1 Н на площади 1 м^2, или p = 1 Па = 1 Н/м^2.

Гидростатическое давление, отсчитываемое от абсолютного нуля, называют абсолютным (p_{abs}), а отсчитываемое от атмосферного давления (p_{atm}) – избыточным (p_{over}), следовательно:

$$p_{abs} = p_{atm} + p_{over} , \qquad (1.2)$$

Очевидно, что

$$p_{over} = p_{abs} - p_{atm} \qquad (1.3)$$

В гидравлических расчетах величину нормального атмосферного давления считают равной $p_{atm} = 98100 \approx 10^5$ Па.

Из формулы (1.3) видно, что в зависимости от соотношения между p_{abs} и p_{atm}, избыточное давление p_{over} может быть положительной и отрицательной величиной. Положительное избыточное давление называют манометрическим, а отрицательное – вакуумметрическим. Приборы, применяемые для измерения $+p_{over}$ и $-p_{over}$, называют манометрами и вакуумметрами соответственно. По принципу действия манометры и вакуумметры делятся на две группы: жидкостные и механические.

Жидкостный манометр (пьезометр) представляет собой стеклян-

ную трубку, верхний конец которой открыт в атмосферу, а нижний присоединен к точке, где измеряется манометрическое давление.

Манометрическое давление p_{over}, выраженное через показания пьезометра:

$$p_{over} = \rho g h_{p_{over}} , \qquad (1.4)$$

где $\rho g = \gamma$ – объемный вес жидкости; $h_{p_{over}}$ – пьезометрическая высота, т. е. высота, отсчитываемая от точки подключения пьезометра до уровня жидкости в нем.

Работа механических приборов основана на деформации под воздействием давления упругого элемента (пружины или мембраны). Заметим, что пружинный манометр показывает давление в точке жидкости на уровне оси вращения его стрелки. Если положение оси вращения стрелки и точки подключения манометра по высоте не совпадают, в показание манометра (p_m) вводят поправку ($\pm\rho g y_m$):

$$p_{over} = p_m \pm \rho g y_m , \qquad (1.5)$$

где y_m – превышение оси вращения стрелки манометра над точкой его подключения, м.

В данной лабораторной работе предусмотрено измерение манометрического давления пружинными манометрами.

Когда на покоящуюся жидкость действует только сила тяжести, распределение гидростатического давления p по глубине h описывается основным уравнением гидростатики:

$$p = p_0 + \rho g h , \qquad (1.6)$$

где p – гидростатическое давление в жидкости на глубине h, Па; p_0 – внешнее давление, т. е. гидростатическое давление на свободной поверхности жидкости, Па; h – глубина погружения в жидкость рассматриваемой точки, м; $\rho g h$ – весовое давление, т. е. гидростатическое давление, создаваемое весом столба жидкости высотой h, Па.

Как видно из уравнения (1.6), при $p_0 = const$ и $\rho g = const$ давление p с изменением величины h меняется по линейному закону, что предстоит подтвердить опытами. Вычислив по уравнению (1.6) давление p в двух точках, заглубленных на разную величину h, можно построить диаграмму распределения гидростатического давления по глубине, называемую эпюрой гидростатического давления.

Из уравнения (1.6) следует, что внешнее давление p_0 в покоящейся жидкости передается во все точки ее объема без изменения. Это следствие называют законом Паскаля: « Внешнее давление, приложенное к поверхности жидкости, находящейся в равновесии в замкнутом сосуде, передается всем точкам жидкости без изменения».

Справедливость этого закона предстоит проверить опытным путем в данной работе.

1.2 Описание лабораторной установки № 1.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.1. Симуляционная модель лабораторной установки (рис. 1.1) включает в себя тонкостенную стальную колонну (1), частично заполненную водой, уровень воды в которой измеряется пьезометрической трубкой со шкалой (2). Вода подается в колонну открытием вентиля (3).

Для измерения гидростатического давления над свободной поверхностью жидкости в точке 1 и в точках 2 и 3 (на глубинах h_2 и h_3) установлены механические манометры M_1 (4), M_2 (5) и M_3 (6).

Сжатый воздух от компрессора (7) можно подавать в верхнюю часть колонны над свободной поверхностью жидкости по трубопроводу (8), открыв вентиль (9). Избыточное давление из верхней части колонны сбрасывается с помощью вентиля (10).

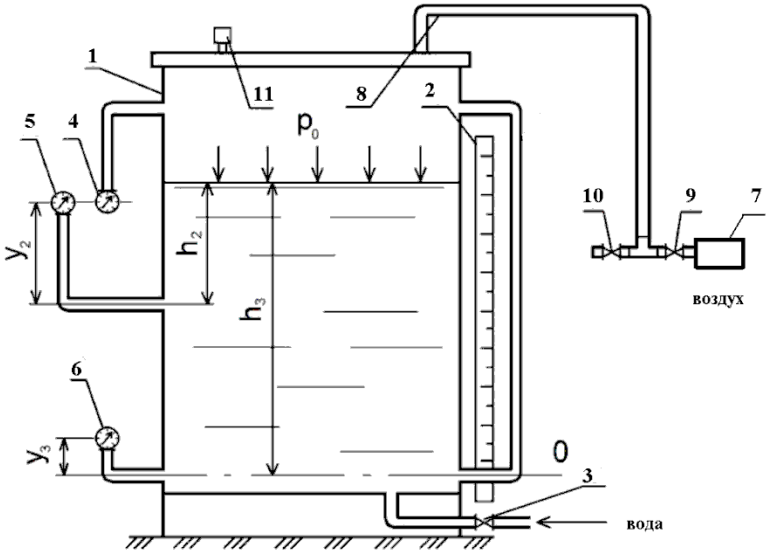


Рис. 1.1 Схема установки

1 – цилиндрический резервуар;
2 – шкаловый пьезомерт (водомерная труба);
3 – вентиль для подачи воды;
4, 5, 6 – манометры
7- компрессор сжатого воздуха
8 – трубопровод для подачи сжатого воздуха;
9 – вентель для подачи сжатого воздуха;
10 – вентель для сброса избыточного давления

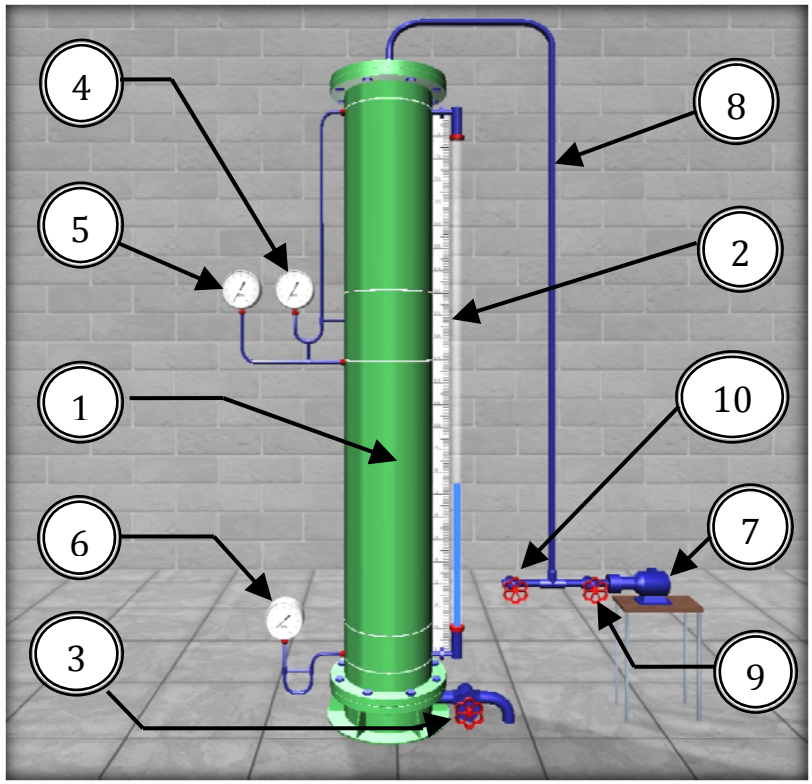


Рис. 1.2 Внешний вид симуляционной установки.

1.3 Порядок выполнения л/р № 1.

Цели лабораторной работы:

1. Определить с помощью пружинных манометров гидростатическое давление в трех точках (1, 2, 3). Если точка 1, находится над свободной поверхностью, то точки 2 и 3 заглубленных на различную величину h под уровень свободной поверхности жидкости и находятся в абсолютном покое под действием силы тяжести.

2. Подтвердить на основании опытных данных основное уравнение гидростатики и закон Паскаля.

3. Построить по данным опытов №1, 2 в масштабе эпюры манометрического давления по глубине h, опираясь на данные о давлениях в точках 1,2,3. В соответствии с общепринятой практикой – заглубление точек откладывается по вертикальной оси, направленной вниз. Давление откладывается на горизонтальной оси. Начальной низшей точкой отсчета становится высота свободной поверхности, тогда координаты 2 и 3 точках становятся величины h_2 и h_3, соответственно (см. рис. 1.1).

Дополнительная информация по управлению виртуальной моделью (см. рис. 1.2).

1. Для наполнения колонны водой откройте вентиль подачи воды (3), щелкнув по нему левой кнопкой мыши.

2. Для прекращения наполнения колонны водой закройте вентиль подачи воды (3), щелкнув по нему левой кнопкой мыши.

3. Для перемещения камеры к основным элементам (манометрам и линейке) щелкните по ним левой кнопкой мыши.

4. Возврат камеры в отдаленное положение осуществляется щелчком правой кнопки мыши.

5. В режиме просмотра линейки используйте клавиши ВВЕРХ и ВНИЗ для перемещения камеры.

6. Для регулирования внешнего давления в колонне используйте соответствующие вентили (9) и (10), щелкая по ним левой кнопкой мыши.

7. Более полную информацию по управлению можно получить в левом верхнем углу экрана, когда камера находится в отдаленном положении, нажимая и удерживая кнопку 1 на клавиатуре.

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

Необходимо выполнить два опыта, обеспечив в первом давлением на поверхности воды $p_0=0$, а во втором некоторое избыточное давление $p_0>0$. Последнее создается подкачкой сжатого воздуха из

компрессора

Опыт №1. Открыть вентиль подачи воды, наполнить установку до отметки свободной поверхности в соответствии с вариантом индивидуального задания (см. табл. 1.1). Измерить с помощью водомерной трубки и шкалы глубины погружения h_2 и h_3 точек 2 и 3, а также превышения y_2 и y_3 осей вращения стрелок манометров M_2 и M_3 над точками их подключения. Затем измерить показания всех трех манометров (M_1, M_2 и M_3). Полученные данные записать в табл. № 1.1.

Таблица 1.1

Варианты исходных заданий.

Номер варианта	Отметка воды (см)	Избыточное давление (кПа)	Номер варианта	Отметка воды (см)	Избыточное давление (кПа)
1	165	5	16	175	10
2	170	10	17	180	15
3	175	15	18	185	20
4	180	20	19	190	25
5	185	25	20	195	30
6	190	30	21	200	35
7	195	35	22	205	40
8	200	40	23	210	45
9	205	45	24	215	50
10	210	50	25	220	55
11	215	55	26	225	60
12	220	60	27	165	65
13	225	65	28	170	70
14	165	70	29	175	5
15	170	5	30	180	10

Опыт №2. Закрыть вентиль для сброса избыточного давления, а вентиль для подачи сжатого воздуха открыть и включить компрессор. Довести p_0 до величины, указанной в варианте задания, после чего компрессор отключить. Далее, измерить показания манометров M_1, M_2 и M_3. Результаты измерений записать в табл. 1.2.

Выполнить все вычисления, предусмотренные табл. 1.2. Дать за-

ключение по результатам работы. Построить по данным опытов № 1 и 2 в масштабе две эпюры манометрического давления действующего на стенку цилиндра в зависимости от глубине h. Пример построения эпюры и опорные данные к ней представлены на рис. 3.3.

Опорные данные для эпюры :

h_0= 0 m p_0=0 кПа
h_2= 0.5 m p_2=5 кПа
h_3= 2.0 m p_3=20 кПа

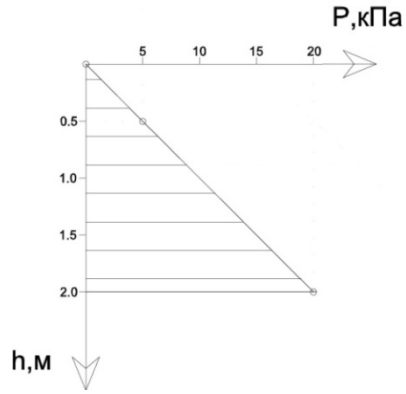


Рис. 1.3 Пример эпюры давления с опорными данными

1.4. Контрольные вопросы к л/р № 1.

1. Что такое гидростатическое давление и каковы его свойства?
2. Поясните, что такое абсолютное и избыточное гидростатическое давление и какова связь между ними ?
3. Объясните, что понимают под терминами «внешнее давление» и «весовое давление» ?
4. Напишите и поясните основное уравнение гидростатики ?
5. Сформулируйте закон Паскаля ?
6. Назовите приборы для измерения избыточного гидростатического давления и поясните принципы их действия ?
7. Поясните, что такое пьезометрическая высота ?
8. В чем состояло принципиальное отличие в условиях проведения первого и второго опытов?
9. Для чего нужно знать превышение оси вращения стрелки пружинного манометра над точкой его подключения?
10. Что такое эпюра гидростатического давления, как ее строят и с какой целью?

Таблица 1.2

Результаты измерений и вычислений

№	Измеряемые и вычисляемые величины		Ед. изм.	Экспер. данные	
				Опыт 1	Опыт 2
1	Показания манометров M_1, M_2, M_3	$p_{M_1} \approx p_0$	Па		
		p_{M_2}	Па		
		p_{M_3}	Па		
2	Избыточное гидростати-ческое давление в точках 1, 2, 3	$p_1 \approx p_{M_1} \approx p_0$	Па		
		$p_2 = p_{M_2} + \rho g y_{m2}$	Па		
		$p_3 = p_{M_3} + \rho g y_{m3}$	Па		
3	Приращение избыточного гидростати-ческого давления	$\Delta p_1 \approx \Delta p_0 = p_{0_2} - p_{0_1}$	Па		
		$\Delta p_2 = p_{2_2} - p_{2_1}$	Па		
		$\Delta p_3 = p_{3_2} - p_{3_1}$	Па		
4	Средняя величина приращения избыточного гидростатического давления	$\Delta p_{av} = \frac{\Delta p_0 + \Delta p_2 + \Delta p_3}{3}$	Па		
5	Относительные расхождения приращений давления в точках 1, 2, 3 со средней величиной	$E_{\Delta p_0} = \frac{(\Delta p_{av} - \Delta p_0)}{\Delta p_{av}} \cdot 100$	%		
		$E_{\Delta p_2} = \frac{(\Delta p_{av} - \Delta p_2)}{\Delta p_{av}} \cdot 100$	%		
		$E_{\Delta p_3} = \frac{(\Delta p_{av} - \Delta p_3)}{\Delta p_{av}} \cdot 100$	%		

Дополнительно к этому измеряются следующие величины:

h_2 = _____ m ; h_3 =_____m; y_{m2} = _____ m; y_{m3} = _____m;

примечание.

p_{01} и p_{02} - давление на свободной поверхности в 1 и 2 опытах.

p_{21} и p_{22} - давление в точке 2 в 1 и 2 опытах.

p_{31} и p_{32} - давление в точке 3 в 1 и 2 опытах.

2. Лабораторная работа № 2. «Изучение относительного покоя жидкости при вращательном движении»

2.1 Описание физического процесса л/р № 2.

В работе рассматривается случай, когда жидкость, находящаяся в открытом цилиндрическом сосуде, вращается вместе с ним с постоянной угловой скоростью ω вокруг его вертикальной оси. Дело в том, что стенки вращающегося цилиндра благодаря силам трения сначала приводят во вращение ближайшие к ним слои жидкости, а затем, вследствие вязкости жидкости, и всю ее массу. Таким образом, через некоторое время все частицы жидкости начинают вращаться с той же угловой скоростью ω, что и стенки, т. е. вся масса жидкости относительно вращающегося цилиндра будет неподвижна (будет находиться в относительном покое).

В этом случае на каждую частицу жидкости действуют две массовые силы: сила тяжести, создающая ускорение g=9,81 м/с^2, и центробежная сила, создающая ускорение $\omega^2 r$. Здесь r – радиус вращения частицы на свободной поверхности; $\omega = \pi n/30$ – угловая скорость вращения сосуда, с$^{-1}$, где n – частота вращения сосуда, об/мин.

Благодаря действию центробежных сил свободная поверхность вращающейся жидкости в цилиндрическом сосуде принимает форму параболоида вращения. Кривая, образующаяся от пересечения этого параболоида с вертикальной плоскостью, представляет собой квадратичную параболу (рис. 2.1).

Для рассматриваемого в работе случая относительного покоя закон распределения гидростатического давления p в жидкости (основное уравнение гидростатики) имеет вид

$$p = p_0 + \rho g\left(H + z_0 - z\right) + \frac{\rho g\left(\omega r\right)^2}{2g} \qquad (2.1)$$

где p_0 – внешнее давление (в нашем случае $p_0 = p_{atm}$; z_o и z – превышения, соответственно, вершины параболоида вращения (точка O') и произвольной точки A вращающейся жидкости на свободной поверхности в плоскости отсчета $x0y$.

Разделив уравнение (2.1) на ρg и перенеся p_0 в левую часть, получим выражение (2.2) для определения заглубления h рассматриваемой точки вращающейся жидкости под свободную поверхность:

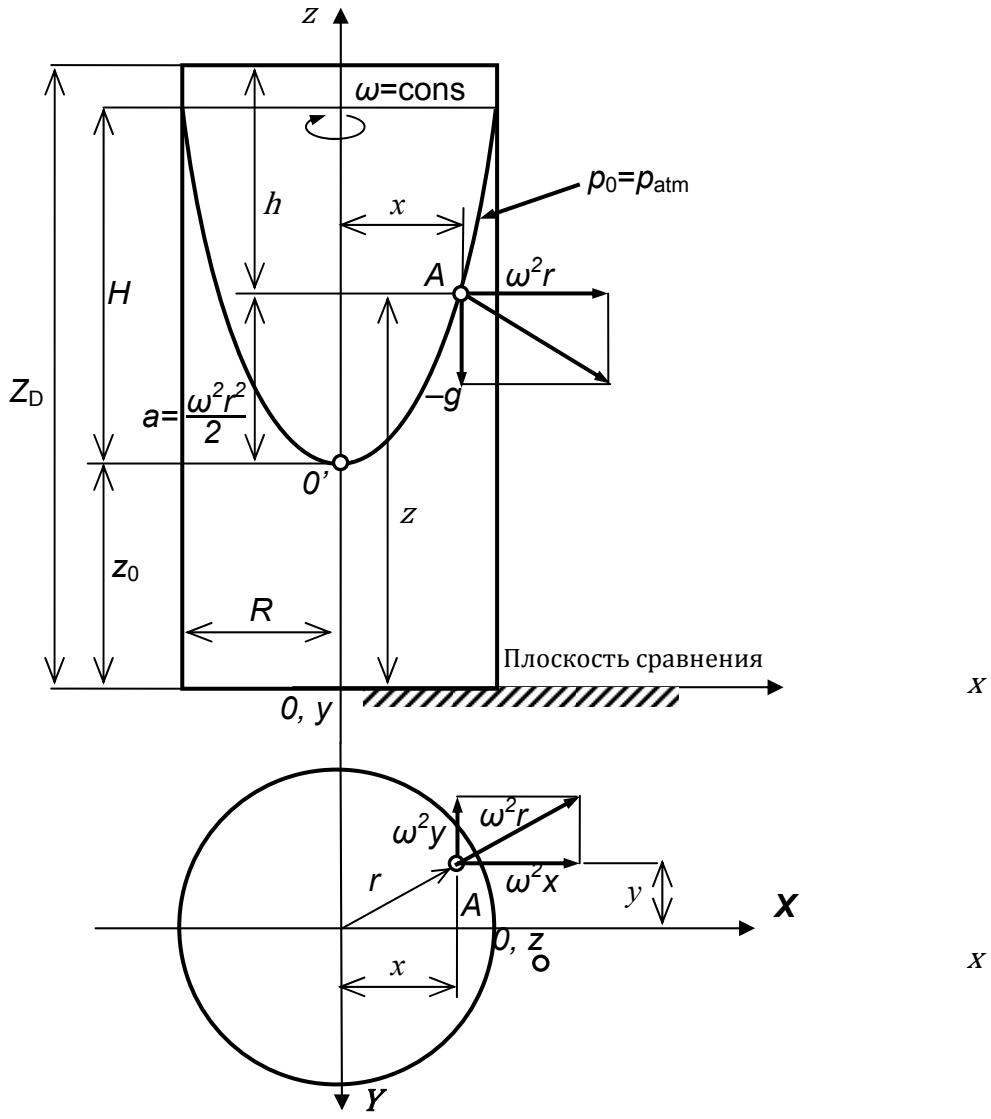


Рисунок 2.1 – К относительному покою жидкости во вращающемся цилиндрическом сосуде

$$\frac{p-p_0}{\rho g}=\left(H+z_0-z\right)+\frac{(\omega r)^2}{2g}=h \qquad (2.2)$$

где $\frac{(\omega r)^2}{2g}=a$ – превышение точки свободной поверхности, расположенной на расстоянии r от оси вращения, над вершиной O' параболоида вращения.

С учетом выражений для h и a закон распределения гидростатического давления во вращающейся жидкости (2.1) принимает такой же вид, как и для случая абсолютного покоя, а именно:

$$p=p_0+\rho g\left(H+z_0-z\right)=p_0+\rho g h \qquad (2.3)$$

Уравнение свободной поверхности вращающейся жидкости, полученное из уравнения (2.2), при $p=p_0=p_{atm}$ имеет вид

$$z=z_0+\frac{(\omega r)^2}{2g} \qquad (2.4)$$

При $r=R$ (здесь R – внутренний радиус цилиндра) из уравнения (2.4) получаем выражение для определения высоты H параболоида вращения:

$$H=\frac{(\omega R)^2}{2g} \qquad (2.5)$$

Зависимость (2.4) лежит в основе работы жидкостных тахометров – приборов для измерения числа оборотов вала различных машин. А само явление относительного равновесия жидкости во вращающемся цилиндре используется, например, при центробежном литье труб.

2.2. Описание лабораторной установки № 2.

Схема установки для изучения относительного покоя жидкости, представлена на рис. 2.2. Симуляционная модель лабораторной установки (рис. 2.3) включает открытый вертикальный цилиндрический сосуд с водой (1), установленный на вращающуюся платформу (2). Платформа соединена с помощью вала (3) с электродвигателем в нижней части установки.

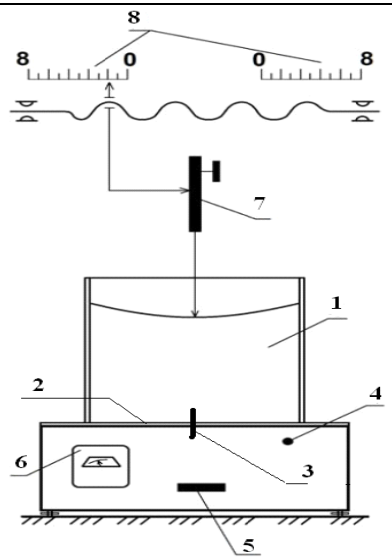


Рис. 2.2 Схема экспериментальной установки.
1 – цилиндрический сосуд;
2 – вращающаяся платформа;
3 – вал электродвигателя ;
4 – тумблер вкл/выкл установки;
5 – регулятор скорости;
6 – индикатор тахометра;
7 – шпицен масштаб;
8 – горизонтальная линейка;
9 – игла шпицен масштаба.

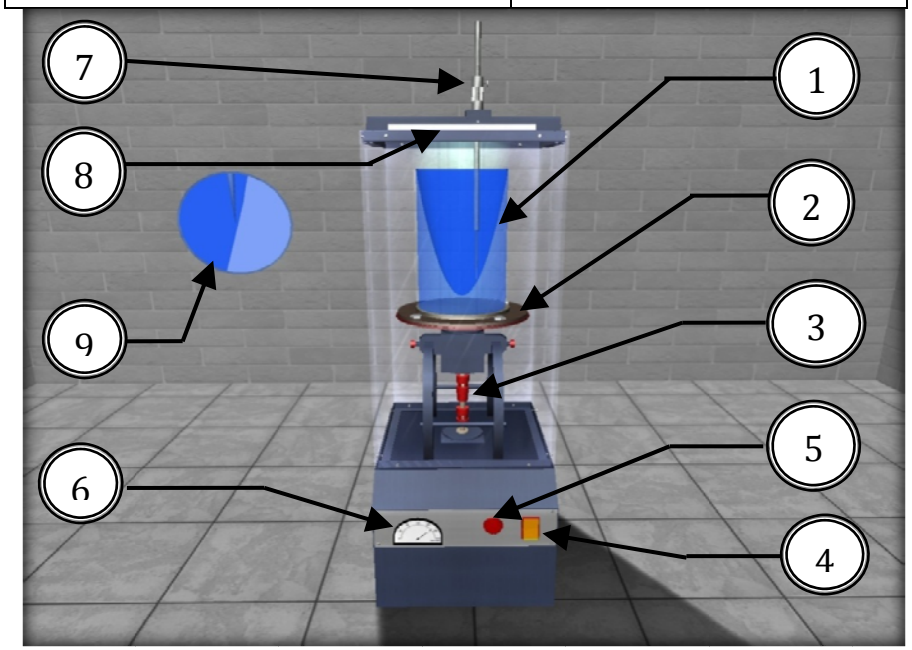


Рис. 2.3. Симуляционная модель лабораторной установки.

Электродвигатель включается с помощью тумблера (4). Регулятор (5) позволяет изменять скорость вращения платформы. Текущие обороты вала отслеживаются с помощью тахометра (6). Для определения координат x и z точек свободной поверхности вращающейся жидкости установка снабжена горизонтальной линейкой (8) и вертикальной мерной иглой (7), являющейся уровнемером, позволяющей точно фиксировать высотное положение точек свободной поверхности. Касание иглы и свободной поверхности жидкости отслеживается с помощью увеличенной области на экране (9).

2.3. Порядок выполнения л/р № 2.

Цели лабораторной работы:

1. Пронаблюдать процесс установления равновесия воды в открытом цилиндре, вращающемся с постоянной угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, обратив при этом особое внимание на характер свободной поверхности; измерить координаты x и z пяти ее точек, расположенных от оси вращения на расстояниях x, равных $1{,}00R$; $0{,}75R$; $0{,}50R$; $0{,}25R$ и $0{,}00R$, радиуса цилиндра.
2. Измерить на установке высоту параболоида вращения H_{exp}, сравнить ее с теоретической H, вычисленной по формуле (2.5), и определить относительное отклонение.
3. Построить по опытным данным в масштабе параболоид вращения и две эпюры манометрического давления (по глубине жидкости, на расстоянии R от оси вращения и по дну цилиндра).

Дополнительная информация по управлению виртуальной моделью (см. рис. 2.3).

1. Для включения/выключения питания – щелкните левой / правой кнопкой мыши по выключателю питания (4).
2. После включения питания задайте частоту вращения по тахометру (6) с помощью регулятора на панели управления (5) (увеличение частоты вращения – левая кнопка мыши; уменьшение – правая кнопка мыши).
3. Перемещение камеры осуществляется движением мыши с нажатой левой клавишей мыши.
4. Для перемещения камеры к мерным шкалам щелкните по ним левой кнопкой мыши.
5. Плавное перемещение шпиценмасштаба осуществляется ком-

бинацией клавиш: Shift + клавиши со стрелками.

6. Для ускоренного перемещения шпицензмасштаба перемещайте мышь при нажатом колесе мыши (средней клавиши мыши).

7. Возврат камеры в каждое предыдущее положение осуществляется щелчком правой кнопкой мыши.

Таблица № 2.1

Варианты исходных данных

Номер варианта	Скорость вращения	Номер варианта	Скорость вращения	Номер варианта	Скорость вращения
1	75	11	125	21	175
2	80	12	130	22	180
3	85	13	135	23	185
4	90	14	140	24	190
5	95	15	145	25	195
6	100	16	150	26	200
7	105	17	155	27	205
8	110	18	160	28	210
9	115	19	165	29	215
10	120	20	170	30	220

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

1. Измерить мерной иглой (7) координату заглубления z_D дна цилиндра.

2. Включить электродвигатель выключателем (4), наблюдать за вращающейся жидкостью и, убедившись, что параболоид вращения принял устойчивое положение, измерить тахометром (6) число оборотов в минуту n вращения цилиндра. С помощью горизонтальной линейки и мерной иглы – координаты x и z пяти точек свободной поверхности вращающейся жидкости.

3.Скорость вращения цилиндра принимается по таблице № 2.1 в зависимости от номера варианта, заданного преподавателем. Для ее задания используется регулятор (5).

4. Результаты измерений записать в таблицу № 2.2, после чего выключить электродвигатель (4). Выполнить все вычисления, предусмотренные таблицей 2.2 и 2.3. Данные для 2 и 4 столбца таблицы № 2.3 берутся из таблицы № 2.2, а давление рассчитывается по формуле (2.1), для удобства преобразованную к следующему виду :

$$p = p_0 + \rho g\left(H + z_0 - z\right) + \rho\frac{(\omega r)^2}{2} \qquad (2.6)$$

Таблица 2.2

Результаты измерений и вычислений

№	Измеряемые и рассчитываемые величины		Ед. изм.	Экспериментальные результаты		
1	Внутренний радиус цилиндра R		м			
2	Скорость вращения цилиндра n		об/мин			
3	Угловая скорость вращения цилиндра $\omega = \pi n/30$		1/с			
4	Координата дна цилиндра (z_D)		м			
5	Превышение вершины параболоида вращения над отметкой дна цилиндра $Z_0 = Z(x=0)$		м			
6	Высота параболоида вращения (теоретическая) $H=(\omega R)^2/2g$		м			
	Точки на поверхности жидкости	$x_1=1{,}00R$; h_1; $z_1=z_D-h_1$	м			
		$x_2=0{,}75R$; h_2; $z_2=z_D-h_2$	м			
		$x_3=0{,}50R$; h_3; $z_3=z_D-h_3$	м			
		$x_4=0{,}25R$; h_4; $z_4=z_D-h_4$	м			
		$x_5=0{,}00R$; h_5; $z_5=z_D-h_5$	м			
8	Высота параболоида вращения (экспериментальная) $H_{exp} = z_5 - z_1$		м			
9	Относительное отклонения высоты параболоида вращения $E_H = \frac{\lvert H - H_{exp}\rvert}{H}\cdot 100$		%			

5. По данным таблиц 2.2, 2.3 построить в масштабе на миллиметровке 3 графика : параболоид вращения; эпюру манометрического давления воды по радиусу на дне цилиндра; эпюру манометрического давления воды по всей высоте стенки цилиндра, т. е. на расстоя-

нии *R* от оси вращения.

6. Дать заключения по лабораторной работе.

Таблица 2.3

Результаты вычисления для построения эпюры.

№ точки	*X* *(z=0)*	Давление *P*, кПа	*Z* *(x=R)*	Давление *P*, кПа
1	2	3	4	5
	давление на дно		давление на стенку	
1	$x_{1=}$		$z_{1=}$	
2	$x_{2=}$		$z_{2=}$	
3	$x_{3=}$		$z_{3=}$	
4	$x_{4=}$		$z_{4=}$	
5	$x_{5=}$		$z_{5=}$	
			$z_{6}=0$	

4.4. Контрольные вопросы к л/р № 2.

1. Поясните, что такое относительный покой жидкости, и приведите примеры использования этого явления в технике ?

2. Поясните, что представляет собой свободная поверхность жидкости во вращающемся цилиндрическом сосуде, напишите уравнение этой поверхности ?

3. Назовите силы, действующие на каждую частицу жидкости во вращающемся цилиндрическом сосуде, укажите ускорения, вызываемые этими силами. Поясните ответ схемой ?

4. Напишите и поясните закон распределения гидростатического давления по глубине жидкости во вращающемся резервуаре ?

5. Напишите и поясните формулу для определения высоты параболоида вращения ?

6. Изобразите и прокомментируйте эпюру гидростатического давления по дну вращающегося цилиндра с жидкостью ?

7. Напишите и поясните закон распределения гидростатического давления по дну цилиндра в жидкости, вращающейся вместе с сосудом вокруг вертикальной оси ?

8. Какие силы действуют на жидкость, находящуюся во вращающемся сосуде, как выражаются эти силы ?

9. Объясните, как будет направлен вектор равнодействующей силы на каждую частицу вращающейся жидкости по отношению к свободной поверхности ?

10. Объясните, почему свободная поверхность жидкости во вращающемся цилиндрическом сосуде является криволинейной ?

3. Лабораторная работа № 3. ««Определение опытным путем слагаемых уравнения Д. Бернулли при установившемся неравномерном движении жидкости»

3.1 Описание физического процесса л/р № 3.

В работе рассматривается процесс движения жидкости. Для двух произвольно выбранных живых сечений *I–I* и *II–II* струйки реальной жидкости при установившемся движении (рис. 3.1), уравнение Д. Бернулли имеет вид

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\upsilon_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\upsilon_2^2}{2g} + h_{W_{1-2}} \qquad (3.1)$$

Слагаемые, входящие в уравнение (3.1) , можно истолковать с геометрической и энергетической точек зрения. С геометрической точки зрения слагаемые уравнения (3.1) являются высотами (напорами):

z – геометрическая высота (напор), т. е. превышение центра тяжести рассматриваемого поперечного сечения струйки над плоскостью сравнения 0–0, выбираемой произвольно;

$\frac{p}{\rho g}$ – пьезометрическая высота (напор), т. е. высота подъема жидкости в пьезометре, подключенном к центру тяжести рассматриваемого сечения струйки, отвечающая гидродинамическому давлению p в этой точке;

$\frac{\upsilon^2}{2g}$ – скоростная высота (напор), отвечающая местной скорости υ, т. е. скорости в центре тяжести сечения;

$z + \frac{p}{\rho g}$ – гидростатический напор;

$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\upsilon^2}{2g} = H$ – полный напор в рассматриваемом сечении струйки;

$h_{W_{1-2}} = H_1 - H_2$ – потеря полного напора, т. е. часть полного напора, затраченная на преодоление гидравлических сопротивлений на

пути между сечениями *I–I* и *II–II*.

С энергетической точки зрения слагаемые уравнения (3.1) представляют собой разновидности удельной энергии, а именно:

z – удельная потенциальная энергия положения жидкости в рассматриваемом сечении струйки;

$\frac{p}{\rho g}$ – удельная потенциальная энергия давления;

$z + \frac{p}{\rho g}$ – удельная потенциальная энергия жидкости;

$\frac{\upsilon^2}{2g}$ – удельная кинетическая энергия движения жидкости;

$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\upsilon^2}{2g}$ – полная удельная энергия жидкости;

$h_{W_{1-2}}$ – потеря полной удельной энергии струйки, т. е. части ее, затраченной на преодоление работы сил внутреннего трения, обусловленного вязкостью жидкости.

Удельной энергией называется энергия, приходящаяся на единицу веса жидкости.

Величины слагаемых уравнения (3.1) могут быть определены опытным путем следующим образом:

z – геометрическим нивелированием или измерением линейкой;

$\frac{p}{\rho g}$ – с помощью пьезометрической трубки (пьезометра);

$\frac{\upsilon^2}{2g}$ – по разности отметок уровней жидкости в скоростной и пьезометрической трубках, подключенных к рассматриваемой точке живого сечения струйки;

$h_{W_{1-2}}$ – по разности отметок уровней воды в скоростных трубках, подключенных к сечениям *I–I* и *II–II* струйки реальной жидкости.

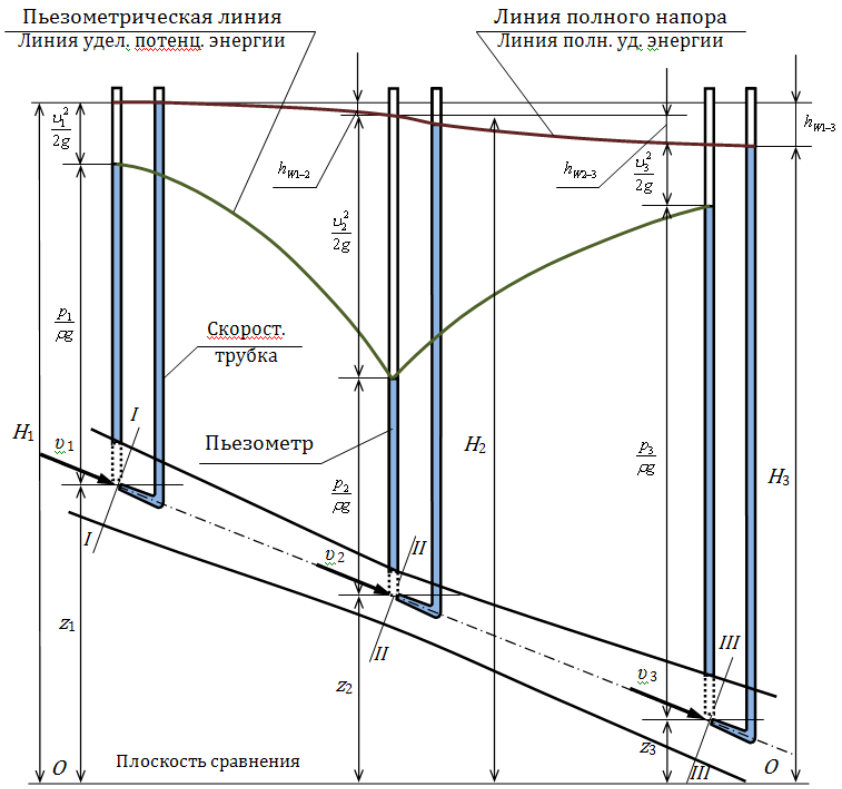


Рис. 3.1 – Диаграмма уравнения Д. Бернулли для струйки реальной жидкости.

Скоростная трубка или трубка Пито (рис. 3.2) представляет собой трубку, верхний конец которой открыт в атмосферу, а нижний изогнут навстречу скорости υ в рассматриваемой точке потока жидкости. Благодаря этому, у входа в изогнутый конец скоростной трубки кинетическая энергия частицы жидкости преобразуется в потенциальную энергию давления столба жидкости $h_\upsilon = \dfrac{\upsilon^2}{2g}$.

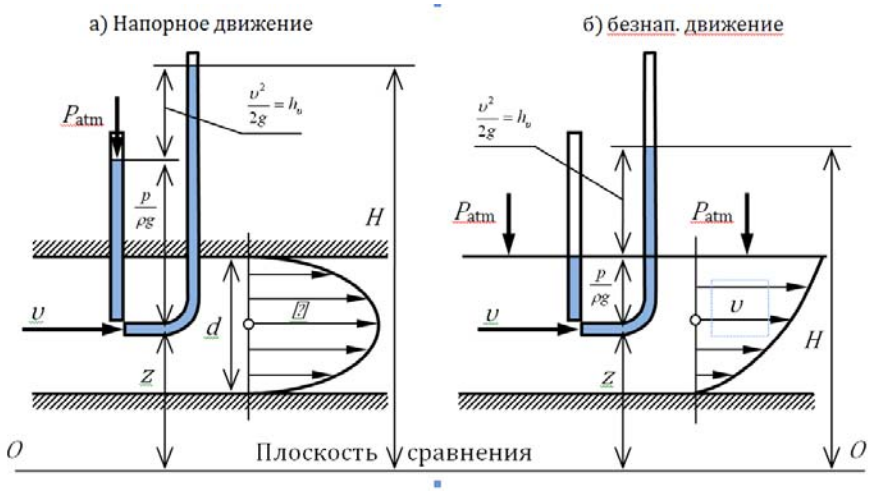


Рис. 3.2 – К измерению скоростного напора $\upsilon^2/2g$

Поскольку срез нижнего конца скоростной трубки перпендикулярен вектору скорости, а срез нижнего конца пьезометра параллелен, уровень жидкости в скоростной трубке всегда устанавливается выше, чем в пьезометре, на величину $h_\upsilon = \dfrac{\upsilon^2}{2g}$.

Прибор, объединяющий конструктивно пьезометрическую и скоростную трубки , называется прибором (трубкой) Пито–Прандтля и широко применяется для измерения местной скорости движения жидкости: $\upsilon = \sqrt{2gh_\upsilon}$.

Для двух сечений потока реальной жидкости уравнение Д. Бернулли имеет вид

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g} + h_{W_{1-2}}\,, \qquad (3.2)$$

где $\dfrac{\alpha\upsilon^2}{2g}$ – скоростной напор, отвечающий средней скорости $\upsilon = \dfrac{Q}{S}$ потока жидкости в рассматриваемом живом сечении (здесь Q – расход потока жидкости; S – площадь живого сечения потока);

$h_{W_{1-2}}$ – потеря полного напора (полной удельной энергии) на преодоление работы сил внутреннего и внешнего трения на пути между живыми сечениями потока жидкости *I–I* и *II–II*; α – коэффициент Кориолиса (корректив кинетической энергии), учитывающий неравномерность распределения местных скоростей υ по живому сечению потока, обусловленную вязкостью жидкости.

Величина α зависит от режима течения жидкости и вида движения. Так, при равномерном движении для ламинарного режима $\alpha = 2$, а для турбулентного – $\alpha = 1.05...1.15$.

Слагаемые уравнений (3.1) и (3.2) в различных живых сечениях можно изображать графически в виде диаграммы уравнения Д. Бернулли, дающей наглядное представление о перераспределении по пути движения жидкости потенциальной и кинетической энергии, а также о характере убывания полной энергии (см. рис. 3.1).

3.2. Описание лабораторной установки № 3.

Схема лабораторной установки представлена на рис. 3.3. Симуляционная модель лабораторной установки (рисунок 3.4) включает трубопровод переменного сечения (1), напорный бак (2), в который вода подается через подводящий трубопровод путем открытия крана (3). Напорный бак с трубой (10) оснащен переливным устройством (8) для поддержания постоянного уровня воды с целью обеспечения постоянного расхода жидкости в трубопроводе переменного сечения (1). Пьезометры и скоростные трубки (4) подключены к сечениям *I–I* и *II–II* трубопровода переменного сечения для измерения величин $z + \frac{p}{\rho g}$ и $z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\upsilon^2}{2g}$. Измерительные пьезометрические трубки закреплены на специальном стенде (5). Величина расхода воды в трубопроводе переменного сечения регулируется клапаном (6). Для замера расхода воды в системе предусмотрены мерный бак (7), переливное устройство (8), пьезометрическая трубка со шкалой (9) и секундомер (11).

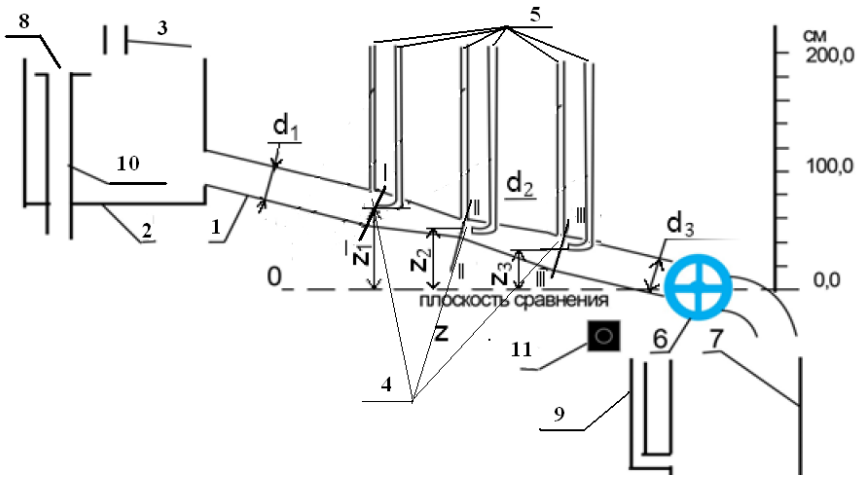


Рис.3.3 – Схема лабораторной установки

1 - трубопровод; 2 - напорный бак; 3 - питающий трубопровод; 4 – точки замеров по пьезометрам и трубкам Пито ; 5– стендовые пьезометрические трубки; 6 – вентиль; 7 – мерный бак; 8 – анти переливное устройство; 9 – переливное устройство; 10 – питающий трубопровод; 11 - секундомер

3.3 Порядок выполнения л/р № 3.

Цели лабораторной работы:

1. Определить опытным путем и методом вычислений слагаемые z, $\frac{p}{\rho g}$, $\frac{\upsilon^2}{2g}$ уравнения Д. Бернулли для сечений *I–I*, *II–II* и сечения *III–III* соответственно, а также потери полного напора $h_{W_{1-3}}$ между сечениями *I–I* и *III–III*.

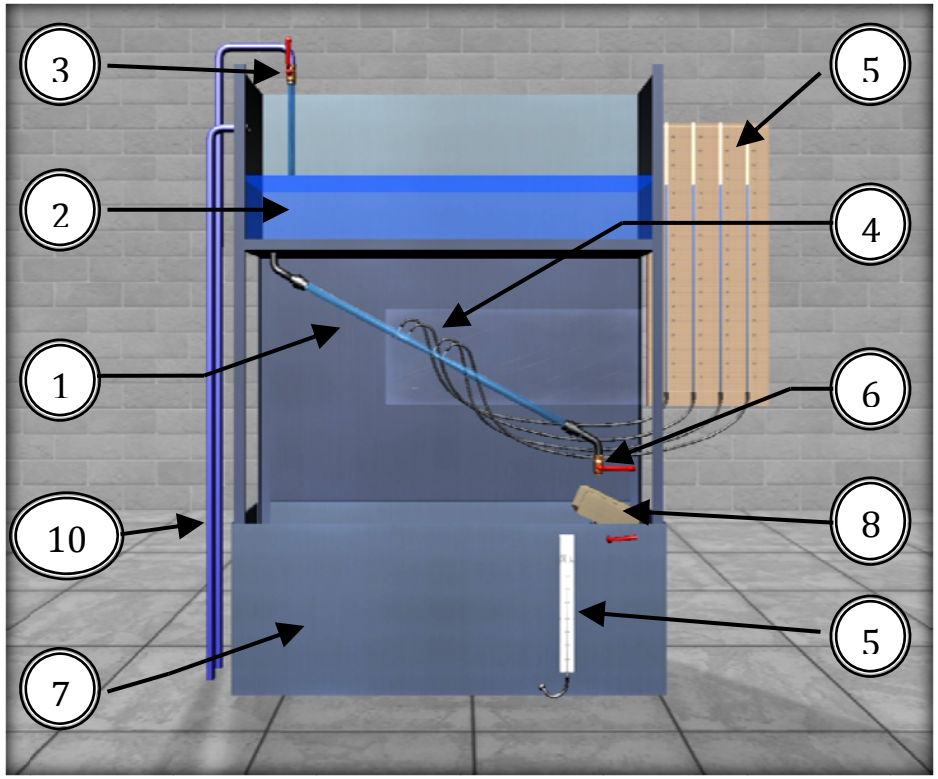


Рис.3.4 – Внешний вид симуляционной лабораторной установки

2. Вычислить средние скорости потока υ и отвечающие им скоростные напоры $\frac{\upsilon^2}{2g}$ для указанных живых сечений потока.

3. Построить в масштабе по опытным данным пьезометрическую линию и линию полного напора.

Дополнительная информация по управлению виртуальной моделью (см. рис. 3.4)

1. Для наполнения установки водой откройте кран подачи воды (3), щелкнув по нему левой кнопкой мыши.

2. Кран расхода (6) регулируется кнопками мыши.

3. Перемещение камеры к трубке – щелчок по левой кнопке.

4.Перемещение камеры осуществляется клавишами со стрелками и наведением мыши к краям экрана.

5. Для перемещения камеры к пьезометрам щелкните по ним левой кнопкой мыши. При работе с пьезометрами можно перемещать камеру вертикально с помощью клавиш со стрелками и мыши.

6. Для замера расхода щелкните по переливу воды (8).

7. Для замера расхода щелкните левой кнопкой мыши по появившемуся на экране секундомеру (11).

8. Возврат камеры в каждое предыдущее положение осуществляется щелчком правой кнопки мыши.

9. Более полную информацию по управлению можно получить в левом верхнем углу экрана, когда камера находится в отдаленном положении, нажав и удерживая кнопку 1 или 2 на клавиатуре.

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

1. При закрытом регулировочном вентиле (6) открыть питающий вентиль (3) для заполнения напорного бака и трубопровода (1) переменного сечения водой. При этом следует обратить внимание на уровни воды в пьезометрических и скоростных трубках (5). Эти уровни при отсутствии воздуха должны быть на одной отметке.

2. Открыть регулировочный вентиль (6) так, чтобы трубопровод переменного сечения работал полным сечением, а уровень воды в напорном баке был постоянным.

3. Измерить с помощью мерного бака (7) и секундомера (11) расход воды. Другие геометрические параметры были определены ранее. Геометрические высоты центров тяжести сечений *I–I*, *II–II* и *III–III* относительно плоскости сравнения 0–0, составляют: z_1= 70 см, z_2 = 50 см, z_3 = 30см. Диаметры труб d_1= 2.8 см, d_2 = 1.8 см, d_3 = 2.8 см. Расстояния между сечениями 1 – 2 и 2 – 3, равны 12.5 см.

4. Определить по шкалам отметки уровней воды в пьезометрах и скоростных трубках в сечениях *I–I* и *II–II*. Результаты всех измерений записать в табл. 3.1.

5. Выполнить все вычисления, предусмотренные табл. 3.1.

Для сечения *III–III*, числовые значения величин (см. поз. 5 и 11…15) принять аналогичными сечению *I–I*.

Потери полного напора $h_{W_{2-3}}$ (см. поз. 6) между сечениями *II–II* и *III–III* принять равными потерям напора $h_{W_{1-2}}$.

Таблица 3.1.

Результаты измерений и вычислений

№	Измеряемые и вычисляемые величины		Ед. изм.	Экспериментальные данные		
				I–I	*II–II*	*III–III*
1	Геометрические высоты центров тяжести сечений z		м			
2	Отметки уровней воды в пьезометрах, т. е. гидростатические напоры	$z+\frac{p}{\rho g}$	м			
3	Уровни в скор. трубках, (полные	$z+\frac{p}{\rho g}+\frac{\upsilon^2}{2g}$	м			
4	Пьезометрические высоты	$\left(z+\frac{p}{\rho g}\right)-z$	м			
5	Скоростные высоты	$\frac{\upsilon^2}{2g}=H-\left(z+\frac{p}{\rho g}\right)$	м			
6	Потери полного напора на пути между соседними живыми сечениями струйками $h_{w_{i-(i+1)}}=H_i-H_{i+1}$		м			
7	Суммарные потери полного напора $h_{w_{I-III}}=H_I-H_{III}$		м			
8	Объем воды в мерном баке W		м^3			
9	Продолжит. наполнения объема в		с			
10	Расход воды в трубопроводе		м^3/			
11	Диаметр сечения d		м	0.028	0.019	0.028
12	Площадь сечения $S=\pi d^2/4$		м^2			
13	Средняя скорость движения воды		м/			
14	Скоростная высота, отвечающая средней скорости $\upsilon^2/2g$		м			
15	Относительное отклонение скоростных высот $\frac{\upsilon^2-v^2}{v^2}\cdot 100$		%			

Остальные величины для сечения *III–III* (см. поз. 1...4) следует определить с привлечением уравнения Д. Бернулли (3.1) и рис. 3.1.

6. Построить по полученным данным, в масштабе, диаграмму Бернулли, которая включает в себя линию полного напора и пьезометрическую линию (см. рис. 3.1).

7. Дать заключение по результатам работы.

3.4. Контрольные вопросы к л/р № 3.

1. Поясните геометрический смысл слагаемых уравнения Д. Бернулли ?

2. Поясните энергетический смысл слагаемых уравнения Д.Бернулли. ?

3. Как называется коэффициент α, входящий в уравнение Д. Бернулли для потока реальной жидкости, что он учитывает, от чего зависит его величина и каков его физический смысл?

4. Объясните, чем обусловлены потери полного напора и каков их энергетический смысл ?

5. Поясните, что понимают под термином «удельная энергия»?

6. Объясните термины «местная скорость» и «средняя скорость» и укажите, как определяют эти скорости.?

7. Поясните, что такое скоростная трубка и трубка Пито – Прандтля.?

8. Поясните, что такое линия полного напора и пьезометрическая линия; что будут представлять собой эти линии при равномерном движении реальной жидкости ?

9. Что понимают под термином «живое сечение потока жидкости»?

10. Охарактеризуйте движение жидкости на пути между сечениями *I–I* …*II–II*, исходя из классификации движений жидкости ?

4, Лабораторная работа № 4. Экспериментальная иллюстрация ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости, установление законов гидравлического сопротивления и определение критического числа Рейнольдса.

4.1 Описание физического процесса л/р № 4.

Многочисленными экспериментальными исследованиями установлено, что движение жидкости может происходить или при ламинарном, или при турбулентном режиме.

Ламинарный режим наблюдается при небольших скоростях движения. При этом окрашенные струйки жидкости не перемешиваются, сохраняя траекторию своего движения по всей длине потока, т. е. движение жидкости при ламинарном режиме является струйчатым, перемешивание частиц жидкости отсутствует.

Турбулентный режим наблюдается при значительных скоростях и характеризуется интенсивным перемешиванием частиц жидкости, что обусловливает пульсацию скоростей и давления.

Средняя скорость потока, при которой происходит смена режима движения жидкости, называется критической υ_{cr}. Величина ее, как показывают опыты в трубопроводах круглого сечения, зависит от рода жидкости, характеризуемого динамической вязкостью μ и плотностью ρ , а также от диаметра трубопровода *d*. Одновременно опытами установлено, что величина безразмерного алгебраического комплекса, называемого критическим числом Рейнольдса, отвечающего критической скорости υ_{cr}:

$$\text{Re}_{\text{cr}(d)} = \frac{\upsilon_{\text{cr}}\rho d}{\mu} = \frac{\upsilon_{\text{cr}} d}{\nu} \approx 2320 = const \qquad (4.1)$$

Устойчивый ламинарный режим движения жидкости наблюдается при значениях числа Рейнольдса $\text{Re}_{(d)} = \frac{\upsilon d}{\nu} < \text{Re}_{\text{cr}(d)} \approx 2320$, а турбулентный – при $\text{Re}_{(d)} = \frac{\upsilon d}{\nu} > \text{Re}_{\text{cr}(d)} \approx 2320$.

Таким образом, число Рейнольдса

$$\text{Re}_{(d)} = \frac{\upsilon d}{\nu} , \qquad (4.2)$$

является критерием, позволяющим судить о режиме движения жидкости в круглой трубе, работающей полным сечением.

Величину $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, имеющую размерность [м^2/с], входящую в формулы (4.1) и (4.2), называют кинематическим коэффициентом вязкости жидкости.

Из изложенного следует, что для определения режима напорного движения жидкости в круглом трубопроводе достаточно вычислить по формуле (4.2) число Рейнольдса и сравнить его с критическим.

Знание режима движения жидкости необходимо для правильной оценки потерь напора при гидравлических расчетах. Как показывают опыты в круглых трубах при напорном равномерном движении (результаты их представлены на рис. 4.1 в виде графика зависимости потерь напора по длине h_l от средней скорости υ), при ламинарном режиме потери напора h_l пропорциональны средней скорости υ в первой степени, а при турбулентном – в степени $1.75 \le m \le 2$. Заметим, что с помощью этого графика определяют величину критической скорости υ_{cr}, а через нее – и критическое число Рейнольдса по формуле (4.1).

4.2. Описание лабораторной установки № 4.

Схема лабораторной установки установки представлена на рис. 4.2. Симуляционная модель лабораторной установки (рис. 4.3) включает горизонтально расположенную стеклянную трубку (1), предназначенную для исследования движения воды в различных режимах (диаметр трубки 10 мм), напорный бак (2), емкость с раствором красителя (3), подача которого осуществляется в стеклянную трубку. Лабораторный стенд также включает мерный бак и секундомер для измерения расхода воды в стеклянной трубке. Значение расхода воды измеряется в месте слива воды в правой части установки (4).

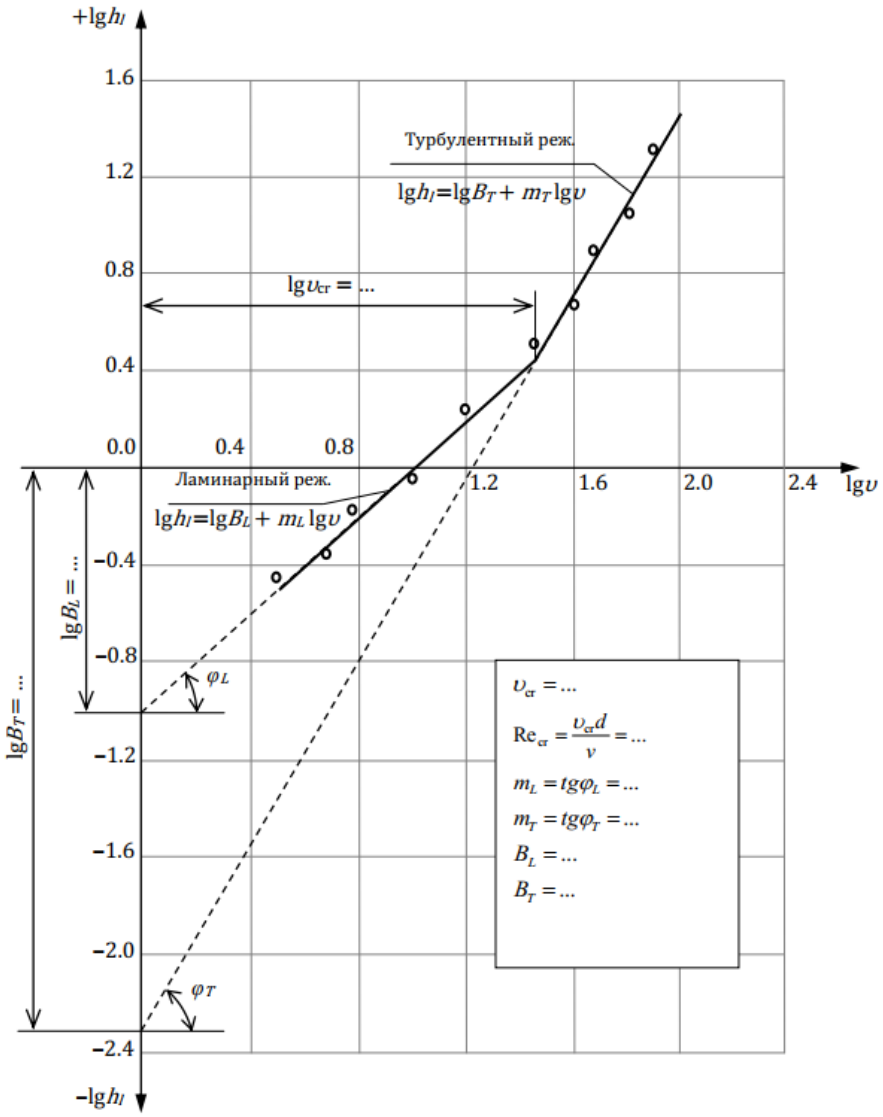


Рисунок 4.1 – График зависимости потери напора по длине h_l от средней скорости υ в логарифмической форме

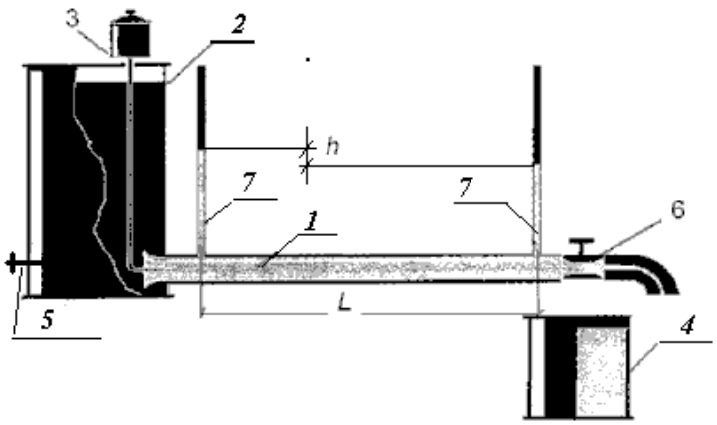


Рисунок 4.2 – Схема лабораторной установки.

1 – стеклянная трубка; 2 – напорный бак; 3 – водный краситель; 4 – мерная емкость; 5 – вентиль открытия воды; 6 - регулирующий кран; 7 – пьезометры.

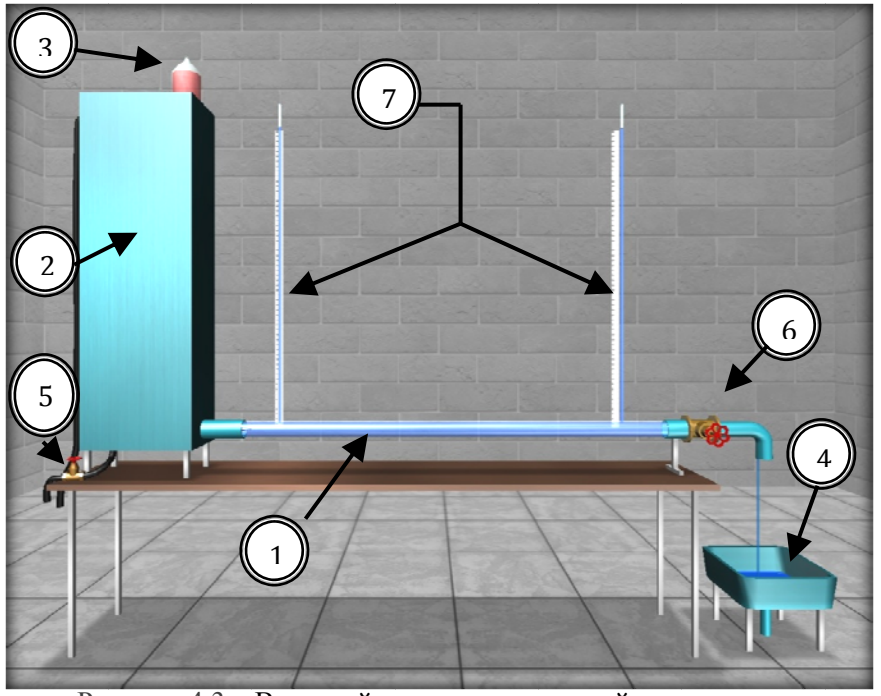


Рисунок 4.3 – Внешний вид симуляционной установки.

Вода подается в напорный бак по подающему трубопроводу путем открытия вентиля (5). Напорный бак оснащен переливным устройством для поддержания постоянного уровня воды во время экспериментов.

Изменение расхода воды, следовательно, и средней скорости ее движения в стеклянной трубе, осуществляется регулирующим вентилем (6). На стеклянной трубке установлены пьезометры (7) для определения потерь напора по длине h_l (по разности их показаний).

4.3. Порядок выполнения л/р № 4.

Цели лабораторной работы:

1. Убедиться на опыте путем окрашивания струйки воды в стеклянной трубе в существовании ламинарного и турбулентного режимов.

2. Вычислить по данным опытов, проведенных на этой трубе, числа Рейнольдса при ламинарном и турбулентном режимах, сравнить их с критическим, убедиться, что при ламинарном режиме $\mathrm{Re} < \mathrm{Re}_{\mathrm{cr}}$, а при турбулентном $\mathrm{Re} > \mathrm{Re}_{\mathrm{cr}}$.

3. Построить по опытным данным график $\lg h_l = f(\lg \upsilon)$, определить с его помощью критическую скорость υ_{cr}, а через нее вычислить критическое число Рейнольдса $\mathrm{Re}_{\mathrm{cr}(d)} = \dfrac{\upsilon_{\mathrm{cr}} d}{\nu}$.

4. Подтвердить с помощью графика $\lg h_l = f(\lg \upsilon)$, что при ламинарном режиме потери напора по длине h_l пропорциональны средней скорости в первой степени, а при турбулентном − в степени $1.75 \le m \le 2$.

Дополнительная информация по управлению виртуальной моделью

1. Для наполнения установки водой откройте вентиль подачи воды (5), щелкнув по нему левой кнопкой мыши.

2. Вентиль изменения расхода (6) регулируется левой и правой кнопками мыши.

3. Подача красителя осуществляется при открытии краника (3) щелчком по нему левой кнопкой мыши.

4. Перемещение камеры осуществляется клавишами со стрелками и наведением мыши к краям экрана.

5. Для перемещения камеры к пьезометрам (7) щелкните по ним левой кнопкой мыши. В режиме работы с пьезометрами можно перемещать камеру вертикально с помощью клавиш со стрелками и мыши.

6. Для перехода к замеру расхода щелкните по изогнутому участку трубопровода (1) (справа от вентиля изменения расхода (6)).

7. Для замера расхода щелкните левой кнопкой мыши по появившемуся на экране секундомеру.

8. Возврат камеры в каждое предыдущее положение осуществляется щелчком правой кнопки мыши.

9. Более полную информацию по управлению можно получить в левом верхнем углу экрана, когда камера находится в отдаленном положении, нажав и удерживая кнопку 1 или 2 на клавиатуре.

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

1. Открыть подающий вентиль (5) на питающем трубопроводе и наполнить водой напорный бак настолько, чтобы работало переливное устройство.

2. Открыть незначительно регулирующий вентиль на стеклянной трубке (6) , чтобы скорость движения воды в ней была небольшой (вода должна течь тонкой струйкой).

3. Приоткрыть краник на емкости с красителем (3) и направить в стеклянную трубку небольшое количество раствора красителя, чтобы окрашенная струйка воды представляла собой отчетливо выраженную нить по всей длине трубы.

4. Измерить с помощью мерной емкости (4) и секундомера расход воды Q в трубе.

5. Измерить температуру воды в напорном баке термометром.

6. Результаты измерений записать в табл. 4.2.

7. Увеличить открытием регулирующего вентиля скорость движения воды в стеклянной трубе, но так, чтобы окрашенная струйка жидкости сохранялась, т. е. чтобы режим остался ламинарным и, выполнив те же измерения, что и в первом опыте, записать их результаты в табл. 6.1.

8. Дальнейшим увеличением открытия регулирующего вентиля

создать в стеклянной трубке турбулентный режим (об этом будет свидетельствовать интенсивное перемешивание раствора красителя с водой) и выполнить третий и четвертый опыты так, как описано выше. Результаты измерений записать в табл. 4.1.

9. Для заполнения табл. 6=4.2 сделать десять аналогичных опытов, увеличивая в каждом опыте открытие регулирующего вентиля в диапазоне от 0 до 100% так, чтобы 4–5 замеров были выполнены в ламинарном режиме, а 5–6 – в турбулентном. Результаты измерений записать в табл. 6=4.2.

10. Выполнить вычисления, предусмотренные табл. 4.1 и 4.2.

11. Построить в масштабе по данным табл. 4.2 график $\lg h_l = f(\lg \upsilon_{cr})$ и определить с его помощью критическую скорость υ_{cr}, а через нее и $\mathrm{Re}_{cr(exp.)} = \frac{\upsilon_{cr} d}{\nu}$, а также показатели степени m_L, m_T и коэффициенты пропорциональности B_L и B_T.

12. Дать заключение по результатам работы.

4.4. Основные контрольные вопросы к л/р № 4.

1. Назовите режимы движения жидкости и укажите их характерные особенности.

2. Поясните, что такое критерий Рейнольдса, назовите факторы, от которых он зависит, и укажите, в чем заключается его физический смысл.

3. Поясните, что такое критическое число Рейнольдса.

4. Поясните, каким образом при гидравлических расчетах определяют режим движения жидкости и с какой целью.

5. Поясните, что такое критическая скорость, от каких факторов она зависит и как ее определяют.

6. Напишите и поясните аналитические зависимости потерь напора по длине от средней скорости потока при ламинарном и турбулентном режимах движения жидкости.

7. Изобразите график зависимости потерь напора по длине от средней скорости (в логарифмических координатах) и дайте пояснения к нему.

8. Поясните, как определяются *Re* и *Re*кр для труб некруглого сечения.

9. Поясните, почему график *hl = f(.)* строят в логарифмических координатах.

10. Поясните, что такое гидравлический радиус и что он характеризует.

Таблица 4.1

Определение критического числа Рейнольдса

№	Измеряемые и вычисляемые величины	Ед. изм.	Экспериментальные данные			
			Ламинар. режим		турбул. режим	
			Экс 1	Экс. 2	Экс. 3	Экс. 4
1	Объем воды в мерном сосуде *W*	$см^3$				
2	Время наполнения объема *t*	с				
3	Расход воды $Q = W/t$	$см^3/с$				
4	Внутренний диаметр стеклянной трубы *d*	см	1.0			
5	Площадь поперечного сечения трубы $S = \pi d^2/4$	$см^2$				
6	Средняя скорость движения воды $\upsilon = Q/S$	см/с				
7	Температура воды *T*	^oC				
8	Кинематический коэффициент вязкости воды *v*	$см^2/с$	0.0088			
9	Число Рейнольдса $\mathrm{Re}_{(d)} = \frac{\upsilon d}{\nu}$	–				
10	Критическое число Рейнольдса (по справочнику) $\mathrm{Re}_{cr(ref)}$	–				

Таблица 4.2

Результаты измерений и вычислений

№	Измеряемые и вычисляемые величины	Ед. изм.	Экспериментальные данные									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Объем воды в мерном сосуде W	$см^3$										
2	Время наполнения t	с										
3	Расход воды $Q = W/t$	$см^3/с$										
4	Внутренний диаметр трубы d	см	1.0									
5	Площадь поперечного сечения трубы $S = \pi d^2/4$	$см^2$										
6	Средняя скорость потока $\upsilon = Q/S$	см/с										
7	Логарифм средней скорости lg υ	–										
8	Отметка уровня воды в пьезометре 1, ∇_1	см										
9	Отметка уровня воды в пьезометре 2, ∇_2	см										
10	Потеря напора по длине $h_l = \nabla_1 - \nabla_2$	см										
11	Логарифм потери нап. по дл. lgh_l	–										
12	Температура воды T	°C										
13	Кинематический коэффициент вязкости воды в работе ν	$см^2/с$	0.0088									

5. Лабораторная работа № 5. «Изучение гидравлических сопротивлений напорного трубопровода»

5.1 Описание физического процесса л/р № 5.

Экспериментальными исследованиями установлено, что при движении жидкости часть полного напора (энергии) затрачивается на преодоление работы сил вязкости, т. е. возникают потери напора.

При равномерном движении жидкости гидравлическое сопротивление, проявляющееся равномерно по всей длине потока, называют сопротивлением по длине (потери по длинне), а вызываемые им потери напора – потерями напора по длине (h_l). Эти потери в круглых трубопроводах, работающих полным сечением, вычисляют по формуле Дарси – Вейсбаха:

$$h_l = \lambda \frac{l \cdot \upsilon^2}{d \cdot 2g}\ , \qquad (5.1)$$

где λ – безразмерный коэффициент, называемый коэффициентом гидравлического трения (коэффициентом Дарси). Величина коэффициента λ характеризует гидравлическое сопротивление трубопровода и зависит в общем случае от числа Рейнольдса Re и относительной шероховатости Δ_E/d трубопровода, т. е. $\lambda = f(Re, \Delta_E/d)$; l и d – длина и внутренний диаметр трубопровода; υ – средняя скорость движения потока жидкости.

На рисунке 5.1 изображена зависимость коэффициента гидравлического трения λ от числа Рейнольдса Re для труб с различной относительной искусственной шероховатостью Δ_E/d.

Величину коэффициента λ при гидравлических экспериментах вычисляют по опытным данным из формулы (5.1). При гидравлических же расчетах – по эмпирическим и полуэмпирическим формулам, например при ламинарном режиме:

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}\ , \qquad (5.2)$$

а при турбулентном режиме движения жидкости и работе трубопровода в области доквадратичного сопротивления – по формуле:

$$\lambda = 0.11\left(\frac{\Delta_E}{d} + \frac{68}{\mathrm{Re}}\right)^{0.25} \qquad (5.3)$$

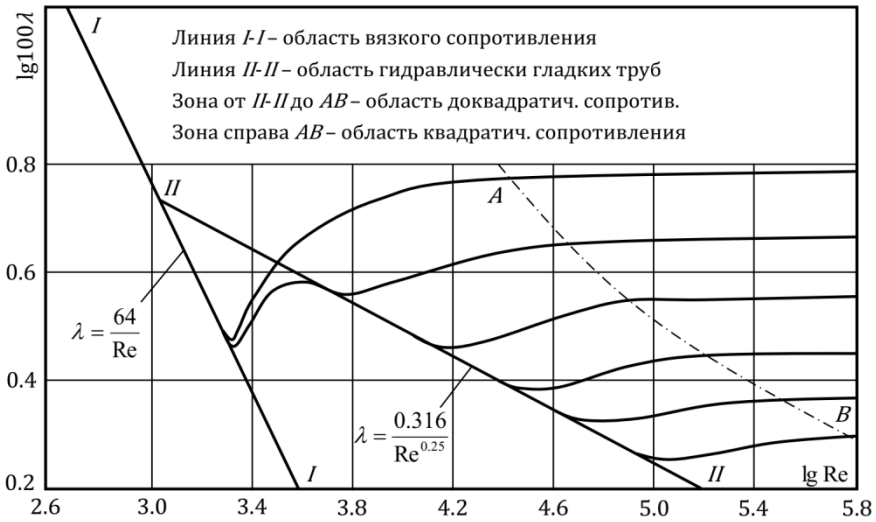


Рисунок 5.1 Зависимость коэффициента гидравлического трения λ от числа Рейнольдса *Re* для труб с различной искусственной шероховатостью

Величину абсолютной эквивалентной шероховатости Δ_E при расчетах берут из справочной литературы в зависимости от материала трубопровода и состояния его внутренней поверхности. Например, для труб из органического стекла Δ_E=0.006 мм, а для стальных водопроводных умеренно заржавленных труб Δ_E =0.20…0.50 мм.

Область гидравлического сопротивления при расчетах определяют или непосредственно по графикам $\lambda=f(Re,\Delta_э/d)$, полученным опытным путем для труб из различных материалов и приведенным в справочной литературе, или же с помощью соотношений $10d/\Delta_E$ и $500d/\Delta_E$. В последнем случае вычисляют соотношения $10d/\Delta_E$ и $500d/\Delta_E$ и сравнивают их с числом Рейнольдса $Re(d)=\upsilon\, d/\nu$. При этом если $Re\geq 500d/\Delta_E$, трубопровод работает в области квадратичного сопротивления. Если $3000<Re\leq 10d/\Delta_E$, трубопровод работает в области гидравлически гладких труб. Если же $10d/\Delta_E<Re<500d/\Delta_E$, трубопровод работает в области доквадратичного сопротивления.

Следует иметь в виду, что для каждой области гидравлического сопротивления предложены и используются при гидравлических расчетах свои формулы для вычисления коэффициента λ.

Другой вид гидравлических сопротивлений (местные сопротивления), возникающих в местах резкого изменения конфигурации потока, изменения скорости потока по величине или направлению, называют местными сопротивлениями, а вызываемые ими потери напора – местными потерями напора (h_{loc}).

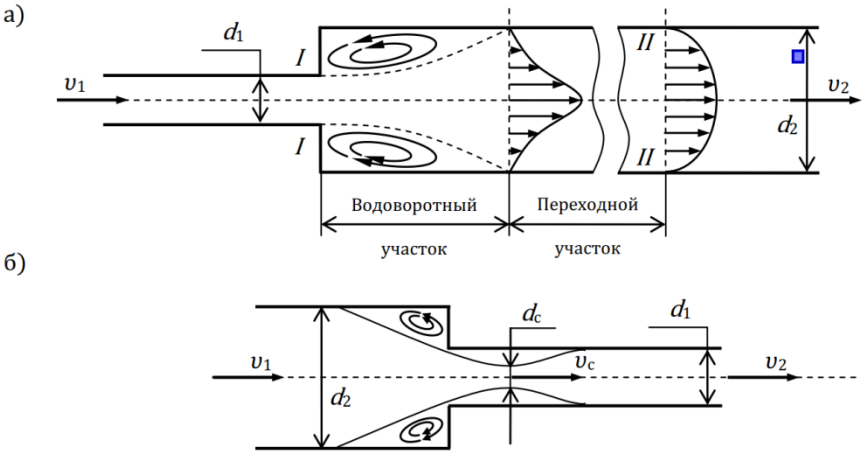


Рисунок 5.2 – Схемы движения жидкости при резком (внезапном) изменении сечения трубопровода: а – резкое расширение; б – резкое сужение

При прохождении через любое местное сопротивление поток жидкости деформируется (рис. 5.2), вследствие чего движение становится неравномерным, резко изменяющимся, для которого характерны:

а) значительное искривление линий тока и живых сечений потока;

б) отрывы транзитной струи от стенок трубопровода (ввиду действия закона инерции) и возникновение в местах отрыва устойчивых водоворотов;

в) повышенная (по сравнению с равномерным движением) пульсация скоростей и давлений;

г) изменение формы (переформирование) эпюр скоростей.

Местные потери напора при гидравлических расчетах вычисляют по формуле Вейсбаха:

$$h_{\text{loc}} = \zeta \frac{\upsilon^2}{2g} , \qquad (5.4)$$

где ζ – безразмерный коэффициент, называемый коэффициентом местного сопротивления; υ – средняя скорость потока в сечении за местным сопротивлением, т. е. ниже по течению (если скорость υ, как исключение, принимается перед местным сопротивлением, это обязательно оговаривается).

Величина коэффициента ζ зависит в общем случае от числа Рейнольдса *Re*, вида и конфигурации, т. е. формы проточной части местного сопротивления. В частном случае, когда трубопровод, на котором расположено местное сопротивление, работает в области квадратичного сопротивления, величина коэффициента ζ от *Re* не зависит.

Величину ζ для каждого вида местного сопротивления определяют по данным гидравлических экспериментов, пользуясь формулой (5.4). Полученные таким образом значения коэффициентов ζ для различных видов местных сопротивлений берутся при гидравлических расчетах (обычно при квадратичной области сопротивления) из справочной и специальной литературы. Исключением являются резкое расширение и резкое сужение трубопровода, для которых численные значения коэффициентов ζ определяются по формулам, полученным теоретическим и полуэмпирическим путем. При резком расширении трубопровода, когда средняя скорость в формуле (5.4) взята перед местным сопротивлением, т. е. υ_1, коэффициент местного сопротивления для резкого расширения

$$\zeta'_{\text{exp}} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 , \qquad (5.5)$$

где S_1 и S_2 – площади проходных сечений трубопровода до и после местного сопротивления по направлению движения жидкости соответственно.

Если же скорость берется за местным сопротивлением, т. е. υ_2, то

$$\zeta''_{\text{exp}} = \left(\frac{S_2}{S_1} - 1\right)^2 , \qquad (5.6)$$

Коэффициент местного сопротивления при резком сужении трубопровода (ζ_{nar}) принято относить к скорости после сужения. При

этом :

$$\zeta_{\text{nar}} = 0.5\left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right)^2 , \qquad (5.7)$$

5.2. Описание лабораторной установки № 5.

Симуляционная модель лабораторной установки (рис.5.3) включает питающий резервуар (1), в который осуществляется подача воды по трубопроводу (2). Внутри резервуара предусмотрено переливное устройство, обеспечивающее установившееся движение в системе. При этом отвод воды из правой части резервуара осуществляется через трубопровод (3). Для включения подачи воды используется кран (4). Из левой части резервуара вода подается в напорный трубопровод (5) с последовательно расположенными на нем гидравлическими сопротивлениями (по длине и местными). К каждому гидравлическому сопротивлению подключено по два пьезометра (перед ним и за ним). Все пьезометры для удобства работы выведены на стенд (6). Для регулирования расхода воды *Q* в системе служит вентиль (7). Величина *Q* измеряется с помощью мерного бака (8) и секундомера.

Установка позволяет провести необходимые замеры и определить коэффициенты гидравлического трения λ и коэффициенты местных сопротивлений ζ для следующих участков (p_i – пьезометр в начале участка, p_{i+1} – пьезометр в конце участка):

p_1–p_2 – прямой участок для определения потерь напора по длине и вычисления коэффициента гидравлического трения λ;

p_2–p_3 – резкое расширение для определения потерь напора на местном сопротивлении и вычисления коэффициента местного сопротивления ζ;

p_3–p_4 – плавный поворот для определения потерь напора на местном сопротивлении и вычисления коэффициента местного сопротивления ζ;

p_4–p_5 – прямой участок для определения потерь напора по длине и вычисления коэффициента гидравлического трения λ;

p_5–p_6 – резкий поворот для определения потерь напора на местном сопротивлении и вычисления коэффициента местного сопротивления ζ;

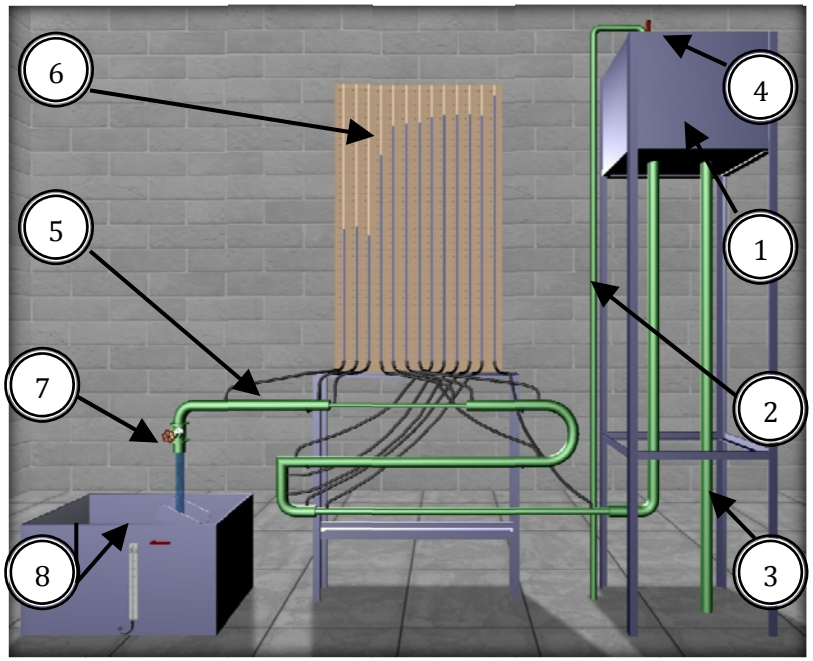


Рисунок 5.3. – Внешний вид симуляционной лабораторной установки

p_6–p_7 – прямой участок для определения потерь напора по длине и вычисления коэффициента гидравлического трения λ;

p_7–p_8 – плавный поворот для определения потерь напора на местном сопротивлении и вычисления коэффициента местного сопротивления ζ;

p_8–p_9 – прямой участок для определения потерь напора по длине и вычисления коэффициента гидравлического трения λ;

p_9–p_{10} – резкое сужение для определения потерь напора на местном сопротивлении и вычисления коэффициента местного сопротивления ζ;

p_{10}–p_{11} – прямой участок для определения потерь напора по длине и вычисления коэффициента гидравлического трения λ;

p_{11}–p_{12} – резкое расширение для определения потерь напора на местном сопротивлении и вычисления коэффициента местного сопротивления ζ;

p_{12}–p_{13} – прямой участок для определения потерь напора по длине и вычисления коэффициента гидравлического трения λ.

Геометрические размеры участков трубопровода представлены на рисунке 5.4.

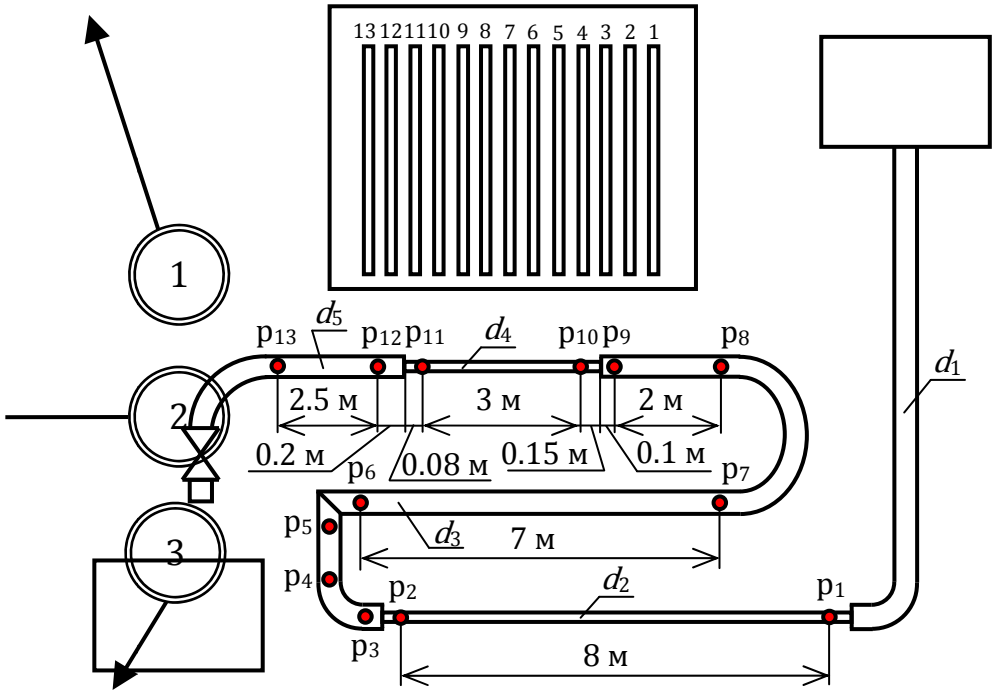


Рисунок 5.4 – Геометрические размеры лабораторной установки (d_1=50 мм; d_2=40 мм; d_3=50 мм; d_4=25 мм; d_5=50 мм; Вязкость жидкости: ν=0.0101 см^2/с; Эквиволентная .шероховатость:Δ_E=0.1 мм.

5.3 Порядок выполнения л/р № 5.

Цели лабораторной работы:

1. Определить по опытным данным, воспользовавшись формулами (5.1) и (5.4), значения коэффициента гидравлического трения λ_{exp} и величины коэффициентов местных сопротивлений ζ_{exp} для выбранных участков.

2. Установить области гидравлического сопротивления, в которых работают участки напорного трубопровода.

3. Вычислить значения коэффициентов гидравлического трения λ по соответствующим эмпирическим формулам.

4. Найти справочные значения коэффициентов местных сопротивлений.

5. Определить относительные отклонения λ_{exp} и ζ_{exp} от их расчетных (справочных) значений.

6. Построить по опытным данным (в масштабе) график напоров для участка, предложенного преподавателем.

Дополнительная информация по управлению виртуальной моделью

1. Для наполнения установки водой откройте кран подачи воды, щелкнув по нему левой кнопкой мыши.

2. Вентиль изменения расхода регулируется левой и правой кнопками мыши.

3. Для перемещения камеры к стенду с пьезометрами щелкните по нему левой кнопкой мыши.

4. Перемещение камеры осуществляется клавишами со стрелками и наведением мыши к краям экрана.

5. В режиме работы с пьезометрами можно перемещать камеру вертикально с помощью клавиш со стрелками и мыши.

6. Для перехода к замеру расхода щелкните левой кнопкой мыши по переливному устройству.

7. Возврат камеры в каждое предыдущее положение осуществляется щелчком правой кнопки мыши.

8. Более полную информацию по управлению можно получить в левом верхнем углу экрана, когда камера находится в отдаленном положении, нажав и удерживая кнопку 1 или 2 на клавиатуре.

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

1. Открыть питающую задвижку и наполнить установку водой.

2. После наполнения водой резервуара и стабилизации уровня воды в нем (переливное устройство должно при этом работать) следует открытием регулирующего вентиля подать воду в систему трубопроводов.

3. По секундомеру определить время t (s) наполнения мерного бака объемом W=0.05 m^3.

4. Определить расход воды $Q=W/t$ (m^3/s).

5. Измерить отметки уровней воды в пьезометрах, а также ее температуру (термометром в питающем резервуаре).

6. Определить кинематический коэффициент вязкости воды v.

7. По одному из семи вариантов задаваемого преподавателем, и произвольном расходе воды в системе, выполнить измерения коэффициентов сопротивления, и записать результаты в таблицу № 5.2.

8. Произвести обработку опытных данных в табл. 5.3.

9. Построить по опытным данным (в масштабе) график напоров для участка, предложенного преподавателем.

10. Дать заключения по лабораторной работе.

5.4. Основные контрольные вопросы к л/р № 5

1. Напишите и поясните формулы Дарси-Вейсбаха и Вейсбаха.

2. Поясните, как опытным путем определяют величины коэффициентов λ и ζ.

3. Что характеризуют коэффициенты λ и ζ? От каких факторов в общемслучае они зависят и как их определяют при гидравлических расчетах?

4. Объясните, что такое Δэ и Δэ/*d*, как найти величину Δэ при гидравлическихрасчетах?

5. Назовите области гидравлического сопротивления трубопроводов и объясните, как определяют область сопротивления при гидравлических расчетах.

6. Изобразите схемы движения жидкости при резком повороте трубы на 90°,а также при резком расширении и резком сужении трубопровода и дайте пояснения к ним, указав, что характерно для движения потока при протекании его через любое местное сопротивление.

7. Изобразите кривую графика Никурадзе и дайте пояснения.

8. Поясните понятия «гидравлически гладкая труба» и «шероховатая труба».

9. Назовите фактор, обуславливающий повышение потери напора при прохождении потока жидкости через местные сопротивления.

10. Докажите, воспользовавшись Дарси–Вейсбаха и Блазиуса, что при работе трубопроводов в области гидравлически гладких труб $hl = f(U1{,}75)$.

Таблица 5.2

Исходные данные.

№ варианта		Потери напора									
		Сопротивления по длине				Местные Сопротивления					
1	Вычисляемые величины	Уч. 12-13		Уч. 1-2		Резкий поворот		Плавный поворот		Резкое сужение	
	Номер сечения	12	13	1	2	5	6	7	8	9	10
2	Вычисляемые величины	Уч. 1–2		Уч. 6–7		Резкий поворот		Плавный поворот		Резкое расширение	
	Номер сечения	1	2	6	7	5	6	3	4	11	12
3	Вычисляемые величины	Уч. 10–11		Уч. 6–7		Резкий поворот		Плавный поворот		Резкое расширение	
	Номер сечения	10	11	6	7	5	6	7	8	11	12
4	Вычисляемые величины	Уч. 1–2		Уч. 6–7		Резкое сужение		Плавный поворот		Резкое расширение	
	Номер сечения	1	2	6	7	9	10	3	4	11	12
5	Вычисляемые величины	Уч. 10□11		Уч. 6□7		Резкий поворот		Плавный поворот		Резкое расширение	
	Номер сечения	10	11	6	7	5	6	3	4	11	12
6	Вычисляемые величины	Уч. 12□13		Уч. 1–2		Резкий поворот		Плавный поворот		Резкое сужение	
	Номер сечения	12	13	1	2	5	6	7	8	9	10
7	Вычисляемые величины	Уч. 8□9		Уч. 10-11		Уч. 12–13		Резкое сужение		Резкое расширение	
	Номер сечения	8	9	10	11	12	13	9	10	11	12

Таблица 5.3

Результаты измерений и вычислений

№ п/п	Вычисляемые величины		Ед. изм.	Результаты измерений и вычислений									
				Сопротивления по длине				Местные сопротивления					
1	Номера сечений		–										
2	Показания пьезометров $z_i + p_i/\rho g$ (точность мм)		м										
3	Объем мерного бака W		м³										
4	Время наполнения бака t		с										
5	Расход Q		м³/с										
6	Диаметр сечения трубы d_i		м										
7	Площадь перечного сечения трубы $S_i = \pi d_i^2/4$		м²										
8	Средняя скорость потока $\vec{v}_i = Q/S_i$		м/с										
9	Скоростной напор $v^2/2g$		м										
10	Полные напоры в сечениях $z_i + p_i/\rho g + v_i^2/2g$		м										
11	Потери напора по длине h_l и местные h_{loci}		м										
12	Расстояния между точками пьезометрирования l_i		м										
13	Коэффициент гидравлического трения (опытн.) $\lambda_{exp} = (h_{li} d_i / l_i) / (v_i^2/2g)$		–										
14	Коэффициент местного сопротивления (опытн.) $\zeta_{exp} = h_{loci} / (v_i^2/2g)$		–										
15	Число $Re = v_i d_i / \nu$		–										
16	Область гидравлического сопротивления (доквадратичная, квадратичная)		–										
17	Коэф. гидр. трения λ по эмпирическим формулам		–										
18	Коэф. местного сопротивления ζ_i (по справочнику)		–										
19	Относительные отклонения E_λ и E_ζ	$E_\lambda = (\lvert\lambda - \lambda_{ex}\rvert / \lambda) \cdot 100$	%										
		$E_\zeta = (\lvert\zeta - \zeta_{ex}\rvert / \zeta) \cdot 100$	%										

Список литературы.

1. Альтшуль, А.Д. Гидравлические сопротивления / А.Д. Альтшуль.М.: Недра, 1982. 224 с.
2. Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, Л.С. Животовский, Л.П. Иванов. М.: Стройиздат, 1987. 414 с.
3. Богомолов, А.И. Гидравлика / А.И. Богомолов, К.А. Михайлов. М.: Стройиздат, 1972. 648 с.
4. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: справочное пособие. М.: Энергия, 1988. 624 с.
5. Гиргидов, А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика): учебник для вузов / А.Д. Гиргидов. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: СПбГПУ, 2003. 545 с.
6. Казарян, С.М. Лабораторный практикум по гидравлике, гидравлическим машинам и гидроприводам: учеб. пособие для вузов / С.М. Казарян, А.Ш. Барекян, Д.Д. Скубаренко, А.К. Челышев. Ереван: Луйс, 1984. 319 с.
7. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010610735 РФ. Виртуальная лабораторная работа ≪Измерение гидростатического давления, экспериментальное подтверждение уравнения гидростатики и закона Паскаля≫ / Е.Н. Коноплев, И.В. Образцов; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО ТвГТУ (RU). Заявка № 2009616650; заявл. 25.11.2009; опубл. 22.01.2010. 1 с.
8. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010610893 РФ. Виртуальная лабораторная работа ≪Изучение относительного покоя жидкости при вращательном движении≫ / Е.Н. Коноплев, И.В. Образцов; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО ТГТУ (RU). Заявка № 2009616985; заявл. 7.12.2009; опубл. 28.01.2010. 1 с. 103
9. Емцев, Б.Т. Техническая гидромеханика / Б.Т. Емцев. М.: Машиностроение, 1987. 440 с.
10. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим расчетам / И.Е. Идельчик. М.: Машиностроение, 1975. 559 с.
11. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010610891 РФ. Виртуальная лабораторная работа ≪Определение опытным путем слагаемых уравнения Д. Бернулли при установившемся неравномерном движении жидкости в напорном трубопроводе≫ / Е.Н. Коноплев, И.В. Образцов; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО ТГТУ (RU). Заявка № 2009616984; заявл. 7.12.2009; опубл. 28.01.2010. 1 с.
12. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010611031 РФ. Виртуальная лабораторная работа ≪Экспериментальная иллюстрация ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости. Установление законов гидравлического сопротивления и определение критического числа Рейнольдса≫ / Е.Н. Коноплев, И.В. Образцов; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО ТГТУ (RU). Заявка № 2009617193; заявл. 16.12.2009; опубл. 2.02.2010. 1 с.
13. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010611032 РФ. Виртуальная лабораторная работа ≪Изучение гидравлических сопротивлений напорного трубопровода с определением коэффициентов гидравлического трения и местных сопротивлений≫ / Е.Н. Коноплев, И.В. Образцов; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО ТГТУ (RU). Заявка № 2009617194; заявл. 26.12.2009; опубл. 2.02.2010. 1 с.
14. Павловский, Н.Н. Гидравлический справочник / Н.Н. Павловский. Л.-М.: ОНТИ, НКТП, 1937. 890 с
15. Киселев, П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев [и др.]. М.: Энергия, 1997. 312 с. 104
16. Константинов, Н.М. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: учебник для вузов. В 2 ч. / Н.М. Константинов, Н.Н. Петров, Л.И. Высоцкий. Ч. 1. М.: Высш. шк., 1987. 304 с. Ч. 2. М.: Высш. шк., 1987. 431 с.
17. Чертоусов, М.Д. Гидравлика. Специальный курс / М.Д. Чертоусов. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. 640 с.
18. Чоу, В.Т. Гидравлика открытых каналов / В.Т. Чоу. М.: Стройиздат, 1969. 464 с.
19. Чугаев, Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов в 2 кн. / Р.Р. Чугаев. Кн. 1. М.: Энергоатомиздат, 1991. 351 с. Кн. 2. М.: Энергоатомиздат, 1991. 367 с.
20. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика / Д.В. Штеренлихт. М.: Колос, 2006. 656 с. 105
21. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 20106615851 РФ. Виртуальная лабораторная работа ≪Построение диаграммы уравнения Д. Бернулли≫ / Е.Н. Коноплев, И.В. Об-

разцов; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО ТвГТУ (RU). Заявка № 2016613251; заявл. 6.04.2016; опубл. 1.06.2016. 1 с.
22. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта [и др.]. М.: Машиностроение, 1982. 423 с.
23. Руднев, С.С. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередач / С.С. Руднев [и др.]. М.: Машиностроение, 1974. 416 с.
24. Васильев, Б.А. Гидравлические машины / Б.А. Васильев, Н.А. Герцев. М.: Агропромиздат, 1988. 272 с.
25. ГОСТ 6134-2007. Насосы динамические. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2007. 95 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Введение 3
Общие указания по выполнению лабораторных работ, рекомендации по составлению и оформлению отчета и защите. 4
Принципы взаимодействия с виртуальной моделью лабораторной установки 5
1. Лабораторная работа № 1. Измерение гидростатического давления, экспериментальное подтверждение основного уравнения гидростатики и закона Паскаля. 7
1.1 Описание физического процесса л/р №1. 7
1.2 Описание лабораторной установки №1. 9
1.3 Порядок выполнения л/р №1. 10
1.4. Контрольные вопросы к л/р №1 13
2. Лабораторная работа № 2. «Изучение относительного покоя жидкости при вращательном движении» 15
2.1 Описание физического процесса л/р №2. 15
2.2. Описание лабораторной установки №2. 17
2.3. Порядок выполнения л/р №2. 19
2.4. Контрольные вопросы к л/р №2. 22
3. Лабораторная работа № 3. ««Определение опытным путем слагаемых уравнения Д. Бернулли при установившемся неравномерном движении жидкости» 24
3.1 Описание физического процесса л/р №3. 24
3.2. Описание лабораторной установки №3. 28
3.3 Порядок выполнения работы №3. 29
3.4. Контрольные вопросы к л/р №3. 33
4. Лабораторная работа № 4. Экспериментальная иллюстрация ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости, установление законов гидравлического сопротивления и определение критического числа Рейнольдса. 34
4.1 Описание физического процесса л/р №4. 34

4.2. Описание лабораторной установки №4 35
4.3 Порядок выполнения л/р №4. 38
4.4. Основные контрольные вопросы к л/р №4. 40
5. Лабораторная работа № 5. «Изучение гидравлических сопротивлений напорного трубопровода» 43
5.1 Описание физического процесса л/р №5. 43
5.2. Описание лабораторной установки №5 47
5.3 Порядок выполнения л/р №5 49
5.4. Основные контрольные вопросы к л/р №5 51
Список литературы 54

Перечень лабораторных работ и методика их проведения с контрольными вопросами по дисциплине «Гидромеханика»

Контролируемые компетенции:

ОПК-2. Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности;

ПК-19. Способен практически применять информацию об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграммы и устройства для расчета напряжений в корпусе;

ПК-20. Способен обеспечить водонепроницаемость и предпринимать основные действия, в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии

ПК-57. Способен читать схемы трубопроводов, гидравлических и пневматических систем.

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
Волжский государственный университет водного транспорта

Кафедра водных путей и гидротехнических сооружений

И.В. Липатов

Виртуальный лабораторный практикум по основам гидравлики.



Н. Новгород
2021

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
Волжский государственный университет водного транспорта

Кафедра Водных путей и гидротехнических сооружений

И.В. Липатов

Виртуальный лабораторный практикум по основам гидравлики

Методические указания по выполнению лабораторных работ по гидравлике для студентов очной и заочной формы обучения по направлению подготовки 08.03.01 «Строительство» и 26.03.01 «Управление водным транспортом гидрографическое обеспечение судоходства»

Нижний Новгород
Издательство ФГБОУ ВО «ВГУВТ»
2021

УДК 556
Л 61

Рецензент – доцент, к.т.н. Никитаев И. В.

Липатов И.В., профессор д.т.н.

Виртуальный лабораторный практикум по гидравлике и основам гидравлики: методические указания для студентов очного и заочного обучения по направлениям подготовки. 26.03.01 «Управление водным транспортом и гидрографическое обеспечение судоходства», 08.03.01 «Строительство» и других инженерных специальностей / И.В. Липатов – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2021 г. – 58 с.

В методических указаниях дано описание для выполнения и подготовке к защите лабораторных работ по основам гидравлики, гидравлике и гидравлике гидротехнических сооружений

Работа рекомендована к изданию кафедрой водных путей и гидротехнических сооружений (протокол № ___ от __.__.2021 г.)

© ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2021

Введение

Идея виртуальной лаборатории является одним из аспектов совершенствования методов проведения занятий. Актуальность данного направления обоснована интенсивным развитием информационных технологий в рамках образования и дистанционных форм обучения, а также повышения качества системы образования. Виртуальные тренажеры дополняют комплекс знаний, которые получает обучаемый. Действия, происходящие на экране компьютера, связанные с физическими процессами, привносят совершенно новый элемент в представление об изучаемой дисциплине. Динамика компьютерной имитации не только используется для показа движения объекта, но и раскрывает логику движения мысли от незнания к знанию.

Виртуальная лаборатория представляет собой компьютерную программу, выполняющую функцию тренажера, который реализует трехмерную модель уникального или типового оборудования. Сочетание объемной визуализации объектов и звука позволяет обучаемому глубоко погрузиться в виртуальный мир, максимально приближенный к реальным условиям работы, дающий возможность с высокой степенью реальности участвовать в физическом эксперименте.

Выполнение виртуальных лабораторных работ при изучении гидравлики должно способствовать более глубокому пониманию студентами физической сущности изучаемых гидравлических явлений, освоению ими методов лабораторных испытаний, упрочнению связи теории с экспериментами, а также приобретению навыков в научных исследованиях и в работе с научно-технической и справочной литературой.

В предлагаемом лабораторном курсе описание каждой работы содержит:

1. вводную часть, где в сжатой форме изложены сведения общего характера, основные теоретические положения и описания физического процесса исследуемого в лабораторной работе;
2. схему и описание лабораторной установки;
3. порядок выполнения работы и детально разработанные таблицы для упрощения и удобства обработки опытных данных; индивидуальные варианты исходных данных; дополнительную информацию по управлению виртуальной моделью. В этом же разделе сформулированы цели лабораторной работы, порядок действий и алгоритм обработки экспериментов.
4. основные контрольные вопросы, позволяющие студентам целенаправленно готовиться к защите отчета по каждой работе;

Общие указания по выполнению лабораторных работ, рекомендации по составлению и оформлению отчета и защите.

1. Текстовую часть отчета о каждой лабораторной работе студент должен представлять на отдельных листах белой писчей бумаги формата А4 (210 × 297 мм), а графическую (схему установки и график, построенный в масштабе по опытным данным) − на миллиметровой или потребительской бумаге в клетку. При этом весь графический материал, в том числе надписи и обозначения на нем, должен быть выполнен карандашом. При вычерчивании графиков на осях координат должны быть нанесены шкалы, представлены обозначения откладываемых величин и их размерность.
2. Каждый рисунок в отчете должен иметь порядковый номер и пояснительную надпись, располагаемые под рисунком.
3. К выполнению работы допускаются студенты, оформившие в соответствии с изложенными ниже требованиями подготовительную часть отчета, включающую:
   а) название работы и цель ее выполнения;
   б) основные теоретические положения работы (в конспективном изложении);
   в) схему установки, а также рисунки, поясняющие физическую картину изучаемого гидравлического явления;
   г) таблицы для записи опытных данных и результатов вычислений.
4. После окончания работы результаты измерений и вычислений должны быть предъявлены преподавателю для подписи.
5. Для получения оценки (в баллах) за выполненную лабораторную работу студент должен представить преподавателю полностью оформленный отчет, т. е. отчет, дополненный результатами вычислений, графическим материалом, а также выводами (заключением) по работе, ответами на контрольные вопросы, и защитить его.

Принципы взаимодействия с виртуальной моделью лабораторной установки

Имитационная модель лабораторной установки представляет собой интерактивную геометрическую структуру, помещенную в виртуальное трехмерное пространство. Наблюдение за объектами осуществляется с помощью виртуальной камеры. В базовом (свободном) режиме камера может вращаться вокруг точки фокусировки (рис. 1). Точка фокусировки камеры может перемещаться в вертикальной фронтальной плоскости. Кроме того, камера может дистанцироваться относительно точки фокусировки на произвольное расстояние, ограниченное габаритами трехмерного пространства.

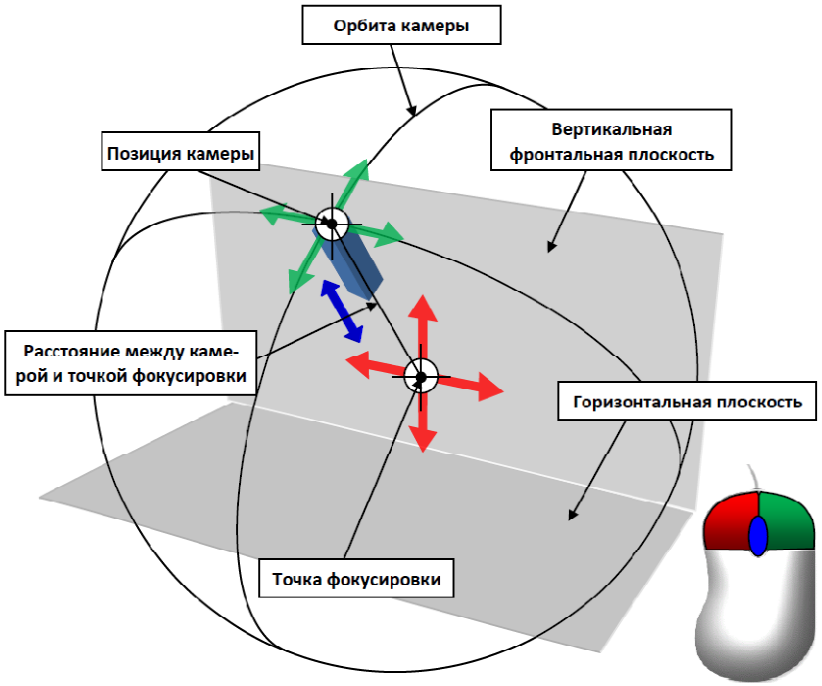


Рис. 1 Принципы управления камерой в свободном режиме

Основные манипуляции с камерой в свободном режиме осуществляются с помощью компьютерной мыши. При этом нажатие и удерживание левой кнопки мыши с сопутствующим перемещением мыши приводит к перемещению точки фокусировки камеры во фронтальной плоскости пространства. Нажатие и удерживание правой кнопки мыши с сопутствующим перемещением мыши приводит к вращению камеры относительно точки фокусировки. Углы вращения (азимут и элевация) камеры ограничены габаритами трехмерного пространства. Изменение дистанции камеры осуществляется вращением колеса прокрутки мыши в прямом и обратном направлениях.

Примечание: в некоторых лабораторных работах функция вращения камеры может отсутствовать!

Помимо свободного режима камера может переключаться на отдельные элементы лабораторной установки. Переключение камеры на отдельный объект осуществляется путем наведения указателя мыши на данный объект с последующим одинарным кликом левой кнопки мыши. При этом камера может занять статичное положение или иметь возможность перемещаться в вертикальной плоскости путем наведения указателя мыши к краям экрана или с помощью курсорных клавиш клавиатуры. Необходимость дополнительного перемещения камеры в режиме работы с объектом обусловлена превышением габаритных размеров просматриваемого объекта над габаритными размерами экрана. Возврат камеры в исходный режим кликом в произвольной области экрана.

Интерактивное взаимодействие с управляющими элементами имитационной лабораторной установки осуществляется путем наведения указателя мыши на данный объект с последующим нажатием (или одинарным кликом) левой (или правой) кнопки мыши. Специфика управления для конкретных элементов различается. К примеру, непрерывно регулирующие элементы (вентили регулирования расхода и др.) для изменения своего состояния требуют нажатия и продолжительного удерживания левой или правой (в случае обратного движения) кнопки мыши. Элементы дискретного действия (задвижки и клапаны) требуют одинарного клика левой кнопки мыши.

В момент наведения указателя мыши на объект, манипуляции с камерой временно недоступны. В тоже время в процессе манипулирования камерой невозможно выполнение действий с элементами управления лабораторной установки.

1. Лабораторная работа № 1. Измерение гидростатического давления, экспериментальное подтверждение основного уравнения гидростатики и закона Паскаля.

1.1 Описание физического процесса л/р № 1.

Гидростатическим давлением p называют нормальное сжимающее напряжение, возникающее в покоящейся жидкости под действием поверхностных и массовых сил:

$$p = \lim_{\Delta S \to 0} \frac{\Delta F}{\Delta S} , \qquad (1.1)$$

где ΔF – элементарная равнодействующая поверхностных и массовых сил (гидростатическая сила), Н; ΔS – элементарная площадка действия, м^2.

Из формулы (1.1) видно, что гидростатическое давление p есть предел отношения элементарной гидростатической силы ΔF к элементарной площади действия ΔS, когда последняя стремится к нулю.

За единицу гидростатического давления принято равномерно распределенное давление в один Паскаль (Па), т.е., создаваемое силой 1 Н на площади 1 м^2, или p = 1 Па = 1 Н/м^2.

Гидростатическое давление, отсчитываемое от абсолютного нуля, называют абсолютным (p_{abs}), а отсчитываемое от атмосферного давления (p_{atm}) – избыточным (p_{over}), следовательно:

$$p_{abs} = p_{atm} + p_{over} , \qquad (1.2)$$

Очевидно, что

$$p_{over} = p_{abs} - p_{atm} \qquad (1.3)$$

В гидравлических расчетах величину нормального атмосферного давления считают равной $p_{atm} = 98100 \approx 10^5$ Па.

Из формулы (1.3) видно, что в зависимости от соотношения между p_{abs} и p_{atm}, избыточное давление p_{over} может быть положительной и отрицательной величиной. Положительное избыточное давление называют манометрическим, а отрицательное – вакуумметрическим. Приборы, применяемые для измерения $+p_{over}$ и $-p_{over}$, называют манометрами и вакуумметрами соответственно. По принципу действия манометры и вакуумметры делятся на две группы: жидкостные и механические.

Жидкостный манометр (пьезометр) представляет собой стеклян-

ную трубку, верхний конец которой открыт в атмосферу, а нижний присоединен к точке, где измеряется манометрическое давление.

Манометрическое давление p_{over}, выраженное через показания пьезометра:

$$p_{over} = \rho g h_{p_{over}} , \qquad (1.4)$$

где $\rho g = \gamma$ – объемный вес жидкости; $h_{p_{over}}$ – пьезометрическая высота, т. е. высота, отсчитываемая от точки подключения пьезометра до уровня жидкости в нем.

Работа механических приборов основана на деформации под воздействием давления упругого элемента (пружины или мембраны). Заметим, что пружинный манометр показывает давление в точке жидкости на уровне оси вращения его стрелки. Если положение оси вращения стрелки и точки подключения манометра по высоте не совпадают, в показание манометра (p_m) вводят поправку ($\pm\rho g y_m$):

$$p_{over} = p_m \pm \rho g y_m , \qquad (1.5)$$

где y_m – превышение оси вращения стрелки манометра над точкой его подключения, м.

В данной лабораторной работе предусмотрено измерение манометрического давления пружинными манометрами.

Когда на покоящуюся жидкость действует только сила тяжести, распределение гидростатического давления p по глубине h описывается основным уравнением гидростатики:

$$p = p_0 + \rho g h , \qquad (1.6)$$

где p – гидростатическое давление в жидкости на глубине h, Па; p_0 – внешнее давление, т. е. гидростатическое давление на свободной поверхности жидкости, Па; h – глубина погружения в жидкость рассматриваемой точки, м; $\rho g h$ – весовое давление, т. е. гидростатическое давление, создаваемое весом столба жидкости высотой h, Па.

Как видно из уравнения (1.6), при $p_0 = const$ и $\rho g = const$ давление p с изменением величины h меняется по линейному закону, что предстоит подтвердить опытами. Вычислив по уравнению (1.6) давление p в двух точках, заглубленных на разную величину h, можно построить диаграмму распределения гидростатического давления по глубине, называемую эпюрой гидростатического давления.

Из уравнения (1.6) следует, что внешнее давление p_0 в покоящейся жидкости передается во все точки ее объема без изменения. Это следствие называют законом Паскаля: « Внешнее давление, приложенное к поверхности жидкости, находящейся в равновесии в замкнутом сосуде, передается всем точкам жидкости без изменения».

Справедливость этого закона предстоит проверить опытным путем в данной работе.

1.2 Описание лабораторной установки № 1.

Схема экспериментальной установки представлена на рис. 1.1. Симуляционная модель лабораторной установки (рис. 1.1) включает в себя тонкостенную стальную колонну (1), частично заполненную водой, уровень воды в которой измеряется пьезометрической трубкой со шкалой (2). Вода подается в колонну открытием вентиля (3).

Для измерения гидростатического давления над свободной поверхностью жидкости в точке 1 и в точках 2 и 3 (на глубинах h_2 и h_3) установлены механические манометры M_1 (4), M_2 (5) и M_3 (6).

Сжатый воздух от компрессора (7) можно подавать в верхнюю часть колонны над свободной поверхностью жидкости по трубопроводу (8), открыв вентиль (9). Избыточное давление из верхней части колонны сбрасывается с помощью вентиля (10).

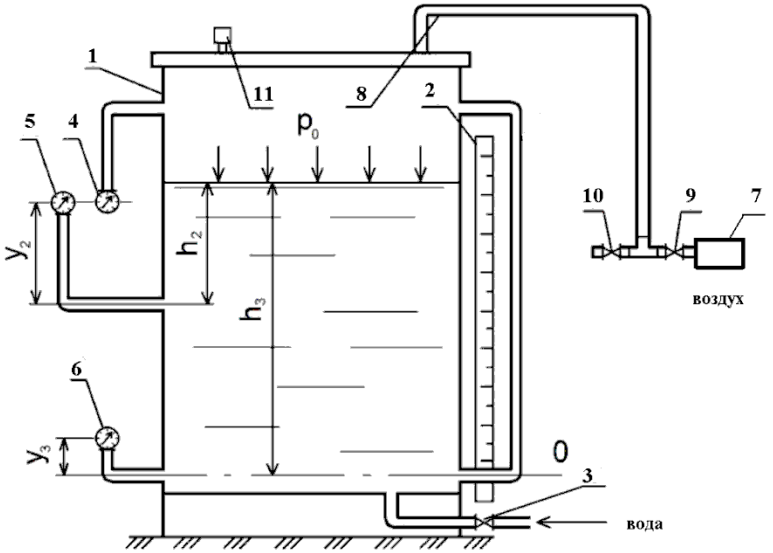


Рис. 1.1 Схема установки

1 – цилиндрический резервуар;
2 – шкаловый пьезомерт (водомерная труба);
3 – вентиль для подачи воды;
4, 5, 6 – манометры
7- компрессор сжатого воздуха
8 – трубопровод для подачи сжатого воздуха;
9 – вентель для подачи сжатого воздуха;
10 – вентель для сброса избыточного давления

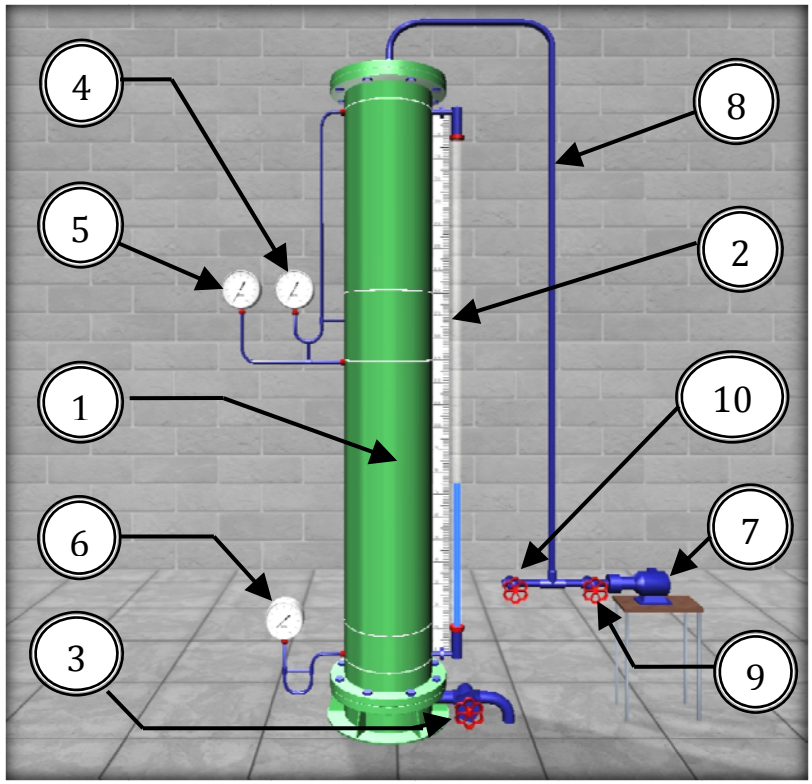


Рис. 1.2 Внешний вид симуляционной установки.

1.3 Порядок выполнения л/р № 1.

Цели лабораторной работы:

1. Определить с помощью пружинных манометров гидростатическое давление в трех точках (1, 2, 3). Если точка 1, находится над свободной поверхностью, то точки 2 и 3 заглубленных на различную величину h под уровень свободной поверхности жидкости и находятся в абсолютном покое под действием силы тяжести.

2. Подтвердить на основании опытных данных основное уравнение гидростатики и закон Паскаля.

3. Построить по данным опытов №1, 2 в масштабе эпюры манометрического давления по глубине h, опираясь на данные о давлениях в точках 1,2,3. В соответствии с общепринятой практикой – заглубление точек откладывается по вертикальной оси, направленной вниз. Давление откладывается на горизонтальной оси. Начальной низшей точкой отсчета становится высота свободной поверхности, тогда координаты 2 и 3 точках становятся величины h_2 и h_3, соответственно (см. рис. 1.1).

Дополнительная информация по управлению виртуальной моделью (см. рис. 1.2).

1. Для наполнения колонны водой откройте вентиль подачи воды (3), щелкнув по нему левой кнопкой мыши.

2. Для прекращения наполнения колонны водой закройте вентиль подачи воды (3), щелкнув по нему левой кнопкой мыши.

3. Для перемещения камеры к основным элементам (манометрам и линейке) щелкните по ним левой кнопкой мыши.

4. Возврат камеры в отдаленное положение осуществляется щелчком правой кнопки мыши.

5. В режиме просмотра линейки используйте клавиши ВВЕРХ и ВНИЗ для перемещения камеры.

6. Для регулирования внешнего давления в колонне используйте соответствующие вентили (9) и (10), щелкая по ним левой кнопкой мыши.

7. Более полную информацию по управлению можно получить в левом верхнем углу экрана, когда камера находится в отдаленном положении, нажимая и удерживая кнопку 1 на клавиатуре.

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

Необходимо выполнить два опыта, обеспечив в первом давлением на поверхности воды $p_0=0$, а во втором некоторое избыточное давление $p_0>0$. Последнее создается подкачкой сжатого воздуха из

компрессора

Опыт №1. Открыть вентиль подачи воды, наполнить установку до отметки свободной поверхности в соответствии с вариантом индивидуального задания (см. табл. 1.1). Измерить с помощью водомерной трубки и шкалы глубины погружения h_2 и h_3 точек 2 и 3, а также превышения y_2 и y_3 осей вращения стрелок манометров M_2 и M_3 над точками их подключения. Затем измерить показания всех трех манометров (M_1, M_2 и M_3). Полученные данные записать в табл. № 1.1.

Таблица 1.1

Варианты исходных заданий.

Номер варианта	Отметка воды (см)	Избыточное давление (кПа)	Номер варианта	Отметка воды (см)	Избыточное давление (кПа)
1	165	5	16	175	10
2	170	10	17	180	15
3	175	15	18	185	20
4	180	20	19	190	25
5	185	25	20	195	30
6	190	30	21	200	35
7	195	35	22	205	40
8	200	40	23	210	45
9	205	45	24	215	50
10	210	50	25	220	55
11	215	55	26	225	60
12	220	60	27	165	65
13	225	65	28	170	70
14	165	70	29	175	5
15	170	5	30	180	10

Опыт №2. Закрыть вентиль для сброса избыточного давления, а вентиль для подачи сжатого воздуха открыть и включить компрессор. Довести p_0 до величины, указанной в варианте задания, после чего компрессор отключить. Далее, измерить показания манометров M_1, M_2 и M_3. Результаты измерений записать в табл. 1.2.

Выполнить все вычисления, предусмотренные табл. 1.2. Дать за-

ключение по результатам работы. Построить по данным опытов № 1 и 2 в масштабе две эпюры манометрического давления действующего на стенку цилиндра в зависимости от глубине h. Пример построения эпюры и опорные данные к ней представлены на рис. 3.3.

Опорные данные для эпюры :

h_0= 0 m p_0=0 кПа
h_2= 0.5 m p_2=5 кПа
h_3= 2.0 m p_3=20 кПа

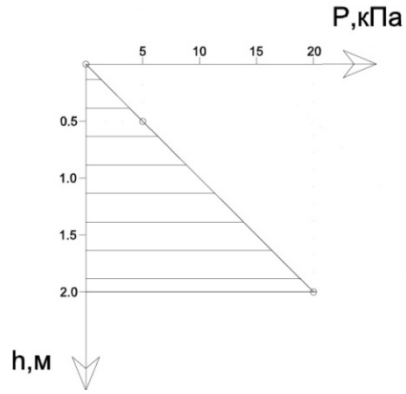


Рис. 1.3 Пример эпюры давления с опорными данными

1.4. Контрольные вопросы к л/р № 1.

1. Что такое гидростатическое давление и каковы его свойства?
2. Поясните, что такое абсолютное и избыточное гидростатическое давление и какова связь между ними ?
3. Объясните, что понимают под терминами «внешнее давление» и «весовое давление» ?
4. Напишите и поясните основное уравнение гидростатики ?
5. Сформулируйте закон Паскаля ?
6. Назовите приборы для измерения избыточного гидростатического давления и поясните принципы их действия ?
7. Поясните, что такое пьезометрическая высота ?
8. В чем состояло принципиальное отличие в условиях проведения первого и второго опытов?
9. Для чего нужно знать превышение оси вращения стрелки пружинного манометра над точкой его подключения?
10. Что такое эпюра гидростатического давления, как ее строят и с какой целью?

Таблица 1.2

Результаты измерений и вычислений

№	Измеряемые и вычисляемые величины		Ед. изм.	Экспер. данные	
				Опыт 1	Опыт 2
1	Показания манометров M_1, M_2, M_3	$p_{M_1} \approx p_0$	Па		
		p_{M_2}	Па		
		p_{M_3}	Па		
2	Избыточное гидростати-ческое давление в точках 1, 2, 3	$p_1 \approx p_{M_1} \approx p_0$	Па		
		$p_2 = p_{M_2} + \rho g y_{m2}$	Па		
		$p_3 = p_{M_3} + \rho g y_{m3}$	Па		
3	Приращение избыточного гидростати-ческого давления	$\Delta p_1 \approx \Delta p_0 = p_{0_2} - p_{0_1}$	Па		
		$\Delta p_2 = p_{2_2} - p_{2_1}$	Па		
		$\Delta p_3 = p_{3_2} - p_{3_1}$	Па		
4	Средняя величина приращения избыточного гидростатического давления	$\Delta p_{av} = \frac{\Delta p_0 + \Delta p_2 + \Delta p_3}{3}$	Па		
5	Относительные расхождения приращений давления в точках 1, 2, 3 со средней величиной	$E_{\Delta p_0} = \frac{(\Delta p_{av} - \Delta p_0)}{\Delta p_{av}} \cdot 100$	%		
		$E_{\Delta p_2} = \frac{(\Delta p_{av} - \Delta p_2)}{\Delta p_{av}} \cdot 100$	%		
		$E_{\Delta p_3} = \frac{(\Delta p_{av} - \Delta p_3)}{\Delta p_{av}} \cdot 100$	%		

Дополнительно к этому измеряются следующие величины:

h_2 = _____ m ; h_3 =_____m; y_{m2} = _____ m; y_{m3} = _____m;

примечание.

p_{01} и p_{02} - давление на свободной поверхности в 1 и 2 опытах.

p_{21} и p_{22} - давление в точке 2 в 1 и 2 опытах.

p_{31} и p_{32} - давление в точке 3 в 1 и 2 опытах.

2. Лабораторная работа № 2. «Изучение относительного покоя жидкости при вращательном движении»

2.1 Описание физического процесса л/р № 2.

В работе рассматривается случай, когда жидкость, находящаяся в открытом цилиндрическом сосуде, вращается вместе с ним с постоянной угловой скоростью ω вокруг его вертикальной оси. Дело в том, что стенки вращающегося цилиндра благодаря силам трения сначала приводят во вращение ближайшие к ним слои жидкости, а затем, вследствие вязкости жидкости, и всю ее массу. Таким образом, через некоторое время все частицы жидкости начинают вращаться с той же угловой скоростью ω, что и стенки, т. е. вся масса жидкости относительно вращающегося цилиндра будет неподвижна (будет находиться в относительном покое).

В этом случае на каждую частицу жидкости действуют две массовые силы: сила тяжести, создающая ускорение g=9,81 м/с^2, и центробежная сила, создающая ускорение $\omega^2 r$. Здесь r – радиус вращения частицы на свободной поверхности; $\omega = \pi n/30$ – угловая скорость вращения сосуда, с$^{-1}$, где n – частота вращения сосуда, об/мин.

Благодаря действию центробежных сил свободная поверхность вращающейся жидкости в цилиндрическом сосуде принимает форму параболоида вращения. Кривая, образующаяся от пересечения этого параболоида с вертикальной плоскостью, представляет собой квадратичную параболу (рис. 2.1).

Для рассматриваемого в работе случая относительного покоя закон распределения гидростатического давления p в жидкости (основное уравнение гидростатики) имеет вид

$$p = p_0 + \rho g\left(H + z_0 - z\right) + \frac{\rho g\left(\omega r\right)^2}{2g} \qquad (2.1)$$

где p_0 – внешнее давление (в нашем случае $p_0 = p_{atm}$; z_o и z – превышения, соответственно, вершины параболоида вращения (точка O') и произвольной точки A вращающейся жидкости на свободной поверхности в плоскости отсчета $x0y$.

Разделив уравнение (2.1) на ρg и перенеся p_0 в левую часть, получим выражение (2.2) для определения заглубления h рассматриваемой точки вращающейся жидкости под свободную поверхность:

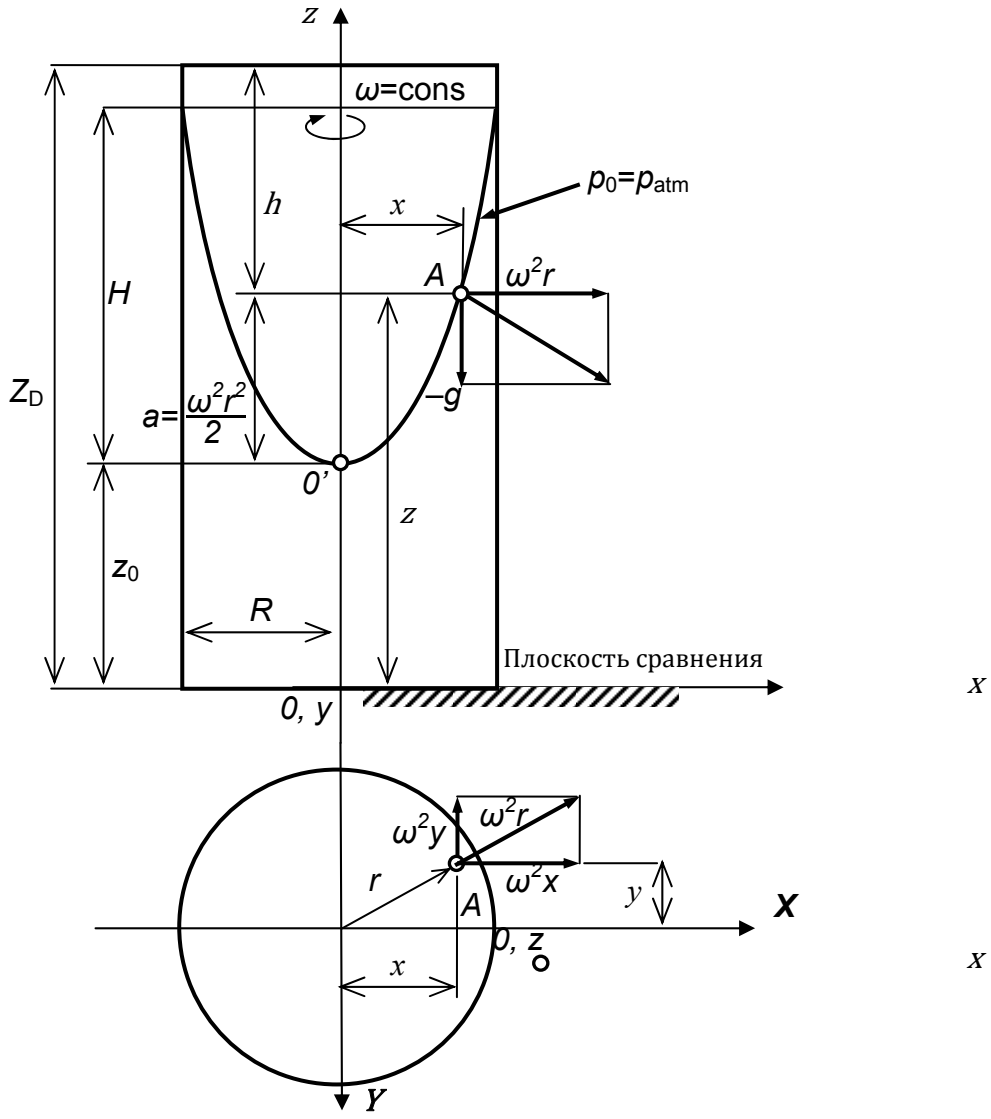


Рисунок 2.1 – К относительному покою жидкости во вращающемся цилиндрическом сосуде

$$\frac{p-p_0}{\rho g}=\left(H+z_0-z\right)+\frac{(\omega r)^2}{2g}=h \qquad (2.2)$$

где $\frac{(\omega r)^2}{2g}=a$ – превышение точки свободной поверхности, расположенной на расстоянии r от оси вращения, над вершиной O' параболоида вращения.

С учетом выражений для h и a закон распределения гидростатического давления во вращающейся жидкости (2.1) принимает такой же вид, как и для случая абсолютного покоя, а именно:

$$p=p_0+\rho g\left(H+z_0-z\right)=p_0+\rho g h \qquad (2.3)$$

Уравнение свободной поверхности вращающейся жидкости, полученное из уравнения (2.2), при $p=p_0=p_{atm}$ имеет вид

$$z=z_0+\frac{(\omega r)^2}{2g} \qquad (2.4)$$

При $r=R$ (здесь R – внутренний радиус цилиндра) из уравнения (2.4) получаем выражение для определения высоты H параболоида вращения:

$$H=\frac{(\omega R)^2}{2g} \qquad (2.5)$$

Зависимость (2.4) лежит в основе работы жидкостных тахометров – приборов для измерения числа оборотов вала различных машин. А само явление относительного равновесия жидкости во вращающемся цилиндре используется, например, при центробежном литье труб.

2.2. Описание лабораторной установки № 2.

Схема установки для изучения относительного покоя жидкости, представлена на рис. 2.2. Симуляционная модель лабораторной установки (рис. 2.3) включает открытый вертикальный цилиндрический сосуд с водой (1), установленный на вращающуюся платформу (2). Платформа соединена с помощью вала (3) с электродвигателем в нижней части установки.

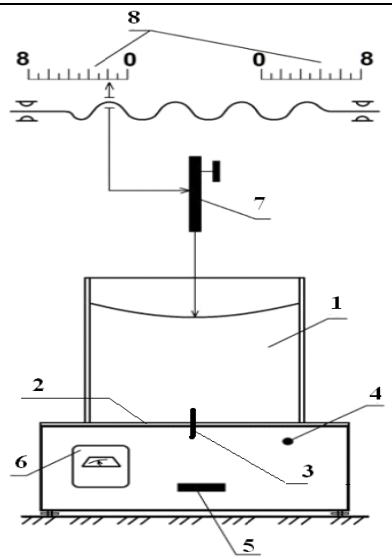


Рис. 2.2 Схема экспериментальной установки.
1 – цилиндрический сосуд;
2 – вращающаяся платформа;
3 – вал электродвигателя ;
4 – тумблер вкл/выкл установки;
5 – регулятор скорости;
6 – индикатор тахометра;
7 – шпицен масштаб;
8 – горизонтальная линейка;
9 – игла шпицен масштаба.

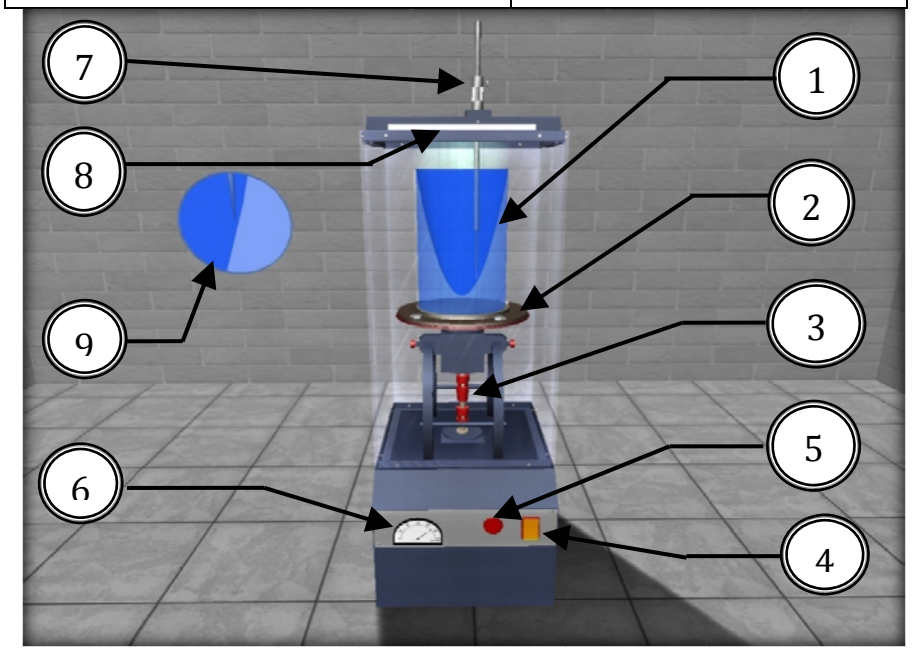


Рис. 2.3. Симуляционная модель лабораторной установки.

Электродвигатель включается с помощью тумблера (4). Регулятор (5) позволяет изменять скорость вращения платформы. Текущие обороты вала отслеживаются с помощью тахометра (6). Для определения координат x и z точек свободной поверхности вращающейся жидкости установка снабжена горизонтальной линейкой (8) и вертикальной мерной иглой (7), являющейся уровнемером, позволяющей точно фиксировать высотное положение точек свободной поверхности. Касание иглы и свободной поверхности жидкости отслеживается с помощью увеличенной области на экране (9).

2.3. Порядок выполнения л/р № 2.

Цели лабораторной работы:

1. Пронаблюдать процесс установления равновесия воды в открытом цилиндре, вращающемся с постоянной угловой скоростью ω вокруг вертикальной оси, обратив при этом особое внимание на характер свободной поверхности; измерить координаты x и z пяти ее точек, расположенных от оси вращения на расстояниях x, равных $1{,}00R$; $0{,}75R$; $0{,}50R$; $0{,}25R$ и $0{,}00R$, радиуса цилиндра.
2. Измерить на установке высоту параболоида вращения H_{exp}, сравнить ее с теоретической H, вычисленной по формуле (2.5), и определить относительное отклонение.
3. Построить по опытным данным в масштабе параболоид вращения и две эпюры манометрического давления (по глубине жидкости, на расстоянии R от оси вращения и по дну цилиндра).

Дополнительная информация по управлению виртуальной моделью (см. рис. 2.3).

1. Для включения/выключения питания – щелкните левой / правой кнопкой мыши по выключателю питания (4).
2. После включения питания задайте частоту вращения по тахометру (6) с помощью регулятора на панели управления (5) (увеличение частоты вращения – левая кнопка мыши; уменьшение – правая кнопка мыши).
3. Перемещение камеры осуществляется движением мыши с нажатой левой клавишей мыши.
4. Для перемещения камеры к мерным шкалам щелкните по ним левой кнопкой мыши.
5. Плавное перемещение шпиценмасштаба осуществляется ком-

бинацией клавиш: Shift + клавиши со стрелками.

6. Для ускоренного перемещения шпицензмасштаба перемещайте мышь при нажатом колесе мыши (средней клавиши мыши).

7. Возврат камеры в каждое предыдущее положение осуществляется щелчком правой кнопкой мыши.

Таблица № 2.1

Варианты исходных данных

Номер варианта	Скорость вращения	Номер варианта	Скорость вращения	Номер варианта	Скорость вращения
1	75	11	125	21	175
2	80	12	130	22	180
3	85	13	135	23	185
4	90	14	140	24	190
5	95	15	145	25	195
6	100	16	150	26	200
7	105	17	155	27	205
8	110	18	160	28	210
9	115	19	165	29	215
10	120	20	170	30	220

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

1. Измерить мерной иглой (7) координату заглубления z_D дна цилиндра.

2. Включить электродвигатель выключателем (4), наблюдать за вращающейся жидкостью и, убедившись, что параболоид вращения принял устойчивое положение, измерить тахометром (6) число оборотов в минуту n вращения цилиндра. С помощью горизонтальной линейки и мерной иглы – координаты x и z пяти точек свободной поверхности вращающейся жидкости.

3.Скорость вращения цилиндра принимается по таблице № 2.1 в зависимости от номера варианта, заданного преподавателем. Для ее задания используется регулятор (5).

4. Результаты измерений записать в таблицу № 2.2, после чего выключить электродвигатель (4). Выполнить все вычисления, предусмотренные таблицей 2.2 и 2.3. Данные для 2 и 4 столбца таблицы № 2.3 берутся из таблицы № 2.2, а давление рассчитывается по формуле (2.1), для удобства преобразованную к следующему виду :

$$p = p_0 + \rho g\left(H + z_0 - z\right) + \rho\frac{(\omega r)^2}{2} \qquad (2.6)$$

Таблица 2.2

Результаты измерений и вычислений

№	Измеряемые и рассчитываемые величины		Ед. изм.	Экспериментальные результаты		
1	Внутренний радиус цилиндра R		м			
2	Скорость вращения цилиндра n		об/мин			
3	Угловая скорость вращения цилиндра $\omega = \pi n/30$		1/с			
4	Координата дна цилиндра (z_D)		м			
5	Превышение вершины параболоида вращения над отметкой дна цилиндра $Z_0 = Z(x=0)$		м			
6	Высота параболоида вращения (теоретическая) $H=(\omega R)^2/2g$		м			
	Точки на поверхности жидкости	$x_1=1{,}00R$; h_1; $z_1=z_D-h_1$	м			
		$x_2=0{,}75R$; h_2; $z_2=z_D-h_2$	м			
		$x_3=0{,}50R$; h_3; $z_3=z_D-h_3$	м			
		$x_4=0{,}25R$; h_4; $z_4=z_D-h_4$	м			
		$x_5=0{,}00R$; h_5; $z_5=z_D-h_5$	м			
8	Высота параболоида вращения (экспериментальная) $H_{exp} = z_5 - z_1$		м			
9	Относительное отклонения высоты параболоида вращения $E_H = \frac{\lvert H - H_{exp}\rvert}{H}\cdot 100$		%			

5. По данным таблиц 2.2, 2.3 построить в масштабе на миллиметровке 3 графика : параболоид вращения; эпюру манометрического давления воды по радиусу на дне цилиндра; эпюру манометрического давления воды по всей высоте стенки цилиндра, т. е. на расстоя-

нии *R* от оси вращения.

6. Дать заключения по лабораторной работе.

Таблица 2.3

Результаты вычисления для построения эпюры.

№ точки	*X* *(z=0)*	Давление *P*, кПа	*Z* *(x=R)*	Давление *P*, кПа
1	2	3	4	5
	давление на дно		давление на стенку	
1	$x_{1=}$		$z_{1=}$	
2	$x_{2=}$		$z_{2=}$	
3	$x_{3=}$		$z_{3=}$	
4	$x_{4=}$		$z_{4=}$	
5	$x_{5=}$		$z_{5=}$	
			$z_{6}=0$	

4.4. Контрольные вопросы к л/р № 2.

1. Поясните, что такое относительный покой жидкости, и приведите примеры использования этого явления в технике ?

2. Поясните, что представляет собой свободная поверхность жидкости во вращающемся цилиндрическом сосуде, напишите уравнение этой поверхности ?

3. Назовите силы, действующие на каждую частицу жидкости во вращающемся цилиндрическом сосуде, укажите ускорения, вызываемые этими силами. Поясните ответ схемой ?

4. Напишите и поясните закон распределения гидростатического давления по глубине жидкости во вращающемся резервуаре ?

5. Напишите и поясните формулу для определения высоты параболоида вращения ?

6. Изобразите и прокомментируйте эпюру гидростатического давления по дну вращающегося цилиндра с жидкостью ?

7. Напишите и поясните закон распределения гидростатического давления по дну цилиндра в жидкости, вращающейся вместе с сосудом вокруг вертикальной оси ?

8. Какие силы действуют на жидкость, находящуюся во вращающемся сосуде, как выражаются эти силы ?

9. Объясните, как будет направлен вектор равнодействующей силы на каждую частицу вращающейся жидкости по отношению к свободной поверхности ?

10. Объясните, почему свободная поверхность жидкости во вращающемся цилиндрическом сосуде является криволинейной ?

3. Лабораторная работа № 3. ««Определение опытным путем слагаемых уравнения Д. Бернулли при установившемся неравномерном движении жидкости»

3.1 Описание физического процесса л/р № 3.

В работе рассматривается процесс движения жидкости. Для двух произвольно выбранных живых сечений *I–I* и *II–II* струйки реальной жидкости при установившемся движении (рис. 3.1), уравнение Д. Бернулли имеет вид

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\upsilon_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\upsilon_2^2}{2g} + h_{W_{1-2}} \qquad (3.1)$$

Слагаемые, входящие в уравнение (3.1) , можно истолковать с геометрической и энергетической точек зрения. С геометрической точки зрения слагаемые уравнения (3.1) являются высотами (напорами):

z – геометрическая высота (напор), т. е. превышение центра тяжести рассматриваемого поперечного сечения струйки над плоскостью сравнения 0–0, выбираемой произвольно;

$\frac{p}{\rho g}$ – пьезометрическая высота (напор), т. е. высота подъема жидкости в пьезометре, подключенном к центру тяжести рассматриваемого сечения струйки, отвечающая гидродинамическому давлению p в этой точке;

$\frac{\upsilon^2}{2g}$ – скоростная высота (напор), отвечающая местной скорости υ, т. е. скорости в центре тяжести сечения;

$z + \frac{p}{\rho g}$ – гидростатический напор;

$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\upsilon^2}{2g} = H$ – полный напор в рассматриваемом сечении струйки;

$h_{W_{1-2}} = H_1 - H_2$ – потеря полного напора, т. е. часть полного напора, затраченная на преодоление гидравлических сопротивлений на

пути между сечениями *I–I* и *II–II*.

С энергетической точки зрения слагаемые уравнения (3.1) представляют собой разновидности удельной энергии, а именно:

z – удельная потенциальная энергия положения жидкости в рассматриваемом сечении струйки;

$\frac{p}{\rho g}$ – удельная потенциальная энергия давления;

$z + \frac{p}{\rho g}$ – удельная потенциальная энергия жидкости;

$\frac{\upsilon^2}{2g}$ – удельная кинетическая энергия движения жидкости;

$z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\upsilon^2}{2g}$ – полная удельная энергия жидкости;

$h_{W_{1-2}}$ – потеря полной удельной энергии струйки, т. е. части ее, затраченной на преодоление работы сил внутреннего трения, обусловленного вязкостью жидкости.

Удельной энергией называется энергия, приходящаяся на единицу веса жидкости.

Величины слагаемых уравнения (3.1) могут быть определены опытным путем следующим образом:

z – геометрическим нивелированием или измерением линейкой;

$\frac{p}{\rho g}$ – с помощью пьезометрической трубки (пьезометра);

$\frac{\upsilon^2}{2g}$ – по разности отметок уровней жидкости в скоростной и пьезометрической трубках, подключенных к рассматриваемой точке живого сечения струйки;

$h_{W_{1-2}}$ – по разности отметок уровней воды в скоростных трубках, подключенных к сечениям *I–I* и *II–II* струйки реальной жидкости.

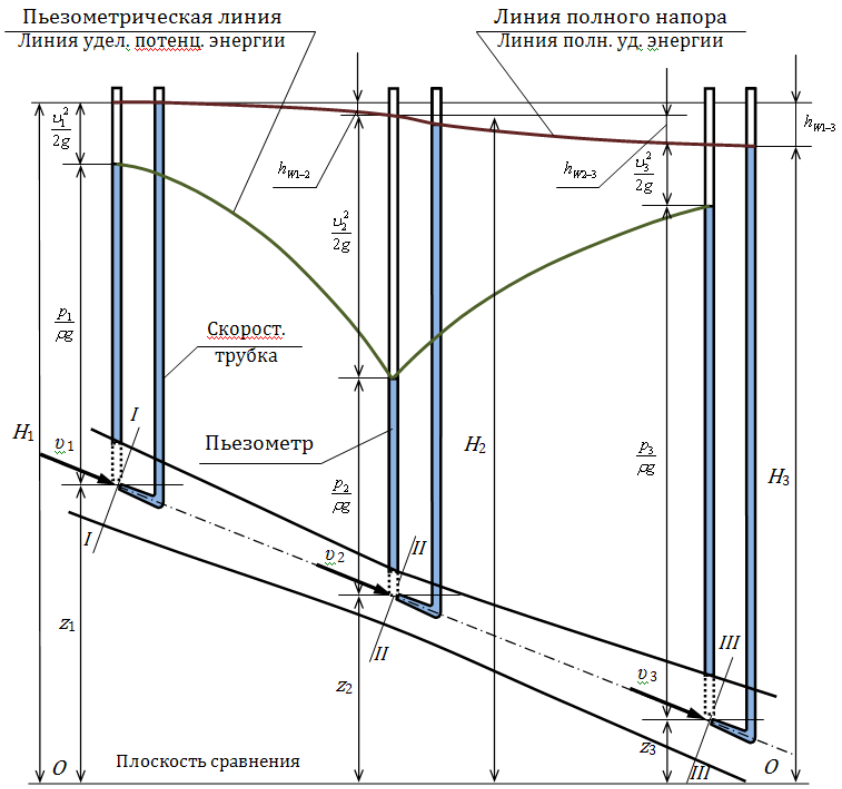


Рис. 3.1 – Диаграмма уравнения Д. Бернулли для струйки реальной жидкости.

Скоростная трубка или трубка Пито (рис. 3.2) представляет собой трубку, верхний конец которой открыт в атмосферу, а нижний изогнут навстречу скорости υ в рассматриваемой точке потока жидкости. Благодаря этому, у входа в изогнутый конец скоростной трубки кинетическая энергия частицы жидкости преобразуется в потенциальную энергию давления столба жидкости $h_\upsilon = \dfrac{\upsilon^2}{2g}$.

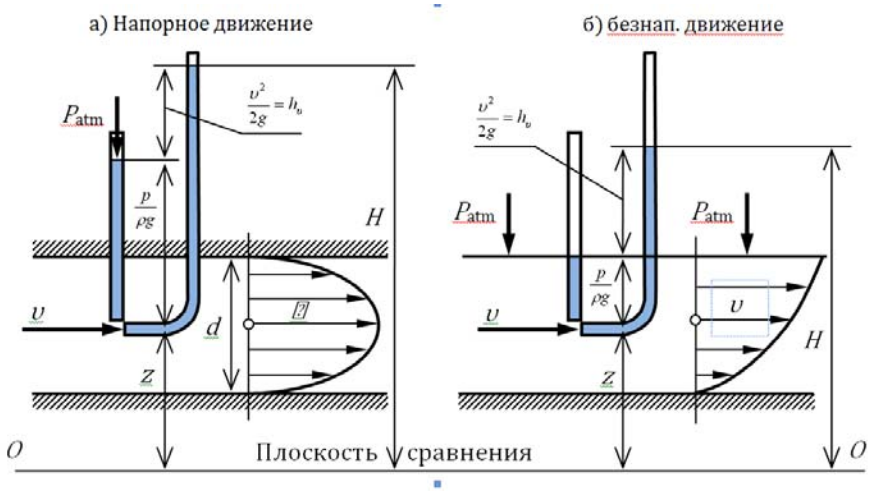


Рис. 3.2 – К измерению скоростного напора $\upsilon^2/2g$

Поскольку срез нижнего конца скоростной трубки перпендикулярен вектору скорости, а срез нижнего конца пьезометра параллелен, уровень жидкости в скоростной трубке всегда устанавливается выше, чем в пьезометре, на величину $h_\upsilon = \dfrac{\upsilon^2}{2g}$.

Прибор, объединяющий конструктивно пьезометрическую и скоростную трубки , называется прибором (трубкой) Пито–Прандтля и широко применяется для измерения местной скорости движения жидкости: $\upsilon = \sqrt{2gh_\upsilon}$.

Для двух сечений потока реальной жидкости уравнение Д. Бернулли имеет вид

$$z_1 + \frac{p_1}{\rho g} + \frac{\alpha_1 \upsilon_1^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\rho g} + \frac{\alpha_2 \upsilon_2^2}{2g} + h_{W_{1-2}}\,, \qquad (3.2)$$

где $\dfrac{\alpha\upsilon^2}{2g}$ – скоростной напор, отвечающий средней скорости $\upsilon = \dfrac{Q}{S}$ потока жидкости в рассматриваемом живом сечении (здесь Q – расход потока жидкости; S – площадь живого сечения потока);

$h_{W_{1-2}}$ – потеря полного напора (полной удельной энергии) на преодоление работы сил внутреннего и внешнего трения на пути между живыми сечениями потока жидкости *I–I* и *II–II*; α – коэффициент Кориолиса (корректив кинетической энергии), учитывающий неравномерность распределения местных скоростей υ по живому сечению потока, обусловленную вязкостью жидкости.

Величина α зависит от режима течения жидкости и вида движения. Так, при равномерном движении для ламинарного режима $\alpha = 2$, а для турбулентного – $\alpha = 1.05...1.15$.

Слагаемые уравнений (3.1) и (3.2) в различных живых сечениях можно изображать графически в виде диаграммы уравнения Д. Бернулли, дающей наглядное представление о перераспределении по пути движения жидкости потенциальной и кинетической энергии, а также о характере убывания полной энергии (см. рис. 3.1).

3.2. Описание лабораторной установки № 3.

Схема лабораторной установки представлена на рис. 3.3. Симуляционная модель лабораторной установки (рисунок 3.4) включает трубопровод переменного сечения (1), напорный бак (2), в который вода подается через подводящий трубопровод путем открытия крана (3). Напорный бак с трубой (10) оснащен переливным устройством (8) для поддержания постоянного уровня воды с целью обеспечения постоянного расхода жидкости в трубопроводе переменного сечения (1). Пьезометры и скоростные трубки (4) подключены к сечениям *I–I* и *II–II* трубопровода переменного сечения для измерения величин $z + \frac{p}{\rho g}$ и $z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\upsilon^2}{2g}$. Измерительные пьезометрические трубки закреплены на специальном стенде (5). Величина расхода воды в трубопроводе переменного сечения регулируется клапаном (6). Для замера расхода воды в системе предусмотрены мерный бак (7), переливное устройство (8), пьезометрическая трубка со шкалой (9) и секундомер (11).

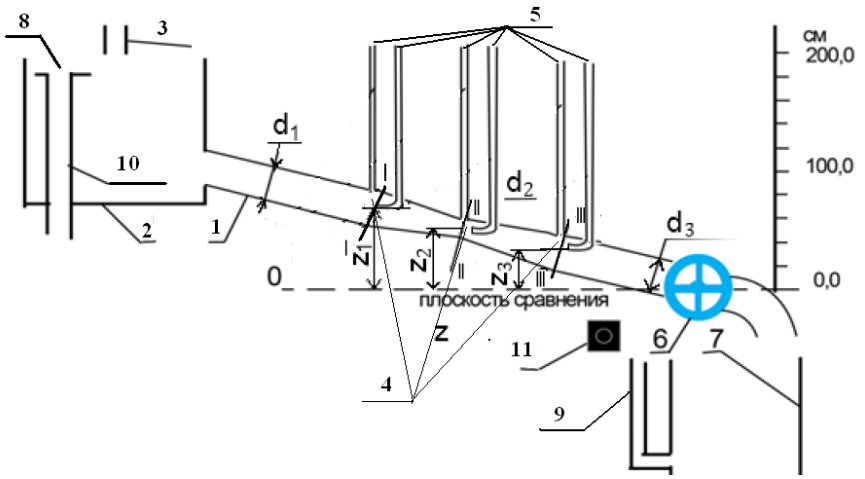


Рис.3.3 – Схема лабораторной установки

1 - трубопровод; 2 - напорный бак; 3 - питающий трубопровод; 4 – точки замеров по пьезометрам и трубкам Пито ; 5– стендовые пьезометрические трубки; 6 – вентиль; 7 – мерный бак; 8 – анти переливное устройство; 9 – переливное устройство; 10 – питающий трубопровод; 11 - секундомер

3.3 Порядок выполнения л/р № 3.

Цели лабораторной работы:

1. Определить опытным путем и методом вычислений слагаемые z, $\frac{p}{\rho g}$, $\frac{\upsilon^2}{2g}$ уравнения Д. Бернулли для сечений *I–I*, *II–II* и сечения *III–III* соответственно, а также потери полного напора $h_{W_{1-3}}$ между сечениями *I–I* и *III–III*.

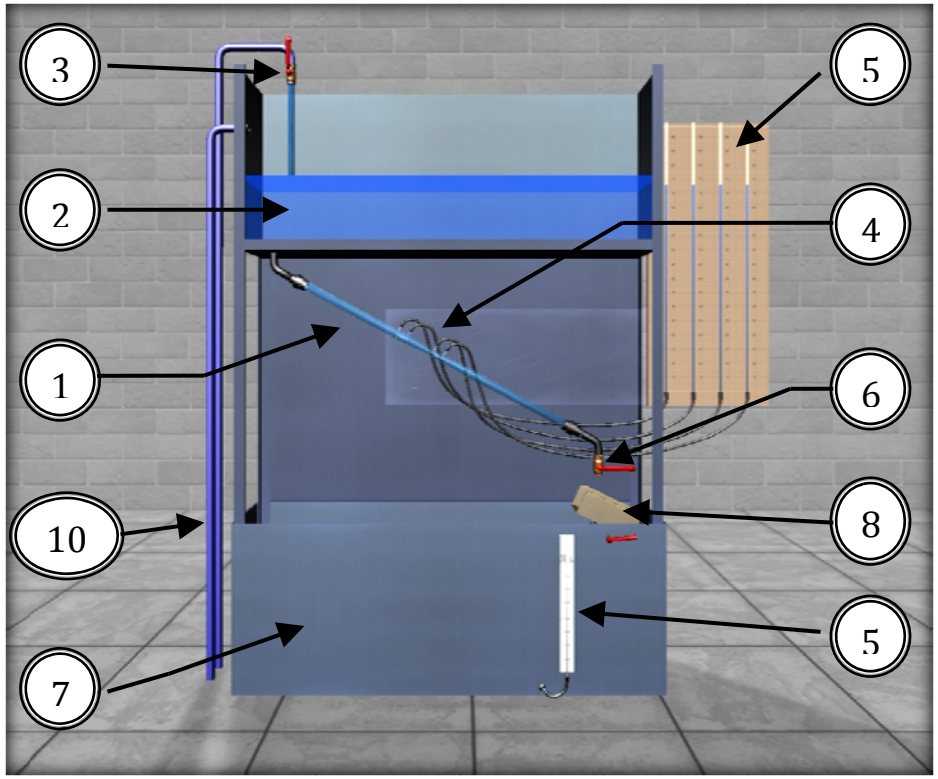


Рис.3.4 – Внешний вид симуляционной лабораторной установки

2. Вычислить средние скорости потока υ и отвечающие им скоростные напоры $\frac{\upsilon^2}{2g}$ для указанных живых сечений потока.

3. Построить в масштабе по опытным данным пьезометрическую линию и линию полного напора.

Дополнительная информация по управлению виртуальной моделью (см. рис. 3.4)

1. Для наполнения установки водой откройте кран подачи воды (3), щелкнув по нему левой кнопкой мыши.

2. Кран расхода (6) регулируется кнопками мыши.

3. Перемещение камеры к трубке – щелчок по левой кнопке.

4.Перемещение камеры осуществляется клавишами со стрелками и наведением мыши к краям экрана.

5. Для перемещения камеры к пьезометрам щелкните по ним левой кнопкой мыши. При работе с пьезометрами можно перемещать камеру вертикально с помощью клавиш со стрелками и мыши.

6. Для замера расхода щелкните по переливу воды (8).

7. Для замера расхода щелкните левой кнопкой мыши по появившемуся на экране секундомеру (11).

8. Возврат камеры в каждое предыдущее положение осуществляется щелчком правой кнопки мыши.

9. Более полную информацию по управлению можно получить в левом верхнем углу экрана, когда камера находится в отдаленном положении, нажав и удерживая кнопку 1 или 2 на клавиатуре.

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

1. При закрытом регулировочном вентиле (6) открыть питающий вентиль (3) для заполнения напорного бака и трубопровода (1) переменного сечения водой. При этом следует обратить внимание на уровни воды в пьезометрических и скоростных трубках (5). Эти уровни при отсутствии воздуха должны быть на одной отметке.

2. Открыть регулировочный вентиль (6) так, чтобы трубопровод переменного сечения работал полным сечением, а уровень воды в напорном баке был постоянным.

3. Измерить с помощью мерного бака (7) и секундомера (11) расход воды. Другие геометрические параметры были определены ранее. Геометрические высоты центров тяжести сечений *I–I*, *II–II* и *III–III* относительно плоскости сравнения 0–0, составляют: z_1= 70 см, z_2 = 50 см, z_3 = 30см. Диаметры труб d_1= 2.8 см, d_2 = 1.8 см, d_3 = 2.8 см. Расстояния между сечениями 1 – 2 и 2 – 3, равны 12.5 см.

4. Определить по шкалам отметки уровней воды в пьезометрах и скоростных трубках в сечениях *I–I* и *II–II*. Результаты всех измерений записать в табл. 3.1.

5. Выполнить все вычисления, предусмотренные табл. 3.1.

Для сечения *III–III*, числовые значения величин (см. поз. 5 и 11…15) принять аналогичными сечению *I–I*.

Потери полного напора $h_{W_{2-3}}$ (см. поз. 6) между сечениями *II–II* и *III–III* принять равными потерям напора $h_{W_{1-2}}$.

Таблица 3.1.

Результаты измерений и вычислений

№	Измеряемые и вычисляемые величины		Ед. изм.	Экспериментальные данные		
				I–I	*II–II*	*III–III*
1	Геометрические высоты центров тяжести сечений z		м			
2	Отметки уровней воды в пьезометрах, т. е. гидростатические напоры	$z+\frac{p}{\rho g}$	м			
3	Уровни в скор. трубках, (полные	$z+\frac{p}{\rho g}+\frac{\upsilon^2}{2g}$	м			
4	Пьезометрические высоты	$\left(z+\frac{p}{\rho g}\right)-z$	м			
5	Скоростные высоты	$\frac{\upsilon^2}{2g}=H-\left(z+\frac{p}{\rho g}\right)$	м			
6	Потери полного напора на пути между соседними живыми сечениями струйками $h_{w_{i-(i+1)}}=H_i-H_{i+1}$		м			
7	Суммарные потери полного напора $h_{w_{I-III}}=H_I-H_{III}$		м			
8	Объем воды в мерном баке W		м^3			
9	Продолжит. наполнения объема в		с			
10	Расход воды в трубопроводе		м^3/			
11	Диаметр сечения d		м	0.028	0.019	0.028
12	Площадь сечения $S=\pi d^2/4$		м^2			
13	Средняя скорость движения воды		м/			
14	Скоростная высота, отвечающая средней скорости $\upsilon^2/2g$		м			
15	Относительное отклонение скоростных высот $\frac{\upsilon^2-v^2}{v^2}\cdot 100$		%			

Остальные величины для сечения *III–III* (см. поз. 1...4) следует определить с привлечением уравнения Д. Бернулли (3.1) и рис. 3.1.

6. Построить по полученным данным, в масштабе, диаграмму Бернулли, которая включает в себя линию полного напора и пьезометрическую линию (см. рис. 3.1).

7. Дать заключение по результатам работы.

3.4. Контрольные вопросы к л/р № 3.

1. Поясните геометрический смысл слагаемых уравнения Д. Бернулли ?

2. Поясните энергетический смысл слагаемых уравнения Д.Бернулли. ?

3. Как называется коэффициент α, входящий в уравнение Д. Бернулли для потока реальной жидкости, что он учитывает, от чего зависит его величина и каков его физический смысл?

4. Объясните, чем обусловлены потери полного напора и каков их энергетический смысл ?

5. Поясните, что понимают под термином «удельная энергия»?

6. Объясните термины «местная скорость» и «средняя скорость» и укажите, как определяют эти скорости.?

7. Поясните, что такое скоростная трубка и трубка Пито – Прандтля.?

8. Поясните, что такое линия полного напора и пьезометрическая линия; что будут представлять собой эти линии при равномерном движении реальной жидкости ?

9. Что понимают под термином «живое сечение потока жидкости»?

10. Охарактеризуйте движение жидкости на пути между сечениями *I–I* …*II–II*, исходя из классификации движений жидкости ?

4, Лабораторная работа № 4. Экспериментальная иллюстрация ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости, установление законов гидравлического сопротивления и определение критического числа Рейнольдса.

4.1 Описание физического процесса л/р № 4.

Многочисленными экспериментальными исследованиями установлено, что движение жидкости может происходить или при ламинарном, или при турбулентном режиме.

Ламинарный режим наблюдается при небольших скоростях движения. При этом окрашенные струйки жидкости не перемешиваются, сохраняя траекторию своего движения по всей длине потока, т. е. движение жидкости при ламинарном режиме является струйчатым, перемешивание частиц жидкости отсутствует.

Турбулентный режим наблюдается при значительных скоростях и характеризуется интенсивным перемешиванием частиц жидкости, что обусловливает пульсацию скоростей и давления.

Средняя скорость потока, при которой происходит смена режима движения жидкости, называется критической υ_{cr}. Величина ее, как показывают опыты в трубопроводах круглого сечения, зависит от рода жидкости, характеризуемого динамической вязкостью μ и плотностью ρ , а также от диаметра трубопровода *d*. Одновременно опытами установлено, что величина безразмерного алгебраического комплекса, называемого критическим числом Рейнольдса, отвечающего критической скорости υ_{cr}:

$$\text{Re}_{\text{cr}(d)} = \frac{\upsilon_{\text{cr}}\rho d}{\mu} = \frac{\upsilon_{\text{cr}} d}{\nu} \approx 2320 = const \qquad (4.1)$$

Устойчивый ламинарный режим движения жидкости наблюдается при значениях числа Рейнольдса $\text{Re}_{(d)} = \frac{\upsilon d}{\nu} < \text{Re}_{\text{cr}(d)} \approx 2320$, а турбулентный – при $\text{Re}_{(d)} = \frac{\upsilon d}{\nu} > \text{Re}_{\text{cr}(d)} \approx 2320$.

Таким образом, число Рейнольдса

$$\text{Re}_{(d)} = \frac{\upsilon d}{\nu} , \qquad (4.2)$$

является критерием, позволяющим судить о режиме движения жидкости в круглой трубе, работающей полным сечением.

Величину $\nu = \frac{\mu}{\rho}$, имеющую размерность [м^2/с], входящую в формулы (4.1) и (4.2), называют кинематическим коэффициентом вязкости жидкости.

Из изложенного следует, что для определения режима напорного движения жидкости в круглом трубопроводе достаточно вычислить по формуле (4.2) число Рейнольдса и сравнить его с критическим.

Знание режима движения жидкости необходимо для правильной оценки потерь напора при гидравлических расчетах. Как показывают опыты в круглых трубах при напорном равномерном движении (результаты их представлены на рис. 4.1 в виде графика зависимости потерь напора по длине h_l от средней скорости υ), при ламинарном режиме потери напора h_l пропорциональны средней скорости υ в первой степени, а при турбулентном – в степени $1.75 \le m \le 2$. Заметим, что с помощью этого графика определяют величину критической скорости υ_{cr}, а через нее – и критическое число Рейнольдса по формуле (4.1).

4.2. Описание лабораторной установки № 4.

Схема лабораторной установки установки представлена на рис. 4.2. Симуляционная модель лабораторной установки (рис. 4.3) включает горизонтально расположенную стеклянную трубку (1), предназначенную для исследования движения воды в различных режимах (диаметр трубки 10 мм), напорный бак (2), емкость с раствором красителя (3), подача которого осуществляется в стеклянную трубку. Лабораторный стенд также включает мерный бак и секундомер для измерения расхода воды в стеклянной трубке. Значение расхода воды измеряется в месте слива воды в правой части установки (4).

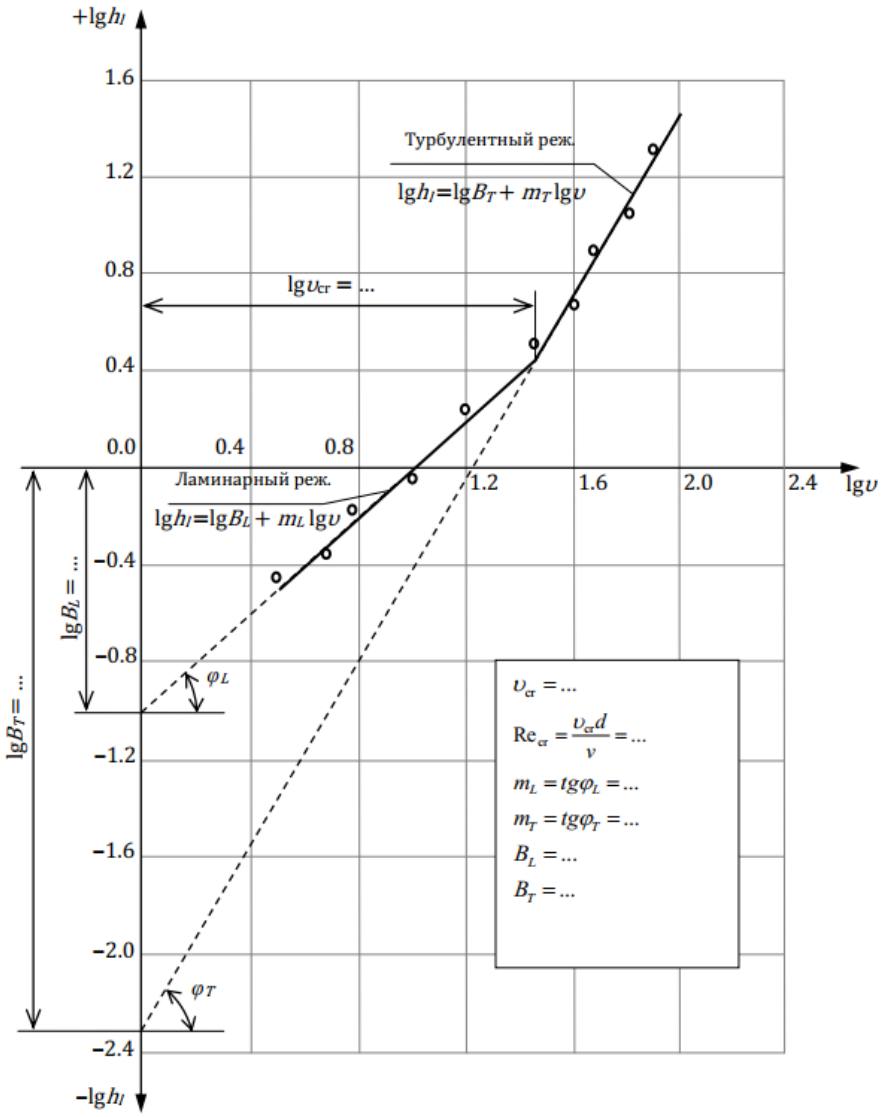


Рисунок 4.1 – График зависимости потери напора по длине h_l от средней скорости υ в логарифмической форме

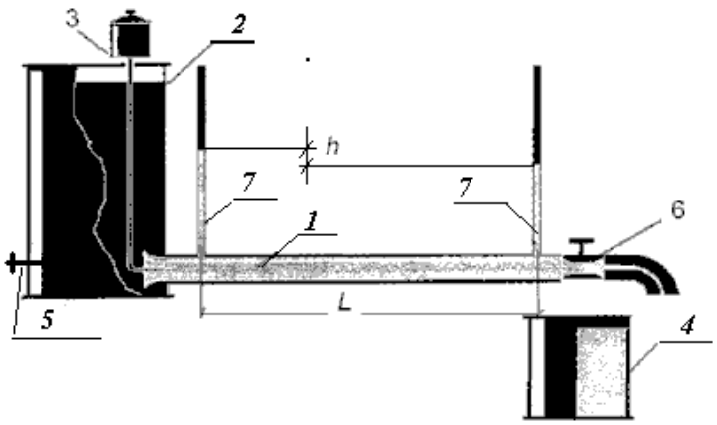


Рисунок 4.2 – Схема лабораторной установки.

1 – стеклянная трубка; 2 – напорный бак; 3 – водный краситель; 4 – мерная емкость; 5 – вентиль открытия воды; 6 - регулирующий кран; 7 – пьезометры.

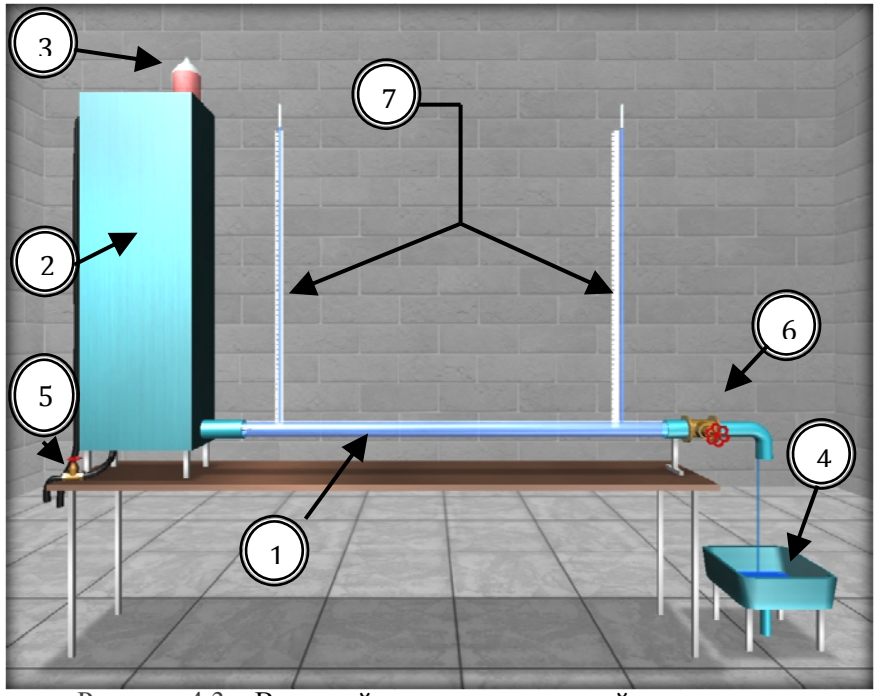


Рисунок 4.3 – Внешний вид симуляционной установки.

Вода подается в напорный бак по подающему трубопроводу путем открытия вентиля (5). Напорный бак оснащен переливным устройством для поддержания постоянного уровня воды во время экспериментов.

Изменение расхода воды, следовательно, и средней скорости ее движения в стеклянной трубе, осуществляется регулирующим вентилем (6). На стеклянной трубке установлены пьезометры (7) для определения потерь напора по длине h_l (по разности их показаний).

4.3. Порядок выполнения л/р № 4.

Цели лабораторной работы:

1. Убедиться на опыте путем окрашивания струйки воды в стеклянной трубе в существовании ламинарного и турбулентного режимов.

2. Вычислить по данным опытов, проведенных на этой трубе, числа Рейнольдса при ламинарном и турбулентном режимах, сравнить их с критическим, убедиться, что при ламинарном режиме $\mathrm{Re} < \mathrm{Re}_{\mathrm{cr}}$, а при турбулентном $\mathrm{Re} > \mathrm{Re}_{\mathrm{cr}}$.

3. Построить по опытным данным график $\lg h_l = f(\lg \upsilon)$, определить с его помощью критическую скорость υ_{cr}, а через нее вычислить критическое число Рейнольдса $\mathrm{Re}_{\mathrm{cr}(d)} = \dfrac{\upsilon_{\mathrm{cr}} d}{\nu}$.

4. Подтвердить с помощью графика $\lg h_l = f(\lg \upsilon)$, что при ламинарном режиме потери напора по длине h_l пропорциональны средней скорости в первой степени, а при турбулентном − в степени $1.75 \le m \le 2$.

Дополнительная информация по управлению виртуальной моделью

1. Для наполнения установки водой откройте вентиль подачи воды (5), щелкнув по нему левой кнопкой мыши.

2. Вентиль изменения расхода (6) регулируется левой и правой кнопками мыши.

3. Подача красителя осуществляется при открытии краника (3) щелчком по нему левой кнопкой мыши.

4. Перемещение камеры осуществляется клавишами со стрелками и наведением мыши к краям экрана.

5. Для перемещения камеры к пьезометрам (7) щелкните по ним левой кнопкой мыши. В режиме работы с пьезометрами можно перемещать камеру вертикально с помощью клавиш со стрелками и мыши.

6. Для перехода к замеру расхода щелкните по изогнутому участку трубопровода (1) (справа от вентиля изменения расхода (6)).

7. Для замера расхода щелкните левой кнопкой мыши по появившемуся на экране секундомеру.

8. Возврат камеры в каждое предыдущее положение осуществляется щелчком правой кнопки мыши.

9. Более полную информацию по управлению можно получить в левом верхнем углу экрана, когда камера находится в отдаленном положении, нажав и удерживая кнопку 1 или 2 на клавиатуре.

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

1. Открыть подающий вентиль (5) на питающем трубопроводе и наполнить водой напорный бак настолько, чтобы работало переливное устройство.

2. Открыть незначительно регулирующий вентиль на стеклянной трубке (6) , чтобы скорость движения воды в ней была небольшой (вода должна течь тонкой струйкой).

3. Приоткрыть краник на емкости с красителем (3) и направить в стеклянную трубку небольшое количество раствора красителя, чтобы окрашенная струйка воды представляла собой отчетливо выраженную нить по всей длине трубы.

4. Измерить с помощью мерной емкости (4) и секундомера расход воды Q в трубе.

5. Измерить температуру воды в напорном баке термометром.

6. Результаты измерений записать в табл. 4.2.

7. Увеличить открытием регулирующего вентиля скорость движения воды в стеклянной трубе, но так, чтобы окрашенная струйка жидкости сохранялась, т. е. чтобы режим остался ламинарным и, выполнив те же измерения, что и в первом опыте, записать их результаты в табл. 6.1.

8. Дальнейшим увеличением открытия регулирующего вентиля

создать в стеклянной трубке турбулентный режим (об этом будет свидетельствовать интенсивное перемешивание раствора красителя с водой) и выполнить третий и четвертый опыты так, как описано выше. Результаты измерений записать в табл. 4.1.

9. Для заполнения табл. 6=4.2 сделать десять аналогичных опытов, увеличивая в каждом опыте открытие регулирующего вентиля в диапазоне от 0 до 100% так, чтобы 4–5 замеров были выполнены в ламинарном режиме, а 5–6 – в турбулентном. Результаты измерений записать в табл. 6=4.2.

10. Выполнить вычисления, предусмотренные табл. 4.1 и 4.2.

11. Построить в масштабе по данным табл. 4.2 график $\lg h_l = f(\lg \upsilon_{cr})$ и определить с его помощью критическую скорость υ_{cr}, а через нее и $\mathrm{Re}_{cr(exp.)} = \frac{\upsilon_{cr} d}{\nu}$, а также показатели степени m_L, m_T и коэффициенты пропорциональности B_L и B_T.

12. Дать заключение по результатам работы.

4.4. Основные контрольные вопросы к л/р № 4.

1. Назовите режимы движения жидкости и укажите их характерные особенности.

2. Поясните, что такое критерий Рейнольдса, назовите факторы, от которых он зависит, и укажите, в чем заключается его физический смысл.

3. Поясните, что такое критическое число Рейнольдса.

4. Поясните, каким образом при гидравлических расчетах определяют режим движения жидкости и с какой целью.

5. Поясните, что такое критическая скорость, от каких факторов она зависит и как ее определяют.

6. Напишите и поясните аналитические зависимости потерь напора по длине от средней скорости потока при ламинарном и турбулентном режимах движения жидкости.

7. Изобразите график зависимости потерь напора по длине от средней скорости (в логарифмических координатах) и дайте пояснения к нему.

8. Поясните, как определяются *Re* и *Re*кр для труб некруглого сечения.

9. Поясните, почему график *hl = f(.)* строят в логарифмических координатах.

10. Поясните, что такое гидравлический радиус и что он характеризует.

Таблица 4.1

Определение критического числа Рейнольдса

№	Измеряемые и вычисляемые величины	Ед. изм.	Экспериментальные данные			
			Ламинар. режим		турбул. режим	
			Экс 1	Экс. 2	Экс. 3	Экс. 4
1	Объем воды в мерном сосуде *W*	$см^3$				
2	Время наполнения объема *t*	с				
3	Расход воды $Q = W/t$	$см^3/с$				
4	Внутренний диаметр стеклянной трубы *d*	см	1.0			
5	Площадь поперечного сечения трубы $S = \pi d^2/4$	$см^2$				
6	Средняя скорость движения воды $\upsilon = Q/S$	см/с				
7	Температура воды *T*	^oC				
8	Кинематический коэффициент вязкости воды *v*	$см^2/с$	0.0088			
9	Число Рейнольдса $\mathrm{Re}_{(d)} = \frac{\upsilon d}{\nu}$	–				
10	Критическое число Рейнольдса (по справочнику) $\mathrm{Re}_{cr(ref)}$	–				

Таблица 4.2

Результаты измерений и вычислений

№	Измеряемые и вычисляемые величины	Ед. изм.	Экспериментальные данные									
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Объем воды в мерном сосуде W	$см^3$										
2	Время наполнения t	с										
3	Расход воды $Q = W/t$	$см^3/с$										
4	Внутренний диаметр трубы d	см	1.0									
5	Площадь поперечного сечения трубы $S = \pi d^2/4$	$см^2$										
6	Средняя скорость потока $\upsilon = Q/S$	см/с										
7	Логарифм средней скорости lg υ	–										
8	Отметка уровня воды в пьезометре 1, ∇_1	см										
9	Отметка уровня воды в пьезометре 2, ∇_2	см										
10	Потеря напора по длине $h_l = \nabla_1 - \nabla_2$	см										
11	Логарифм потери нап. по дл. lgh_l	–										
12	Температура воды T	°C										
13	Кинематический коэффициент вязкости воды в работе ν	$см^2/с$	0.0088									

5. Лабораторная работа № 5. «Изучение гидравлических сопротивлений напорного трубопровода»

5.1 Описание физического процесса л/р № 5.

Экспериментальными исследованиями установлено, что при движении жидкости часть полного напора (энергии) затрачивается на преодоление работы сил вязкости, т. е. возникают потери напора.

При равномерном движении жидкости гидравлическое сопротивление, проявляющееся равномерно по всей длине потока, называют сопротивлением по длине (потери по длинне), а вызываемые им потери напора – потерями напора по длине (h_l). Эти потери в круглых трубопроводах, работающих полным сечением, вычисляют по формуле Дарси – Вейсбаха:

$$h_l = \lambda \frac{l \cdot \upsilon^2}{d \cdot 2g}\ , \qquad (5.1)$$

где λ – безразмерный коэффициент, называемый коэффициентом гидравлического трения (коэффициентом Дарси). Величина коэффициента λ характеризует гидравлическое сопротивление трубопровода и зависит в общем случае от числа Рейнольдса Re и относительной шероховатости Δ_E/d трубопровода, т. е. $\lambda = f(Re, \Delta_E/d)$; l и d – длина и внутренний диаметр трубопровода; υ – средняя скорость движения потока жидкости.

На рисунке 5.1 изображена зависимость коэффициента гидравлического трения λ от числа Рейнольдса Re для труб с различной относительной искусственной шероховатостью Δ_E/d.

Величину коэффициента λ при гидравлических экспериментах вычисляют по опытным данным из формулы (5.1). При гидравлических же расчетах – по эмпирическим и полуэмпирическим формулам, например при ламинарном режиме:

$$\lambda = \frac{64}{\mathrm{Re}}\ , \qquad (5.2)$$

а при турбулентном режиме движения жидкости и работе трубопровода в области доквадратичного сопротивления – по формуле:

$$\lambda = 0.11\left(\frac{\Delta_E}{d} + \frac{68}{\mathrm{Re}}\right)^{0.25} \qquad (5.3)$$

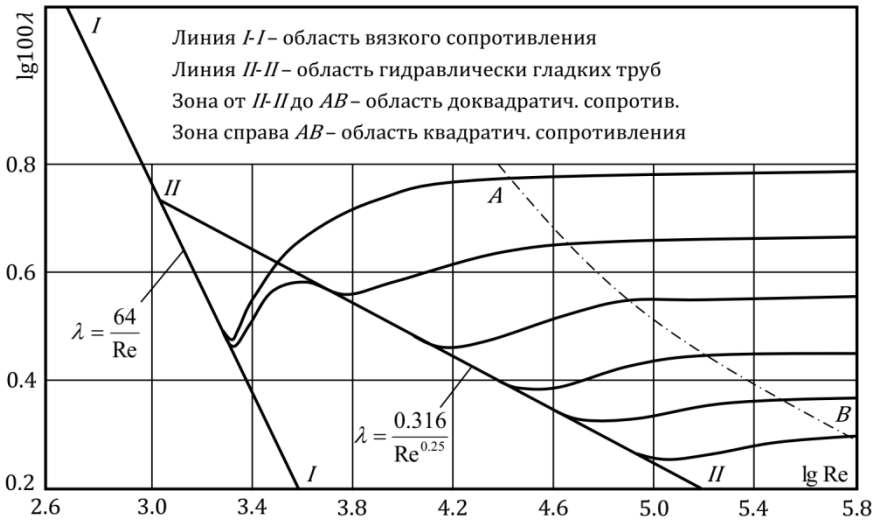


Рисунок 5.1 Зависимость коэффициента гидравлического трения λ от числа Рейнольдса *Re* для труб с различной искусственной шероховатостью

Величину абсолютной эквивалентной шероховатости Δ_E при расчетах берут из справочной литературы в зависимости от материала трубопровода и состояния его внутренней поверхности. Например, для труб из органического стекла Δ_E=0.006 мм, а для стальных водопроводных умеренно заржавленных труб Δ_E =0.20…0.50 мм.

Область гидравлического сопротивления при расчетах определяют или непосредственно по графикам $\lambda=f(Re,\Delta_э/d)$, полученным опытным путем для труб из различных материалов и приведенным в справочной литературе, или же с помощью соотношений $10d/\Delta_E$ и $500d/\Delta_E$. В последнем случае вычисляют соотношения $10d/\Delta_E$ и $500d/\Delta_E$ и сравнивают их с числом Рейнольдса $Re(d)=\upsilon\, d/\nu$. При этом если $Re\geq 500d/\Delta_E$, трубопровод работает в области квадратичного сопротивления. Если $3000<Re\leq 10d/\Delta_E$, трубопровод работает в области гидравлически гладких труб. Если же $10d/\Delta_E<Re<500d/\Delta_E$, трубопровод работает в области доквадратичного сопротивления.

Следует иметь в виду, что для каждой области гидравлического сопротивления предложены и используются при гидравлических расчетах свои формулы для вычисления коэффициента λ.

Другой вид гидравлических сопротивлений (местные сопротивления), возникающих в местах резкого изменения конфигурации потока, изменения скорости потока по величине или направлению, называют местными сопротивлениями, а вызываемые ими потери напора – местными потерями напора (h_{loc}).

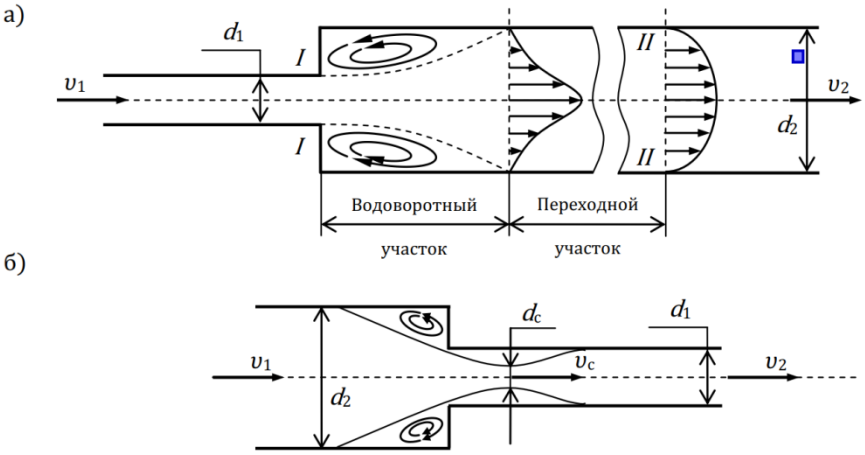


Рисунок 5.2 – Схемы движения жидкости при резком (внезапном) изменении сечения трубопровода: а – резкое расширение; б – резкое сужение

При прохождении через любое местное сопротивление поток жидкости деформируется (рис. 5.2), вследствие чего движение становится неравномерным, резко изменяющимся, для которого характерны:

а) значительное искривление линий тока и живых сечений потока;

б) отрывы транзитной струи от стенок трубопровода (ввиду действия закона инерции) и возникновение в местах отрыва устойчивых водоворотов;

в) повышенная (по сравнению с равномерным движением) пульсация скоростей и давлений;

г) изменение формы (переформирование) эпюр скоростей.

Местные потери напора при гидравлических расчетах вычисляют по формуле Вейсбаха:

$$h_{\text{loc}} = \zeta \frac{\upsilon^2}{2g} , \qquad (5.4)$$

где ζ – безразмерный коэффициент, называемый коэффициентом местного сопротивления; υ – средняя скорость потока в сечении за местным сопротивлением, т. е. ниже по течению (если скорость υ, как исключение, принимается перед местным сопротивлением, это обязательно оговаривается).

Величина коэффициента ζ зависит в общем случае от числа Рейнольдса *Re*, вида и конфигурации, т. е. формы проточной части местного сопротивления. В частном случае, когда трубопровод, на котором расположено местное сопротивление, работает в области квадратичного сопротивления, величина коэффициента ζ от *Re* не зависит.

Величину ζ для каждого вида местного сопротивления определяют по данным гидравлических экспериментов, пользуясь формулой (5.4). Полученные таким образом значения коэффициентов ζ для различных видов местных сопротивлений берутся при гидравлических расчетах (обычно при квадратичной области сопротивления) из справочной и специальной литературы. Исключением являются резкое расширение и резкое сужение трубопровода, для которых численные значения коэффициентов ζ определяются по формулам, полученным теоретическим и полуэмпирическим путем. При резком расширении трубопровода, когда средняя скорость в формуле (5.4) взята перед местным сопротивлением, т. е. υ_1, коэффициент местного сопротивления для резкого расширения

$$\zeta'_{\text{exp}} = \left(1 - \frac{S_1}{S_2}\right)^2 , \qquad (5.5)$$

где S_1 и S_2 – площади проходных сечений трубопровода до и после местного сопротивления по направлению движения жидкости соответственно.

Если же скорость берется за местным сопротивлением, т. е. υ_2, то

$$\zeta''_{\text{exp}} = \left(\frac{S_2}{S_1} - 1\right)^2 , \qquad (5.6)$$

Коэффициент местного сопротивления при резком сужении трубопровода (ζ_{nar}) принято относить к скорости после сужения. При

этом :

$$\zeta_{\text{nar}} = 0.5\left(1 - \frac{S_2}{S_1}\right)^2 , \qquad (5.7)$$

5.2. Описание лабораторной установки № 5.

Симуляционная модель лабораторной установки (рис.5.3) включает питающий резервуар (1), в который осуществляется подача воды по трубопроводу (2). Внутри резервуара предусмотрено переливное устройство, обеспечивающее установившееся движение в системе. При этом отвод воды из правой части резервуара осуществляется через трубопровод (3). Для включения подачи воды используется кран (4). Из левой части резервуара вода подается в напорный трубопровод (5) с последовательно расположенными на нем гидравлическими сопротивлениями (по длине и местными). К каждому гидравлическому сопротивлению подключено по два пьезометра (перед ним и за ним). Все пьезометры для удобства работы выведены на стенд (6). Для регулирования расхода воды *Q* в системе служит вентиль (7). Величина *Q* измеряется с помощью мерного бака (8) и секундомера.

Установка позволяет провести необходимые замеры и определить коэффициенты гидравлического трения λ и коэффициенты местных сопротивлений ζ для следующих участков (p_i – пьезометр в начале участка, p_{i+1} – пьезометр в конце участка):

p_1–p_2 – прямой участок для определения потерь напора по длине и вычисления коэффициента гидравлического трения λ;

p_2–p_3 – резкое расширение для определения потерь напора на местном сопротивлении и вычисления коэффициента местного сопротивления ζ;

p_3–p_4 – плавный поворот для определения потерь напора на местном сопротивлении и вычисления коэффициента местного сопротивления ζ;

p_4–p_5 – прямой участок для определения потерь напора по длине и вычисления коэффициента гидравлического трения λ;

p_5–p_6 – резкий поворот для определения потерь напора на местном сопротивлении и вычисления коэффициента местного сопротивления ζ;

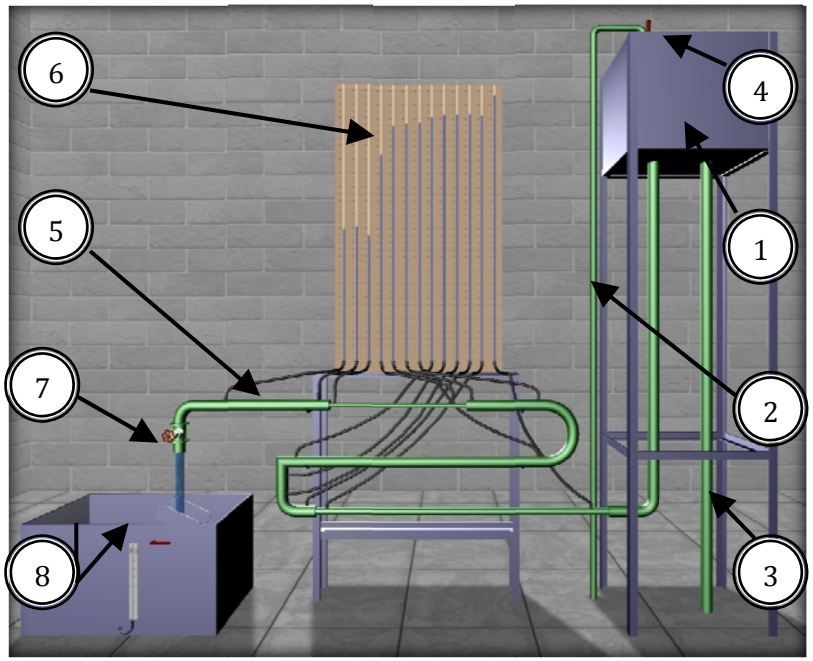


Рисунок 5.3. – Внешний вид симуляционной лабораторной установки

p_6–p_7 – прямой участок для определения потерь напора по длине и вычисления коэффициента гидравлического трения λ;

p_7–p_8 – плавный поворот для определения потерь напора на местном сопротивлении и вычисления коэффициента местного сопротивления ζ;

p_8–p_9 – прямой участок для определения потерь напора по длине и вычисления коэффициента гидравлического трения λ;

p_9–p_{10} – резкое сужение для определения потерь напора на местном сопротивлении и вычисления коэффициента местного сопротивления ζ;

p_{10}–p_{11} – прямой участок для определения потерь напора по длине и вычисления коэффициента гидравлического трения λ;

p_{11}–p_{12} – резкое расширение для определения потерь напора на местном сопротивлении и вычисления коэффициента местного сопротивления ζ;

p_{12}–p_{13} – прямой участок для определения потерь напора по длине и вычисления коэффициента гидравлического трения λ.

Геометрические размеры участков трубопровода представлены на рисунке 5.4.

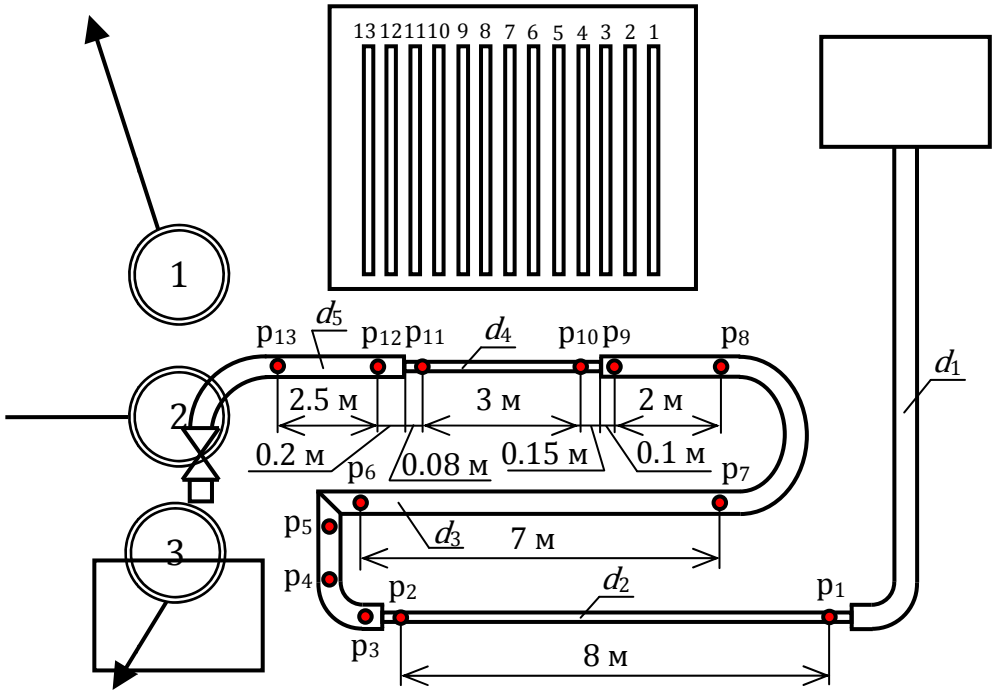


Рисунок 5.4 – Геометрические размеры лабораторной установки (d_1=50 мм; d_2=40 мм; d_3=50 мм; d_4=25 мм; d_5=50 мм; Вязкость жидкости: ν=0.0101 см^2/с; Эквиволентная .шероховатость:Δ_E=0.1 мм.

5.3 Порядок выполнения л/р № 5.

Цели лабораторной работы:

1. Определить по опытным данным, воспользовавшись формулами (5.1) и (5.4), значения коэффициента гидравлического трения λ_{exp} и величины коэффициентов местных сопротивлений ζ_{exp} для выбранных участков.

2. Установить области гидравлического сопротивления, в которых работают участки напорного трубопровода.

3. Вычислить значения коэффициентов гидравлического трения λ по соответствующим эмпирическим формулам.

4. Найти справочные значения коэффициентов местных сопротивлений.

5. Определить относительные отклонения λ_{exp} и ζ_{exp} от их расчетных (справочных) значений.

6. Построить по опытным данным (в масштабе) график напоров для участка, предложенного преподавателем.

Дополнительная информация по управлению виртуальной моделью

1. Для наполнения установки водой откройте кран подачи воды, щелкнув по нему левой кнопкой мыши.

2. Вентиль изменения расхода регулируется левой и правой кнопками мыши.

3. Для перемещения камеры к стенду с пьезометрами щелкните по нему левой кнопкой мыши.

4. Перемещение камеры осуществляется клавишами со стрелками и наведением мыши к краям экрана.

5. В режиме работы с пьезометрами можно перемещать камеру вертикально с помощью клавиш со стрелками и мыши.

6. Для перехода к замеру расхода щелкните левой кнопкой мыши по переливному устройству.

7. Возврат камеры в каждое предыдущее положение осуществляется щелчком правой кнопки мыши.

8. Более полную информацию по управлению можно получить в левом верхнем углу экрана, когда камера находится в отдаленном положении, нажав и удерживая кнопку 1 или 2 на клавиатуре.

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

1. Открыть питающую задвижку и наполнить установку водой.

2. После наполнения водой резервуара и стабилизации уровня воды в нем (переливное устройство должно при этом работать) следует открытием регулирующего вентиля подать воду в систему трубопроводов.

3. По секундомеру определить время t (s) наполнения мерного бака объемом W=0.05 m^3.

4. Определить расход воды $Q=W/t$ (m^3/s).

5. Измерить отметки уровней воды в пьезометрах, а также ее температуру (термометром в питающем резервуаре).

6. Определить кинематический коэффициент вязкости воды v.

7. По одному из семи вариантов задаваемого преподавателем, и произвольном расходе воды в системе, выполнить измерения коэффициентов сопротивления, и записать результаты в таблицу № 5.2.

8. Произвести обработку опытных данных в табл. 5.3.

9. Построить по опытным данным (в масштабе) график напоров для участка, предложенного преподавателем.

10. Дать заключения по лабораторной работе.

5.4. Основные контрольные вопросы к л/р № 5

1. Напишите и поясните формулы Дарси-Вейсбаха и Вейсбаха.

2. Поясните, как опытным путем определяют величины коэффициентов λ и ζ.

3. Что характеризуют коэффициенты λ и ζ? От каких факторов в общемслучае они зависят и как их определяют при гидравлических расчетах?

4. Объясните, что такое Δэ и Δэ/*d*, как найти величину Δэ при гидравлическихрасчетах?

5. Назовите области гидравлического сопротивления трубопроводов и объясните, как определяют область сопротивления при гидравлических расчетах.

6. Изобразите схемы движения жидкости при резком повороте трубы на 90°,а также при резком расширении и резком сужении трубопровода и дайте пояснения к ним, указав, что характерно для движения потока при протекании его через любое местное сопротивление.

7. Изобразите кривую графика Никурадзе и дайте пояснения.

8. Поясните понятия «гидравлически гладкая труба» и «шероховатая труба».

9. Назовите фактор, обуславливающий повышение потери напора при прохождении потока жидкости через местные сопротивления.

10. Докажите, воспользовавшись Дарси–Вейсбаха и Блазиуса, что при работе трубопроводов в области гидравлически гладких труб $hl = f(U1{,}75)$.

Таблица 5.2

Исходные данные.

№ варианта		Потери напора									
		Сопротивления по длине				Местные Сопротивления					
1	Вычисляемые величины	Уч. 12-13		Уч. 1-2		Резкий поворот		Плавный поворот		Резкое сужение	
	Номер сечения	12	13	1	2	5	6	7	8	9	10
2	Вычисляемые величины	Уч. 1–2		Уч. 6–7		Резкий поворот		Плавный поворот		Резкое расширение	
	Номер сечения	1	2	6	7	5	6	3	4	11	12
3	Вычисляемые величины	Уч. 10–11		Уч. 6–7		Резкий поворот		Плавный поворот		Резкое расширение	
	Номер сечения	10	11	6	7	5	6	7	8	11	12
4	Вычисляемые величины	Уч. 1–2		Уч. 6–7		Резкое сужение		Плавный поворот		Резкое расширение	
	Номер сечения	1	2	6	7	9	10	3	4	11	12
5	Вычисляемые величины	Уч. 10□11		Уч. 6□7		Резкий поворот		Плавный поворот		Резкое расширение	
	Номер сечения	10	11	6	7	5	6	3	4	11	12
6	Вычисляемые величины	Уч. 12□13		Уч. 1–2		Резкий поворот		Плавный поворот		Резкое сужение	
	Номер сечения	12	13	1	2	5	6	7	8	9	10
7	Вычисляемые величины	Уч. 8□9		Уч. 10-11		Уч. 12–13		Резкое сужение		Резкое расширение	
	Номер сечения	8	9	10	11	12	13	9	10	11	12

Таблица 5.3

Результаты измерений и вычислений

№ п/п	Вычисляемые величины		Ед. изм.	Результаты измерений и вычислений									
				Сопротивления по длине				Местные сопротивления					
1	Номера сечений		–										
2	Показания пьезометров $z_i + p_i/\rho g$ (точность мм)		м										
3	Объем мерного бака W		м³										
4	Время наполнения бака t		с										
5	Расход Q		м³/с										
6	Диаметр сечения трубы d_i		м										
7	Площадь перечного сечения трубы $S_i = \pi d_i^2/4$		м²										
8	Средняя скорость потока $\vec{v}_i = Q/S_i$		м/с										
9	Скоростной напор $v^2/2g$		м										
10	Полные напоры в сечениях $z_i + p_i/\rho g + v_i^2/2g$		м										
11	Потери напора по длине h_l и местные h_{loci}		м										
12	Расстояния между точками пьезометрирования l_i		м										
13	Коэффициент гидравлического трения (опытн.) $\lambda_{exp} = (h_{li} d_i / l_i) / (v_i^2/2g)$		–										
14	Коэффициент местного сопротивления (опытн.) $\zeta_{exp} = h_{loci} / (v_i^2/2g)$		–										
15	Число $Re = v_i d_i / \nu$		–										
16	Область гидравлического сопротивления (доквадратичная, квадратичная)		–										
17	Коэф. гидр. трения λ по эмпирическим формулам		–										
18	Коэф. местного сопротивления ζ_i (по справочнику)		–										
19	Относительные отклонения E_λ и E_ζ	$E_\lambda = (\lvert\lambda - \lambda_{ex}\rvert / \lambda) \cdot 100$	%										
		$E_\zeta = (\lvert\zeta - \zeta_{ex}\rvert / \zeta) \cdot 100$	%										

Список литературы.

1. Альтшуль, А.Д. Гидравлические сопротивления / А.Д. Альтшуль.М.: Недра, 1982. 224 с.
2. Альтшуль, А.Д. Гидравлика и аэродинамика / А.Д. Альтшуль, Л.С. Животовский, Л.П. Иванов. М.: Стройиздат, 1987. 414 с.
3. Богомолов, А.И. Гидравлика / А.И. Богомолов, К.А. Михайлов. М.: Стройиздат, 1972. 648 с.
4. Гидравлические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений: справочное пособие. М.: Энергия, 1988. 624 с.
5. Гиргидов, А.Д. Механика жидкости и газа (гидравлика): учебник для вузов / А.Д. Гиргидов. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: СПбГПУ, 2003. 545 с.
6. Казарян, С.М. Лабораторный практикум по гидравлике, гидравлическим машинам и гидроприводам: учеб. пособие для вузов / С.М. Казарян, А.Ш. Барекян, Д.Д. Скубаренко, А.К. Челышев. Ереван: Луйс, 1984. 319 с.
7. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010610735 РФ. Виртуальная лабораторная работа ≪Измерение гидростатического давления, экспериментальное подтверждение уравнения гидростатики и закона Паскаля≫ / Е.Н. Коноплев, И.В. Образцов; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО ТвГТУ (RU). Заявка № 2009616650; заявл. 25.11.2009; опубл. 22.01.2010. 1 с.
8. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010610893 РФ. Виртуальная лабораторная работа ≪Изучение относительного покоя жидкости при вращательном движении≫ / Е.Н. Коноплев, И.В. Образцов; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО ТГТУ (RU). Заявка № 2009616985; заявл. 7.12.2009; опубл. 28.01.2010. 1 с. 103
9. Емцев, Б.Т. Техническая гидромеханика / Б.Т. Емцев. М.: Машиностроение, 1987. 440 с.
10. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим расчетам / И.Е. Идельчик. М.: Машиностроение, 1975. 559 с.
11. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010610891 РФ. Виртуальная лабораторная работа ≪Определение опытным путем слагаемых уравнения Д. Бернулли при установившемся неравномерном движении жидкости в напорном трубопроводе≫ / Е.Н. Коноплев, И.В. Образцов; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО ТГТУ (RU). Заявка № 2009616984; заявл. 7.12.2009; опубл. 28.01.2010. 1 с.
12. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010611031 РФ. Виртуальная лабораторная работа ≪Экспериментальная иллюстрация ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости. Установление законов гидравлического сопротивления и определение критического числа Рейнольдса≫ / Е.Н. Коноплев, И.В. Образцов; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО ТГТУ (RU). Заявка № 2009617193; заявл. 16.12.2009; опубл. 2.02.2010. 1 с.
13. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 2010611032 РФ. Виртуальная лабораторная работа ≪Изучение гидравлических сопротивлений напорного трубопровода с определением коэффициентов гидравлического трения и местных сопротивлений≫ / Е.Н. Коноплев, И.В. Образцов; заявитель и правообладатель ГОУ ВПО ТГТУ (RU). Заявка № 2009617194; заявл. 26.12.2009; опубл. 2.02.2010. 1 с.
14. Павловский, Н.Н. Гидравлический справочник / Н.Н. Павловский. Л.-М.: ОНТИ, НКТП, 1937. 890 с
15. Киселев, П.Г. Справочник по гидравлическим расчетам / П.Г. Киселев [и др.]. М.: Энергия, 1997. 312 с. 104
16. Константинов, Н.М. Гидравлика, гидрология, гидрометрия: учебник для вузов. В 2 ч. / Н.М. Константинов, Н.Н. Петров, Л.И. Высоцкий. Ч. 1. М.: Высш. шк., 1987. 304 с. Ч. 2. М.: Высш. шк., 1987. 431 с.
17. Чертоусов, М.Д. Гидравлика. Специальный курс / М.Д. Чертоусов. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1962. 640 с.
18. Чоу, В.Т. Гидравлика открытых каналов / В.Т. Чоу. М.: Стройиздат, 1969. 464 с.
19. Чугаев, Р.Р. Гидравлика: учебник для вузов в 2 кн. / Р.Р. Чугаев. Кн. 1. М.: Энергоатомиздат, 1991. 351 с. Кн. 2. М.: Энергоатомиздат, 1991. 367 с.
20. Штеренлихт, Д.В. Гидравлика / Д.В. Штеренлихт. М.: Колос, 2006. 656 с. 105
21. Свид. о государственной регистрации программы для ЭВМ 20106615851 РФ. Виртуальная лабораторная работа ≪Построение диаграммы уравнения Д. Бернулли≫ / Е.Н. Коноплев, И.В. Об-

разцов; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО ТвГТУ (RU). Заявка № 2016613251; заявл. 6.04.2016; опубл. 1.06.2016. 1 с.
22. Башта, Т.М. Гидравлика, гидромашины и гидроприводы: учебник для машиностроительных вузов / Т.М. Башта [и др.]. М.: Машиностроение, 1982. 423 с.
23. Руднев, С.С. Лабораторный курс гидравлики, насосов и гидропередач / С.С. Руднев [и др.]. М.: Машиностроение, 1974. 416 с.
24. Васильев, Б.А. Гидравлические машины / Б.А. Васильев, Н.А. Герцев. М.: Агропромиздат, 1988. 272 с.
25. ГОСТ 6134-2007. Насосы динамические. Методы испытаний. М.: Стандартинформ, 2007. 95 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Введение 3
Общие указания по выполнению лабораторных работ, рекомендации по составлению и оформлению отчета и защите. 4
Принципы взаимодействия с виртуальной моделью лабораторной установки 5
1. Лабораторная работа № 1. Измерение гидростатического давления, экспериментальное подтверждение основного уравнения гидростатики и закона Паскаля. 7
1.1 Описание физического процесса л/р №1. 7
1.2 Описание лабораторной установки №1. 9
1.3 Порядок выполнения л/р №1. 10
1.4. Контрольные вопросы к л/р №1 13
2. Лабораторная работа № 2. «Изучение относительного покоя жидкости при вращательном движении» 15
2.1 Описание физического процесса л/р №2. 15
2.2. Описание лабораторной установки №2. 17
2.3. Порядок выполнения л/р №2. 19
2.4. Контрольные вопросы к л/р №2. 22
3. Лабораторная работа № 3. ««Определение опытным путем слагаемых уравнения Д. Бернулли при установившемся неравномерном движении жидкости» 24
3.1 Описание физического процесса л/р №3. 24
3.2. Описание лабораторной установки №3. 28
3.3 Порядок выполнения работы №3. 29
3.4. Контрольные вопросы к л/р №3. 33
4. Лабораторная работа № 4. Экспериментальная иллюстрация ламинарного и турбулентного режимов движения жидкости, установление законов гидравлического сопротивления и определение критического числа Рейнольдса. 34
4.1 Описание физического процесса л/р №4. 34

4.2. Описание лабораторной установки №4 35
4.3 Порядок выполнения л/р №4. 38
4.4. Основные контрольные вопросы к л/р №4. 40
5. Лабораторная работа № 5. «Изучение гидравлических сопротивлений напорного трубопровода» 43
5.1 Описание физического процесса л/р №5. 43
5.2. Описание лабораторной установки №5 47
5.3 Порядок выполнения л/р №5 49
5.4. Основные контрольные вопросы к л/р №5 51
Список литературы 54

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Волжский государственный университет водного транспорта

Кафедра подъёмно-транспортных машин и машиноремонта

И.В.Липатов, И.В. Никитаев

ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ОСНОВАМ ГИДРАВЛИКИ

Н.Новгород
2021

Федеральное агентство морского и речного транспорта
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
Волжский государственный университет водного транспорта

Кафедра подъёмно-транспортных машин и машиноремонта

И.В.Липатов, И.В. Никитаев

ВИРТУАЛЬНЫЙ ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО ОСНОВАМ ГИДРАВЛИКИ

Методические указания для студентов и курсантов очной и заочной форм обучения специальностей 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 23.02.04 «Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования (по отраслям)».

Издательство ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

Нижний Новгород
2021

УДК 556
Л61

Липатов И.В.
Виртуальный лабораторный практикум по гидравлике: методические указания для студентов и курсантов очной и заочной форм обучения по специальностям 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов», 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и 23.02.04 «Техническая эксплуатация подъемно-транспортных, строительных, дорожных машин и оборудования (по отраслям)»/ И.В. Липатов, И.В. Никитаев, – Н. Новгород: Изд-во ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2021 – 67 с.

В лабораторном практикуме дано описание для выполнения и подготовки к защите лабораторных работ по гидравлике.

Методические указания рекомендованы к изданию кафедрами: водных путей и гидротехнических сооружений (протокол № 7 от 9.06.2021) и подъемно-транспортные машин и машиноремонта (протокол № 7 от 9.06.2020)

Рецензент: д.ф.-м.н., профессор кафедры подъёмно-транспортных машин и машиноремонта Волков И.А.

ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2021

Введение

Идея виртуальной лаборатории является одним из аспектов совершенствования методов проведения занятий. Актуальность данного направления обоснована интенсивным развитием информационных технологий в рамках образования и дистанционных форм обучения, а также повышения качества системы образования. Виртуальные тренажеры дополняют комплекс знаний, которые получает обучаемый. Действия, происходящие на экране компьютера, связанные с физическими процессами, привносят совершенно новый элемент в представление об изучаемой дисциплине. Динамика компьютерной имитации не только используется для показа движения объекта, но и раскрывает логику движения мысли от незнания к знанию.

Виртуальная лаборатория представляет собой компьютерную программу, выполняющую функцию тренажера, который реализует трехмерную модель уникального или типового оборудования. Сочетание объемной визуализации объектов и звука позволяет обучаемому глубоко погрузиться в виртуальный мир, максимально приближенный к реальным условиям работы, дающий возможность с высокой степенью реальности участвовать в физическом эксперименте.

Выполнение виртуальных лабораторных работ при изучении гидравлики должно способствовать более глубокому пониманию студентами физической сущности изучаемых гидравлических явлений, освоению ими методов лабораторных испытаний, упрочнению связи теории с экспериментами, а также приобретению навыков в научных исследованиях и в работе с научно-технической и справочной литературой.

В предлагаемом лабораторном курсе описание каждой работы содержит:

1. вводную часть, где в сжатой форме изложены сведения общего характера, основные теоретические положения и описания физического процесса, исследуемого в лабораторной работе;

2. схему и описание лабораторной установки;

3. порядок выполнения работы и детально разработанные таблицы для упрощения и удобства обработки опытных данных;

индивидуальные варианты исходных данных; дополнительную информацию по управлению виртуальной моделью. В этом же разделе сформулированы цели лабораторной работы, порядок действий и алгоритм обработки экспериментов.

4. основные контрольные вопросы, позволяющие студентам целенаправленно готовиться к защите отчета по каждой работе.

Общие указания по выполнению лабораторных работ, рекомендации по составлению и оформлению отчета и защите.

1.Текстовую часть отчета о каждой лабораторной работе студент должен представлять на отдельных листах белой писчей бумаги формата А4 (210 × 297 мм), а графическую (схему установки и график, построенный в масштабе по опытным данным) к на миллиметровой или потребительской бумаге в клетку. При этом весь графический материал, в том числе надписи и обозначения на нем, должен быть выполнен карандашом. При вычерчивании графиков на осях координат должны быть нанесены шкалы, представлены обозначения откладываемых величин и их размерность.

2. Каждый рисунок в отчете должен иметь порядковый номер и пояснительную надпись, располагаемые под рисунком.

3. К выполнению работы допускаются студенты, оформившие в соответствии с изложенными ниже требованиями подготовительную часть отчета, включающую:

а) название работы и цель ее выполнения;

б) основные теоретические положения работы (в конспективном изложении);

в) схему установки, а также рисунки, поясняющие физическую картину изучаемого гидравлического явления;

г) таблицы для записи опытных данных и результатов вычислений.

4. После окончания работы результаты измерений и вычислений должны быть предъявлены преподавателю для подписи.

5. Для получения оценки (в баллах) за выполненную лабораторную работу студент должен представить преподавателю полностью оформленный отчет, т. е. отчет,

дополненный результатами вычислений, графическим материалом, а также выводами (заключением) по работе, ответами на контрольные вопросы, и защитить его.

Принципы взаимодействия с виртуальной моделью лабораторной установки

Имитационная модель лабораторной установки представляет собой интерактивную геометрическую структуру, помещенную в виртуальное трехмерное пространство. Наблюдение за объектами осуществляется с помощью виртуальной камеры. В базовом (свободном) режиме камера может вращаться вокруг точки фокусировки (рис. 1). Точка фокусировки камеры может перемещаться в вертикальной фронтальной плоскости. Кроме того, камера может дистанцироваться относительно точки фокусировки на произвольное расстояние, ограниченное габаритами трехмерного пространства.

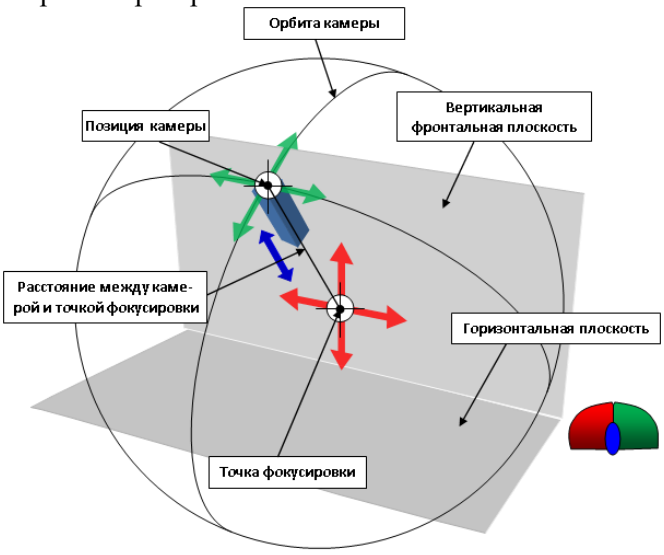


Рис. 1. Принципы управления камерой в свободном режиме

Основные манипуляции с камерой в свободном режиме осуществляются с помощью компьютерной мыши. При этом нажатие и удерживание левой кнопки мыши с сопутствующим перемещением мыши приводит к перемещению точки фокусировки камеры во фронтальной плоскости пространства. Нажатие и удерживание правой кнопки мыши с сопутствующим перемещением мыши приводит к вращению камеры относительно точки фокусировки. Углы вращения (азимут и элевация) камеры ограничены габаритами трехмерного пространства. Изменение дистанции камеры осуществляется вращением колеса прокрутки мыши в прямом и обратном направлениях.

Примечание: в некоторых лабораторных работах функция вращения камеры может отсутствовать!

Помимо свободного режима камера может переключаться на отдельные элементы лабораторной установки. Переключение камеры на отдельный объект осуществляется путем наведения указателя мыши на данный объект с последующим одинарным кликом левой кнопки мыши. При этом камера может занять статичное положение или иметь возможность перемещаться в вертикальной плоскости путем наведения указателя мыши к краям экрана или с помощью курсорных клавиш клавиатуры. Необходимость дополнительного перемещения камеры в режиме работы с объектом обусловлена превышением габаритных размеров просматриваемого объекта над габаритными размерами экрана. Возврат камеры в исходный режим кликом в произвольной области экрана.

Интерактивное взаимодействие с управляющими элементами имитационной лабораторной установки осуществляется путем наведения указателя мыши на данный объект с последующим нажатием (или одинарным кликом) левой (или правой) кнопки мыши. Специфика управления для конкретных элементов различается. К примеру, непрерывно регулирующие элементы (вентили регулирования расхода и др.) для изменения своего состояния требуют нажатия и продолжительного удерживания левой или правой (в случае обратного движения) кнопки мыши. Элементы дискретного

действия (задвижки и клапаны) требуют одинарного клика левой кнопки мыши.

В момент наведения указателя мыши на объект, манипуляции с камерой временно недоступны. В тоже время в процессе манипулирования камерой невозможно выполнение действий с элементами управления лабораторной установки.

5. Виртуальная лабораторная работа №5. Построение диаграммы Д. Бернулли на напорном трубопроводе переменного сечения по семи мерным сечениям трубопровода.

5.1 Описание физического процесса л/р №5.

Основные положения по уравнению Д. Бернулли и его использованию в гидравлических расчетах изложены в виртуальной лабораторной работе «Определение опытным путем слагаемых уравнения Д. Бернулли при установившемся неравномерном движении жидкости».

В данной работе предлагается обратить внимание на поведение напорной и пьезометрической линий при движении потока по трубе с плавно изменяющимися сечениями.

Известно, что в вязкой жидкости полная удельная энергия по течению постоянно уменьшается из-за потерь на преодоление сопротивлений (напорная линия постоянно понижается). Потенциальная энергия может как увеличиваться, так и понижаться в зависимости от изменения кинетической энергии (при изменении сечения потока).

Особенно это видно, когда рассматриваются в сравнении сужение и расширение потока (Рис. 5.1 и 5.2).

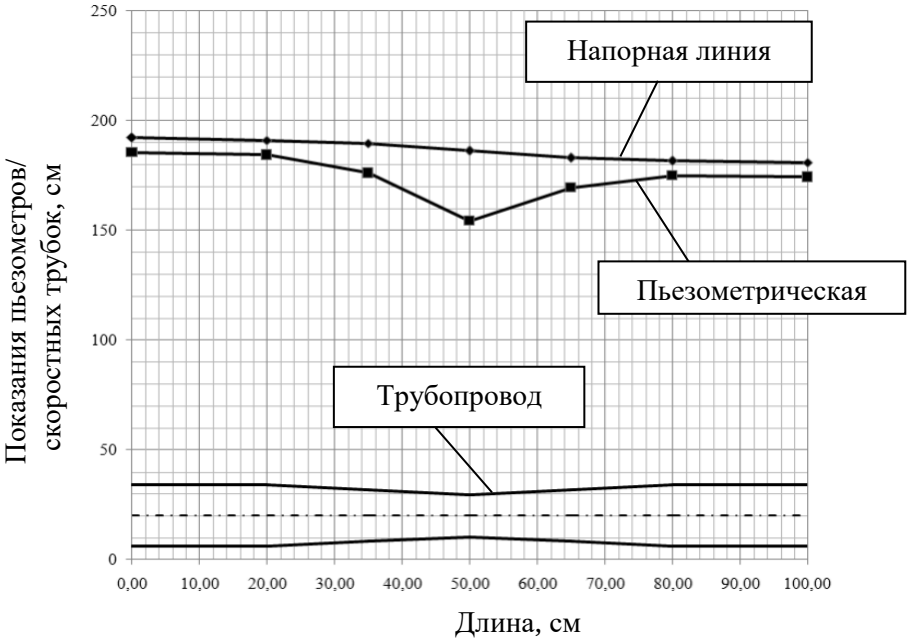


Рис. 5.1. Диаграмма Бернулли для трубки с сужением по середине

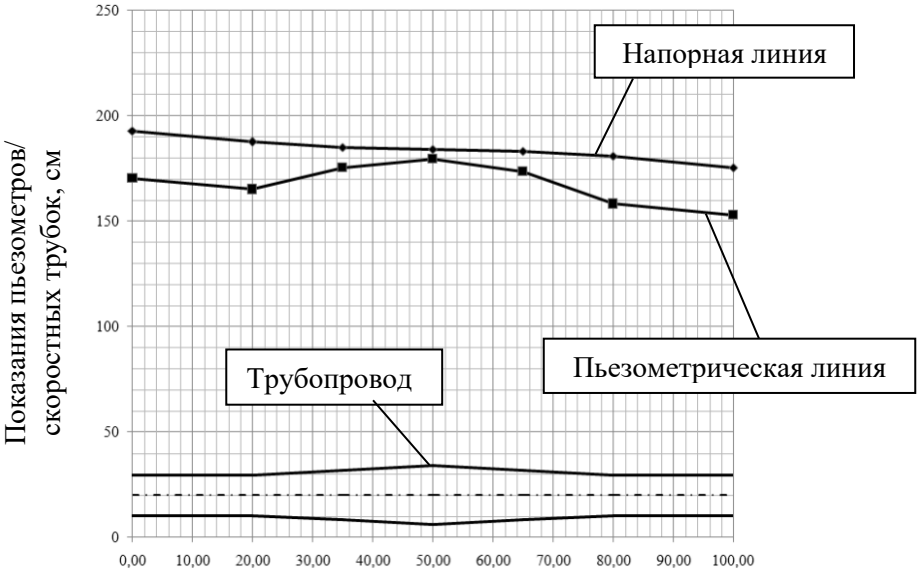


Рис. 5.2. Диаграмма Бернулли для трубки с расширением по середине

5.2 Описание лабораторной установки

Симуляционная модель лабораторной установки (рис. 5.3.) включает питающий резервуар (1), в который подается вода по трубопроводу (2). Подача воды регулируется краном (3). Питающий резервуар снабжен переливной системой (4) для поддержания уровня воды на постоянной отметке, чтобы обеспечить в трубопроводе переменного сечения установившееся движение жидкости. Вода из питающего резервуара подается в трубопровод переменного сечения (5). К сечениям I–I, II–II, III–III, IV–IV, V–V, VI–VI, VII–VII трубопровода подключены пьезометры и скоростные трубки (6) для измерения величин $z + \frac{p}{\rho g}$ и $z + \frac{p}{\rho g} + \frac{\upsilon^2}{2g}$.

Изменение угла наклона трубопровода осуществляется с помощью специального устройства-транспортира, снабженного шкалой (7).

Величина расхода воды в трубопроводе регулируется краном изменения расхода воды (8). Для измерения расхода воды имеются мерный бак (9), вода в который направляется переливным устройством, и секундомер.

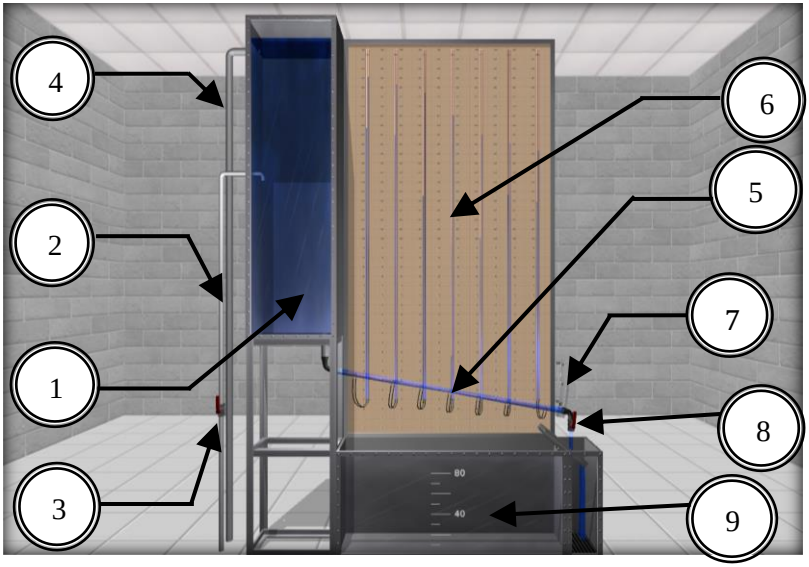


Рис. 5.3. Внешний вид симуляционной лабораторной установки

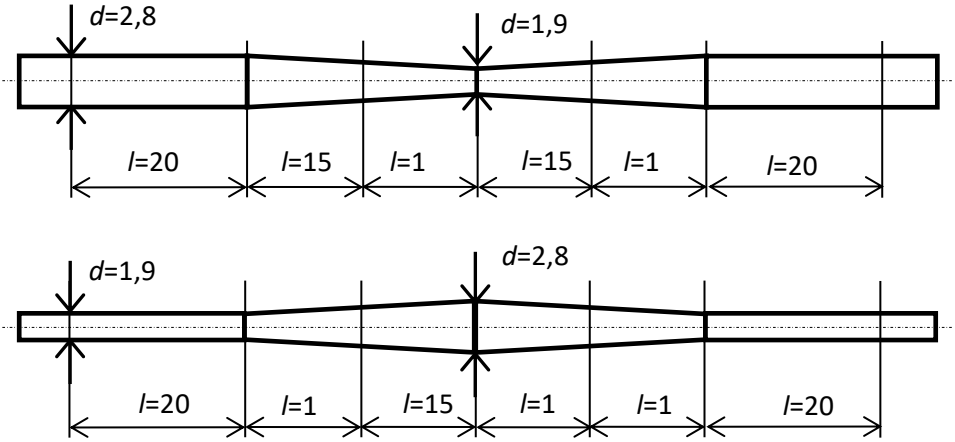


Рис. 5.4. Размеры (см) стеклянной трубки переменного сечения: с сужением (а) и расширением (б) по середине

В начале работы необходимо выбрать тип стеклянного участка трубопровода. В лабораторной работе доступны два типа стеклянной трубки: с сужением и расширением потока (рис. 5.4. (а)) и с расширением и дальнейшем сужением в средней части по длине (рис. 5.4. (б)).

По умолчанию при запуске программы установлен тип трубки с сужением в средней части (рис. 5.5.). Изменять тип трубопровода можно только при отсутствии воды в установке.

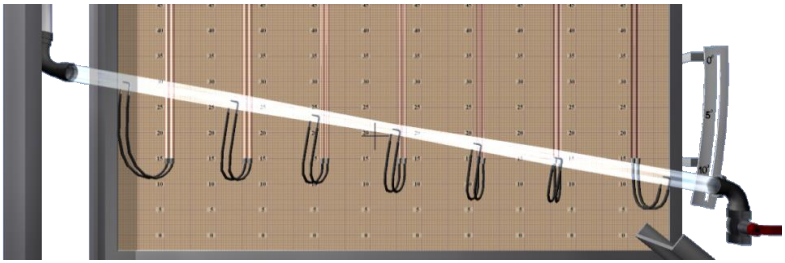


Рис. 5.5. Выбор типа стеклянной трубки

5.3 Порядок выполнения работы

Цели лабораторной работы:

1. Определить гидродинамический и пьезометрический напоры в выбранных сечениях потока (семь сечений).

2. Определить потери напора и среднюю скорость движения между сечениями потока.

3. Построить напорную и пьезометрическую линии, проанализировать изменения удельной энергии.

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

1. Перед запуском установки выбрать тип стеклянного участка трубопровода.

2. Записать в лабораторный журнал площади живых сечений и расстояния между сечениями, указанные на схеме установки.

3. При закрытом кране изменения расхода воды открыть кран подачи воды для заполнения напорного бака и трубопровода переменного сечения водой. При этом следует обратить внимание на уровни воды в пьезометрических и скоростных трубках. Эти уровни при отсутствии воздуха в системе должны быть на одной отметке.

4. Открыть кран изменения расхода воды (от 5 до 100% по указанию преподавателя).

5. Измерить с помощью мерного бака и секундомера расход воды.

6. Определить по шкалам отметки уровней воды в пьезометрах и скоростных трубках в семи сечениях. Результаты всех измерений записать в табл. 5.1.

7. Выполнить все вычисления, предусмотренные табл. 5.1.

8. Построить в масштабе по полученным данным линии полного напора и пьезометрическую линию.

9. Повторить пункты 1–8 для другого типа стеклянного трубопровода.

10. Дать заключения по лабораторной работе.

Таблица 5.1. **Результаты измерений и вычислений**

№ п/п	Наименования и обозначения измеряемых и вычисляемых величин	Ед. изм.	Результаты измерений и вычислений						
1	Номера сечений		*I–I*	*II–II*	*III–III*	*IV–IV*	*V–V*	*VI–VI*	*VII–VII*
2	Геометрические высоты центров тяжести сечений z_i	м							
3	Отметки уровней воды в пьезометрах, т. е. гидростатические напоры $z_i + p_i/\rho g$	см							
4	Отметки уровней воды в скоростных трубках, т. е. полные напоры $H_i = z_i + p_i/\rho g + U_i^2/2g$	см							
5	Пьезометрические высоты $h_{pi} = p_i/\rho g$	см							
6	Скоростные высоты $h_{ui} = U_i^2/2g$	см							
7	Потери полного напора на пути между соседними живыми сечениями $h_{W_{i-(i+1)}} = H_i - H_{i+1}$	см							
8	Суммарные потери полного напора	см							
9	Расстояние между сечениями l_i	м							
10	Объем воды в мерном баке W	$м^3$							
11	Продолжительность наполнения объема в мерном баке t	с							
12	Расход воды в трубопроводе $Q=W/t$	$м^3/с$							
13	Диаметр сечения d_i	м							
14	Площадь сечения $S_i = \pi d_i^2/4$	$м^2$							

15	Средняя скорость движения воды $\upsilon_i = Q/S_i$	м/с							
16	Скоростная высота, отвечающая средней скорости $\upsilon_i{}^2/2g$	м							
17	Относительное отклонение скоростных высот $\frac{\left\lvert \frac{U_i^2}{2g} - \frac{v_i^2}{2g} \right\rvert}{\frac{U_i^2}{2g}} \cdot 100$	%							
18	Координата сечений по длине трубопровода	м							

Основные контрольные вопросы к лабораторной работе № 5

1. Поясните геометрический смысл слагаемых уравнения Д. Бернулли.
2. Поясните энергетический смысл слагаемых уравнения Д. Бернулли.
3. Как называется коэффициент α, входящий в уравнение Д. Бернулли для потока реальной жидкости, что он учитывает, от чего зависит его величина и каков его физический смысл?
4. Объясните, чем обусловлены потери полного напора и каков их энергетический смысл.
5. Поясните, что понимают под термином «удельная энергия».
6. Объясните термины «местная скорость» и «средняя скорость» и укажите, как определяют эти скорости.
7. Поясните, что такое скоростная трубка (трубка Пито) и прибор Пито – Прандтля.
8. Поясните, что такое линия полного напора и пьезометрическая линия; что будут представлять собой эти линии при равномерном движении реальной жидкости.
9. Что понимают под термином «живое сечение потока жидкости»?
10. Охарактеризуйте движение жидкости на пути между сечениями I–I …VII–VII, исходя из классификации движений жидкости.

6. Виртуальная лабораторная работа №6. Параметрические испытания центробежного насоса

6.1 Описание физического процесса л/р №6.

Параметрические испытания проводятся с целью определения технических показателей (параметров) и характеристик насосов.

Работа насоса характеризуется следующими основными техническими показателями: подачей, напором, мощностью, коэффициентом полезного действия (КПД), частотой вращения и допускаемым кавитационным запасом.

1. Подача насоса Q – объем жидкости, перекачиваемый насосом в единицу времени ($м^3/с$, л/с, $м^3/ч$).

Массовая подача насоса G – масса жидкости, перекачиваемая насосом в единицу времени (кг/с, кг/ч). Массовая подача через плотность жидкости ρ [$кг/м^3$] связана с объемной зависимостью:

$$G = \rho \cdot Q \tag{6.1}$$

Идеальная (теоретическая) подача насоса Q_t – сумма подачи насоса Q и объемных потерь ΔQ

$$Q_t = Q + \Delta Q \ , \tag{6.2}$$

Объемные потери возникают в результате перетекания (утечек) жидкости под действием перепада давления из напорной полости во всасывающую и изменяются при прочих равных условиях практически прямо пропорционально перепаду давления Δp:

$$\Delta Q = \alpha \cdot \Delta p \ , \tag{6.3}$$

где α – коэффициент пропорциональности.

2. Напор насоса H – приращение полной удельной энергии жидкости, проходящей через насос (м). Для работающего насоса напор можно определить по показаниям манометра и вакуумметра:

$$H = \frac{p_M \pm p_V}{\rho g} + z_M + \frac{\upsilon_P^2 - \upsilon_S^2}{2g} \ , \qquad (6.4)$$

где p_M и p_V – показания манометра и вакуумметра, расположенных, соответственно, на напорном и всасывающем патрубках насоса, Па; z_M – превышение оси вращения стрелки манометра над точкой подключения вакуумметра, м; υ_P и υ_S – средние скорости движения жидкости в напорном и всасывающем трубопроводах, соответственно, м/с.

Знак «минус» в формуле (6.4) перед p_V ставится в том случае, когда на входе в насос избыточное давление, т. е. насос работает «в подпоре».

3. Мощность насоса N – мощность, потребляемая насосом:

$$N = M \cdot \omega \ , \qquad (6.5)$$

где M и ω – крутящий момент на валу и угловая скорость вала насоса.

Полезная мощность N_{pump} – мощность, сообщаемая насосом перекачиваемой жидкости и определяемая зависимостью

$$N_{pump} = p \cdot Q = \rho \cdot g \cdot H \cdot Q \ , \qquad (6.6)$$

Мощность насоса N больше полезной мощности N_{pump} на величину потерь энергии, учитываемых КПД.

4. КПД насоса η – отношение полезной мощности и мощности насоса:

$$\eta = N_{pump} / N \ , \qquad (6.7)$$

КПД насоса учитывает все виды потерь энергии, связанные с передачей её перекачиваемой жидкости. Потери энергии в насосе складываются из механических, гидравлических и объемных.

Механические потери – потери на трение в подшипниках, сальниках, поршня о стенки цилиндра и т. п.

Гидравлические потери – потери, связанные с преодолением гидравлических сопротивлений в рабочих органах насоса.

Объемные потери – потери, обусловленные утечкой жидкости из напорной полости насоса во всасывающую через зазоры. В связи с этим следует различать механический, гидравлический и объемный КПД.

Механический КПД насоса η_{M} – величина, выражающая относительную долю механических потерь энергии в насосе:

$$\eta_M = \frac{N - \Delta N_M}{N} = \frac{N_t}{N}\ , \tag{6.8}$$

где ΔN_{M} – мощность механических потерь; N_t – мощность насоса за вычетом мощности механических потерь (теоретическая мощность).

Гидравлический КПД насоса η_{H} – отношение полезной мощности насоса к сумме полезной мощности и мощности, затраченной на преодоление гидравлических сопротивлений в насосе:

$$\eta_H = \frac{N_{\text{pump}}}{N_{\text{pump}} + \Delta N_H} = \frac{pQ}{pQ + \Delta p_H Q} = \frac{p}{p + \Delta p_H} = \frac{H}{H + \Delta H_H}\ , \tag{6.9}$$

где ΔN_H – мощность, необходимая на преодоление гидравлических сопротивлений в насосе; Δp_{H}, ΔH_{H} – потери давления или напора на преодоление гидравлических сопротивлении в рабочих органах насоса.

Объемный КПД насоса η_{V} – отношение полезной мощности насоса к сумме полезной мощности и мощности, потерянной с утечками:

$$\eta_{\text{V}} = \frac{N_{\text{pump}}}{N_{\text{pump}} + \Delta N_{\text{outflow}}} = \frac{pQ}{pQ + p\Delta Q} = \frac{Q}{Q + \Delta Q} = \frac{Q}{Q_t}\ , \tag{6.10}$$

где $\Delta N_{\text{outflow}}$ – мощность, необходимая на утечки.

Связь КПД насоса с другими частными КПД можно представить в виде:

$$\eta = \frac{N_{\text{pump}}}{N} = \frac{N_{\text{t}} N_{\text{pump}}}{N \cdot N_{\text{t}}} = \eta_{\text{M}} \frac{pQ}{(p + \Delta p_{\text{H}})(Q + \Delta Q)} = \eta_{\text{M}} \eta_{\text{H}} \eta_0 , \quad (6.11)$$

5. Допускаемый кавитационный запас Δh_{perm} – кавитационный запас, обеспечивающий работу насоса без изменения основных технических показателей (без кавитации).

Для правильной эксплуатации насосов и их подбора необходимо знать, как изменяются основные технические показатели насоса (H, N, η, Δh_{perm}) при изменении его подачи Q, т. е. знать его характеристику.

Характеристика центробежного насоса – графическая зависимость напора H, мощности N, КПД η и допускаемого кавитационного запаса Δh_{perm} (или допускаемого вакуума) от подачи Q при постоянных значениях частоты вращения рабочего колеса, вязкости и плотности жидкости на входе в насос. Она включает три характеристики: напорную $H=f(Q)$, энергетическую (две кривых) – $N=f(Q)$; $\eta=f(Q)$ и кавитационную – $\Delta h_{\text{perm}}=f(Q)$. Характеристики получают в результате параметрических испытаний насосов на заводах-изготовителях и помещают в каталогах. На рис. 6.1 приведены характеристики насоса К90/85 (4К-6) при n=2900 об/мин для рабочего колеса с диаметрами D_2=272 мм и D_2=250 мм (обточенного). Для последнего кривые показаны пунктиром.

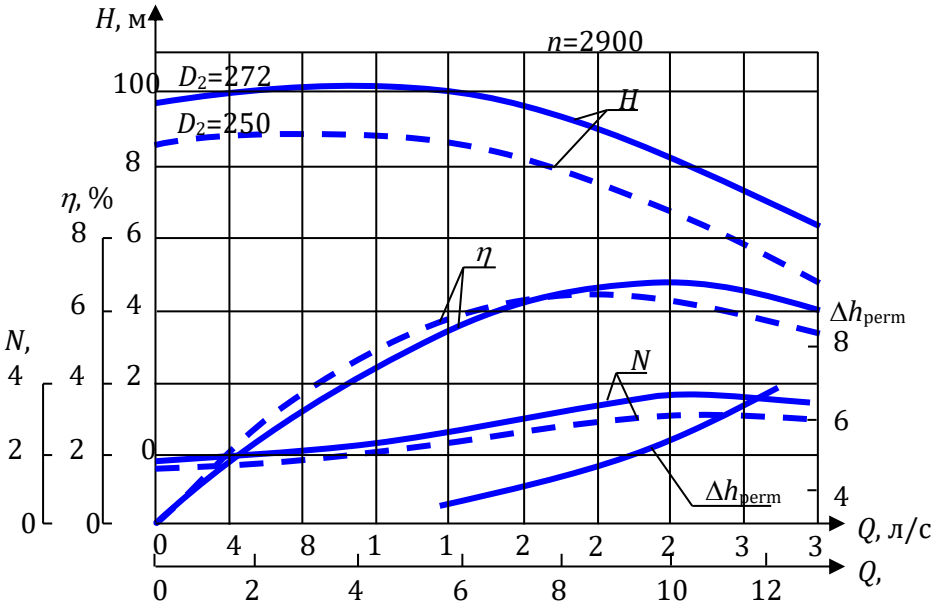


Рис. 6.1. Характеристика насоса К90/85 (4К-6)

На напорных характеристиках волнистыми линиями показана рекомендуемая область применения насоса по подаче и напору (поле насоса *Q–H*), получаемая изменением частоты вращения или обточкой рабочего колеса по внешнему диаметру. В пределах поля насоса КПД имеет максимальное значение, или меньше его не более, чем на 10%.

2.2 Описание лабораторной установки

Симуляционная модель лабораторной установки (рис. 6.2) включает центробежный насос (1) с электродвигателем (2), всасывающий трубопровод (3) с обратным клапаном, напорный трубопровод (4) с вентилем (5) изменения расхода, пульт включения электропитания (6), и контрольно-измерительная аппаратура: весы (7), манометр (8), вакуумметр (9), дифференциальный манометр (10) и тахометр (11).

Контрольно-измерительная аппаратура служит для замера подачи (диафрагма и ртутный дифференциальный манометр), давления на выходе из насоса (манометр), вакуума на входе в насос (вакуумметр), крутящего момента на валу насоса (балансирный электродвигатель с рычагом и весами) и частоты вращения вала электродвигателя (тахометр).

Для заливки водой насоса и всасывающего трубопровода на действующей физической модели, последний соединяется с вакуумным насосом, который создает необходимый вакуум во всасывающем трубопроводе перед пуском насоса. Под разностью давлений на свободной поверхности воды в приемном резервуаре и во всасывающем трубопроводе открывается клапан, и вода заполняет трубопровод и насос.

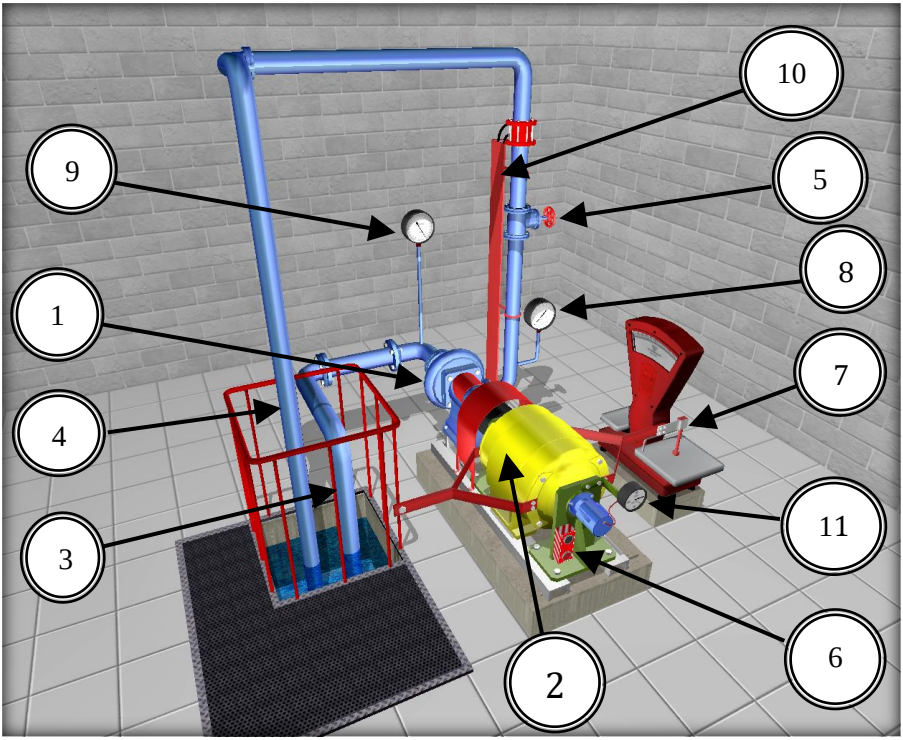


Рис. 6.2. Внешний вид симуляционной лабораторной установки

6.3 Порядок выполнения работы

Цели лабораторной работы:

1. Изучить работу насосной установки с центробежным насосом.

2. Освоить методику параметрических испытаний центробежного насоса.

3. Получить характеристику центробежного насоса.

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

1. При закрытом вентиле изменения расхода залить водой всасывающий трубопровод и насос, а затем включить насос с пульта включения электропитания.

2. При закрытом вентиле изменения расхода, когда (Q=0) снять показания дифференциального манометра, вакуумметра, манометра, весов и тахометра.

3. Создать не менее восьми различных режимов работы насоса с помощью вентиля изменения расхода, обеспечивая различную подачу вплоть до Q_{max}. При каждом режиме снимать показания приборов, перечисленных в п. 6.2. Результаты замеров записать в табл. 6.1.

4. Вычислить параметры, необходимые для построения напорной и энергетической характеристик:

– подачу насоса Q_{exp} [л/с], по формуле:

$$Q_{exp} = C\sqrt{h}\,, \tag{6.12}$$

где C – постоянная диафрагмы (C=0,7); h – перепад давлений по дифманометру, мм. рт. ст.; полученную подачу насоса Q_{exp}, л/с, перевести в Q_{exp}, м^3/с;

– средние скорости движения жидкости υ_S и υ_P во всасывающем и напорном трубопроводах, м/с:

$$\upsilon_S = \frac{4Q_{exp}}{\pi d_S^2}, \tag{6.13}$$

$$\upsilon_P = \frac{4Q_{exp}}{\pi d_P^2}, \tag{6.14}$$

где Q_{exp} – подача насоса, м^3/с; d_S и d_P – диаметры, соответственно, всасывающего и напорного трубопроводов, м (выбираются в зависимости от типа применяемого насоса – табл. 6.1);

– напор насоса H_{exp}, м, – по формуле (4), полагая, что z_M = 0.34 m;

– мощность насоса N_{exp}, Вт, – по формуле:

$$N_{exp} = M \cdot \omega = \left(F - F_0\right) L \frac{\pi \cdot n_{exp}}{30}, \qquad (6.15)$$

где M – крутящий момент на валу насоса, Н•м; ω – угловая скорость вала насоса, рад/с; F – показания весов, Н; F_0 – показания весов при отключенном насосе, Н (F_0=0); L – длина плеча рычага, м (L=0.716 м); n_{exp} – частота вращения вала насоса, об/мин.

Поскольку при каждом режиме работы частота поп может отличаться от номинальной n_{nom} (n_{nom}=2900 об/мин), подачу Q_{exp}, л/с, напор H_{exp} и мощность N_{exp} необходимо привести к величине n_{nom} по формулам подобия:

$$Q = Q_{exp} \frac{n_{nom}}{n_{exp}}, \qquad (6.16)$$

$$H = H_{exp} \left(\frac{n_{nom}}{n_{exp}} \right)^2, \qquad (6.17)$$

$$N = N_{exp} \left(\frac{n_{nom}}{n_{exp}} \right)^3, \qquad (6.18)$$

после чего значения Q, л/с перевести в Q, м^3/с.

Полезную мощность N_{pump}, Вт и КПД насоса η вычислить по формулам (6.6) и (6.7), подставляя в формулу (6.6) значения Q, м^3/с.

Результаты вычислений записать в табл. 2.

5. По данным табл. 2 построить графические зависимости $H=f(Q)$, $N=f(Q)$, $\eta=f(Q)$, принимая для этого значения Q в л/с.

6. Дать заключения по лабораторной работе.

Табл. 1. **Диаметры всасывающего и напорного трубопроводов в лабораторной установке**

Модель насоса	Диаметр всасывающего трубопровода d_s, м	Диаметр напорного трубопровода d_p, м
К 18/8 (1.5К 6)	0.05	0.032
К 20/20 (2К 6)	0.065	0.05
К 20/18 (2К 9)		
К 45/55 (3К 6)	0.08	
К 45/30 (3К 9)		0.065
К90/85 (4К 6)	0.1	

Табл. 2. **Результаты измерений и вычислений**

Измерения					Вычисления											
$P_м$, Па	P_V, Па	h, мм.рт.	F, Н	n_{exp}, об/мин	Q_{exp}, л/с	Q_{exp}, м^3/с	υ_s, м/с	υ_p, м/с	H_{exp}, м	N_{exp}, Вт	Q, л/с	H, м	N, Вт	Q, м^3/с	N_{pump}, Вт	η

Основные контрольные вопросы к лабораторной работе № 6

1. Назовите технические показатели насоса.
2. Что такое подача насоса, идеальная подача и как она определяется при испытаниях?
3. Что такое напор насоса и как его определить по показаниям приборов?
4. Что такое мощность насоса и полезная мощность?
5. Что такое КПД насоса? Какие потери учитывает КПД насоса и его связь с другими КПД?
6. Что называется характеристикой насоса?
7. Что называется полем насоса Q–H и связь его с КПД насоса?
8. Показания каких приборов необходимо знать для определения мощности насоса и полезной мощности?
9. Как изменяются подача, напор и мощность насоса при изменении частоты вращения рабочего колеса?
10. Как в работе определяется крутящий момент M на валу насоса?

7. Лабораторная работа №7. Кавитационные испытания центробежного насоса.

7.1 Описание физического процесса л/р №7.

Кавитацией называется нарушение сплошности потока жидкости, обусловленное появлением в ней пузырьков или полостей, наполненных паром и газом. Кавитация возникает, когда абсолютное давление в потоке падает до давления насыщенных паров жидкости при данной температуре. При этом из жидкости интенсивно выделяются пузырьки, заполненные парами жидкости и растворенными в ней газами (жидкость закипает). Обычно выделение газа из жидкости незначительно и не оказывает существенного влияния на технические параметры работы насосов, поэтому кавитацию называют паровой. В дальнейшем под термином кавитация будем подразумевать паровую кавитацию.

Выделяющиеся из жидкости в местах пониженного давления пузырьки, заполненные паром, уносятся потоком и, попадая в область с повышенным давлением, конденсируются. При этом частицы жидкости, окружающие пузырьки пара, с весьма большими скоростями устремляются в пространство, занимаемое ранее паром. Происходит столкновение частиц жидкости, сопровождающееся мгновенным местным повышением давления, достигающим десятков, и даже сотен мегапаскалей. Если конденсация происходит у стенок каналов насоса, то материал стенок быстро разрушается. Причем, в первую очередь разрушаются те места, в которых имеются микроскопические трещины на поверхности стенок.

Например, из чугуна, прежде всего, выбиваются графитовые включения, а затем жидкость, действуя как клин, еще более интенсивно разрушает материал стенок, образуя на их поверхности значительные раковины. Кроме того, материал стенок подвергается разрушению от химического воздействия воздуха, богатого кислородом, и различных газов, выделяющихся из жидкости.

Описанный процесс разрушения стенок каналов называется эрозией и является опасным следствием кавитации. Разрушения рабочих колес вследствие кавитации представлены на рис. 7.1.



Рис. 7.1. Разрушение рабочих колес вследствие кавитации

Внешним проявлением кавитации является наличие шума, вибрации, падение напора, подачи, мощности и КПД. Очевидно, что работа насоса в кавитационном режиме недопустима.

Возникновение и характер кавитационных явлений определяются кавитационным запасом Δh – превышением удельной энергии жидкости при входе в насос над удельной энергией её насыщенных паров:

$$\Delta h = \left(\frac{p}{\rho g} + \frac{\upsilon_S^2}{2g} \right) - \frac{p_{\text{vapor}}}{\rho g} , \qquad (7.1)$$

где p и υ_S – абсолютное давление и скорость на входе в насос; $p_{\text{s.steam}}$ – давление насыщенных паров жидкости на входе в насос, зависящее от рода жидкости и её температуры. Для воды и бензина p_{vapor} приведены в табл. 7.1.

Табл. 7.1. **Давление насыщенных паров жидкости на входе в насос p_{vapor}, кПа**

t, °C	5	10	15	20	25	30	40	60	80	100
Вода	0,32	1,21	1,69	2,34	3,17	4,24	7,37	20,2	48,2	103,3
Бензин	–	–	–	16,3	–	–	33,2	55,8	103,3	–

Начальная стадия кавитации определяется критическим кавитационным запасом Δh_{cr} – кавитационным запасом, при котором в насосе наблюдается падение напора на 2% на частной кавитационной характеристике ($H=f(\Delta h)$), или на 1 м при напоре насоса более 50 м.

Величину критического кавитационного запаса Δh_{cr}, м, можно определить при кавитационных испытаниях насоса по частной кавитационной характеристике, или по формуле:

$$\Delta h_{cr} = 10\left(\frac{n\sqrt{Q}}{C}\right)^{\frac{3}{4}}, \qquad (7.2)$$

где n – частота вращения, об/мин; Q – подача насоса, м^3/с; C – кавитационный коэффициент быстроходности, величина которого зависит от конструктивных особенностей насоса и равна: 600–800 – для тихоходных насосов; 800–1000 – для нормальных, насосов; 1000–1200 – для быстроходных насосов.

Работа насоса без изменения основных технических показателей, т. е. без кавитации, определяется допускаемым кавитационным запасом Δh_{perm}, вычисляемым по формуле:

$$\Delta h_{perm} = A \cdot \Delta h_{cr}, \qquad (7.3)$$

где A – коэффициент кавитационного запаса (A=1,05–1,3=f (Δh_{cr})) (табл. 7.2).

Табл.7.2. **Коэффициент кавитационного запаса**

Δh_{cr}, m	0–2.5	3	4	6	7	8	10	12	≥14
A	1,3	1,25	1,2	1,13	1,1	1,09	1,08	1,07	1,06

Графическая зависимость допускаемого кавитационного запаса от подачи в рабочем интервале подач $\Delta h_{perm}=f(Q)$ называется кавитационной характеристикой насоса (рис. 7.2). Её получают при кавитационных испытаниях насоса по частным кавитационным характеристикам.

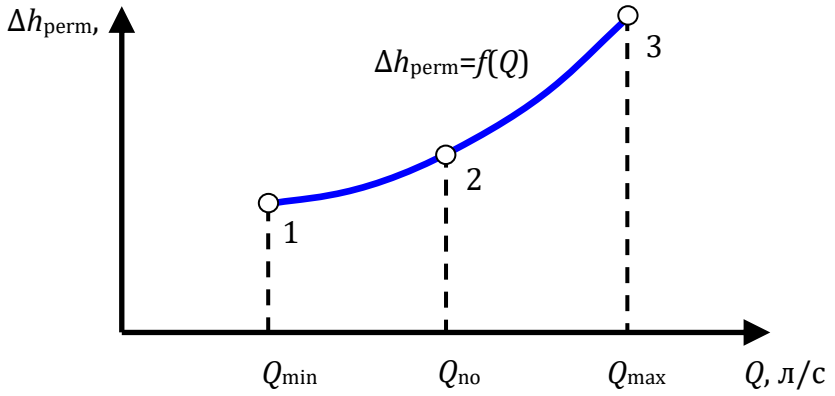


Рис. 7.2. Кавитационная характеристика насоса

Частная кавитационная характеристика – это зависимость напора насоса от кавитационного запаса при постоянной частоте вращения, подаче и температуре жидкости, $H=f(\Delta h)$ (рис. 7.3).

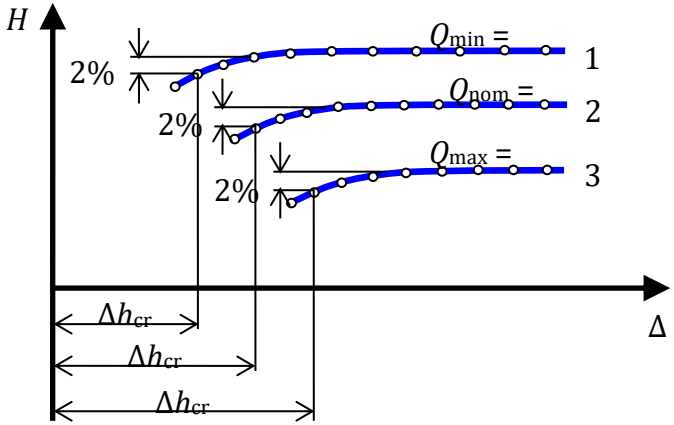


Рис. 7.3. Частные кавитационные характеристики насоса

При испытаниях насоса кавитационный запас определяется по формуле:

$$\Delta h_{\text{exp}} = \frac{p_{\text{atm}} - p_{\text{V}} - p_{\text{vapor.}}}{\rho g} + \frac{v_{\text{S}}^2}{2\text{g}} \ , \tag{7.4}$$

где $p_{\text{atm}} \approx 10^5$ Па – атмосферное давление; p_{V} – показания вакуумметра, Па.

Полученные опытным путем значения Δh_{exp} приводятся к номинальной частоте вращения n_{nom} по формуле:

$$\Delta h = \Delta h_{\text{exp}} \left(\frac{n_{\text{nom}}}{n_{\text{exp}}} \right)^2 \tag{7.5}$$

затем строится частная кавитационная характеристика насоса (рис. 7.3).

По каждой частной кавитационной характеристике находятся Δh_{cr} и Q, а затем Δh_{perm} (по формуле 7.3). По значениям Δh_{perm} и Q строится кавитационная характеристика $\Delta h_{\text{perm}} = f(Q)$ (рис. 7.2).

Контроль работы насоса при его эксплуатации производится по показаниям вакуумметра, установленного на входе в насос. Связь кавитационного запаса с вакуумом можно найти из выражения

$$H_{\text{vac}} = \frac{p_{\text{atm}} - p}{\rho g} = \frac{p_{\text{V}}}{\rho g} \tag{7.6}$$

и далее, произведя подстановку в (7.6) значение абсолютного давления p из формулы (7.1):

$$p = \Delta h \rho g + p_{\text{vapor}} - \frac{v_{\text{S}}^2 \rho}{2} \ , \tag{7.7}$$

$$H_{\text{vac}} = \frac{p_{\text{atm}} - p}{\rho g} = \frac{p_{\text{atm}} - p_{\text{vapor}}}{\rho g} - \Delta h + \frac{\upsilon_{\text{S}}^2}{2g} \tag{7.8}$$

По аналогии с (7.8) можно записать выражения для критического и допускаемого вакуума. Критический вакуум:

$$H_{\text{vac}}^{\text{cr}} = \frac{p_{\text{atm}} - p_{\text{vapor}}}{\rho g} - \Delta h_{\text{cr}} + \frac{\upsilon_{\text{S}}^2}{2g} \tag{7.9}$$

Допускаемый вакуум:

$$H_{\text{vac}}^{\text{perm}} = \frac{p_{\text{atm}} - p_{\text{vapor}}}{\rho g} - \Delta h_{\text{perm}} + \frac{\upsilon_{\text{S}}^2}{2g} \tag{7.10}$$

Употребляется также понятие вакуумметрической высоты всасывания H_{S}, которая связана с вакуумом зависимостью:

$$H_{\text{S}} = \frac{p_{\text{atm}} - p_{\text{vapor}}}{\rho g} + \frac{\upsilon_{\text{S}}^2}{2g} \ , \tag{7.11}$$

или:

$$H_{\text{S}} = H_{\text{vac}} + \Delta h \tag{7.12}$$

Вакуум на входе в насос зависит от расположения насоса по отношению к свободной поверхности жидкости в приемном резервуаре геометрической высоты всасывания H_{S}, режима работы насосов и других факторов.

Такая зависимость находится с помощью уравнения Бернулли:

$$H_{\text{vac}} = \frac{p_{\text{atm}} - p_{\text{vapor}}}{\rho \text{g}} = H_{\text{S}} + \frac{\upsilon_{\text{S}}^2}{2\text{g}} + h_{\text{S}} \tag{7.13}$$

где h_{S} – потери напора во всасывающем трубопроводе.

Максимальная (критическая) высота всасывания, т. е. высота, при которой начинается кавитация, вычисляется по формуле:

$$H_{\text{S}}^{\text{cr}} = H_{\text{vac}}^{\text{cr}} - \frac{\upsilon_{\text{S}}^2}{2\text{g}} - h_{\text{S}} \tag{7.14}$$

или:

$$H_{\text{S}}^{\text{cr}} = \frac{p_{\text{atm}} - p_{\text{vapor}}}{\rho \text{g}} - \Delta h_{\text{cr}} - h_{\text{S}} \tag{7.15}$$

Допускаемая высота всасывания H_{S}, т.е. высота, при которой обеспечивается бескавитационная работа насоса, равна:

$$H_{\mathrm{S}} = H_{\mathrm{vac}}^{\mathrm{perm}} - \frac{\upsilon_{\mathrm{S}}^2}{2\mathrm{g}} - h_{\mathrm{S}} \tag{7.16}$$

или:

$$H_{\mathrm{S}} = \frac{p_{\mathrm{atm}} - p_{\mathrm{vapor}}}{\rho g} - \Delta h_{\mathrm{perm}} - h_{\mathrm{S}} \tag{7.17}$$

7.2 Описание лабораторной установки №7.

Симуляционная модель лабораторной установки (рис. 7.4) включает электродвигатели (1, 2), испытываемый центробежный насос (3), резервуар (4), всасывающий и нагнетательный трубопроводы, вентиль изменения расхода (5), вакуумный насос (6), контрольно-измерительную аппаратуру: манометр (7) и вакуумметры (8, 9), диафрагму с подключенным к ней дифференциальным манометром (10) и тахометр (11), пульты включения электропитания центробежного (12) и вакуумного насосов (13).

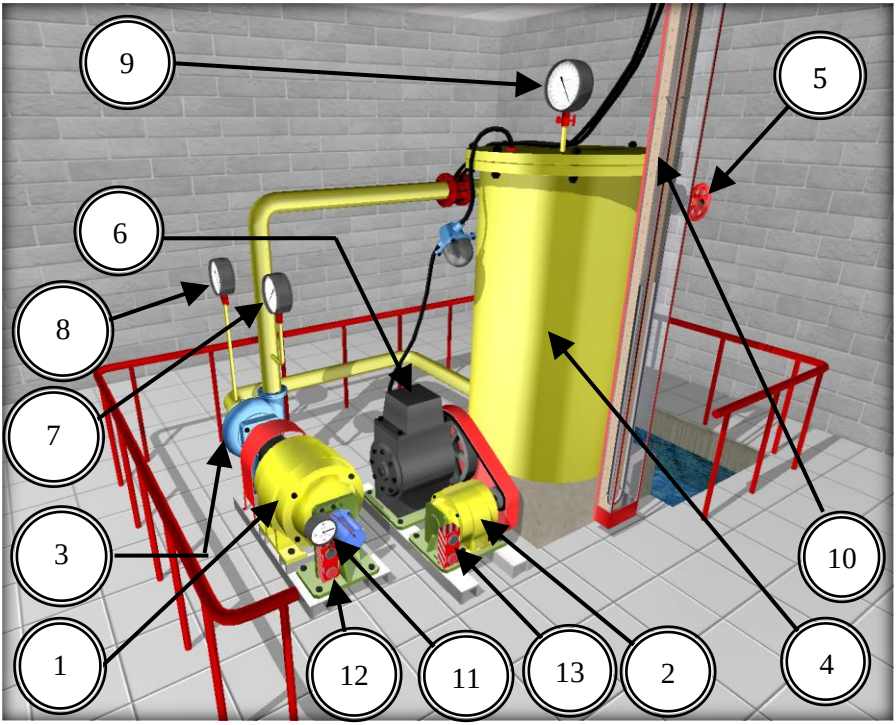


Рис. 7.4. Внешний вид симуляционной лабораторной установки

7.3 Порядок выполнения л/р №7.

Цели лабораторной работы:

1. Убедиться на практике в существовании явления кавитации в центробежном насосе и уяснить причины ее возникновения.

2. Освоить методику кавитационных испытаний центробежного насоса.

3. Получить в результате испытаний кавитационную характеристику насоса.

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

Частные кавитационные характеристики $H=f(\Delta h)$ следует получить для минимальной ($Q_{min}\approx1{,}45$ л/с), номинальной ($Q_{nom}\approx2{,}2$ л/с) и максимальной ($Q_{max}\approx3{,}2$ л/с) подач насоса.

Для этого необходимо:

1. Включить насос и обеспечить заданную минимальную подачу вентилем изменения расхода, предварительно определив для нее примерный перепад давлений на дифманометре h [мм. рт. ст.] из формулы (7.18).

2. Уменьшать ступенчато давление на входе в насос, включением вакуумного насоса, начиная с давления, заведомо исключающего кавитацию, и заканчивая при резком падении напора, обеспечивая при этом Q_i=const, и снимая на каждой ступени показания манометра, вакуумметров, дифманометра и тахометра. Результаты измерений занести в табл. 7.3.

3. Повторить пункты 1 и 2 для номинальной и максимальной подачи.

4. Вычислить параметры, необходимые для построения частной кавитационной характеристики: подачу насоса Q [л/с]:

$$Q_{exp} = C\sqrt{h}\,, \tag{7.18}$$

где C – постоянная диафрагмы (C=0,7); h – перепад давлений по дифманометру, мм. рт. ст.; скорости во всасывающем и напорном трубопроводах υ_S и υ_P, принимая диаметры трубопроводов из табл. 5 и переведя для этого Q в [м^3/с]:

$$\upsilon_S = \frac{4\cdot Q_{exp}}{\pi\cdot d_S^2}, \tag{7.19}$$

$$\upsilon_P = \frac{4\cdot Q_{exp}}{\pi\cdot d_P^2}, \tag{7.20}$$

где Q_{exp} – подача насоса, м^3/с; d_S и d_P – диаметры, соответственно, всасывающего и напорного трубопроводов, м (выбираются в зависимости от типа применяемого насоса); напор насоса H, имея в виду, что z_M = 0,50 м:

$$H = \frac{p_{\text{M}} \pm p_{\text{V}}}{\rho g} + z_{\text{M}} + \frac{\upsilon_{\text{P}}^2 - \upsilon_{\text{S}}^2}{2g}, \qquad (7.21)$$

где p_{M} и p_{V} – показания манометра и вакуумметра, расположенных, соответственно, на напорном и всасывающем патрубках насоса, Па; z_{M} – превышение оси вращения стрелки манометра над точкой подключения вакуумметра, м; кавитационный запас Δh_{exp} – по формуле (7.4), принимая давление насыщенных паров рн.п. по табл. 7.1 для заданной температуры жидкости.

Если в опытах частота вращения nоп отличается от номинальной n_{nom} (n_{nom}=2900 об/мин) более чем на 0,5%, кавитационный запас Δh_{exp} необходимо привести к n_{nom} по формуле (7.5). Если же n_{exp} отличается от n_{nom} менее чем на 0,5%, принять Δh=Δh_{exp}. Результаты вычислений занести в табл. 7.3.

5. Построить по результатам табл. 7.3 частные кавитационные характеристики H_i=$f(\Delta h)$ (см. рис. 7.3) для минимальной, номинальной и максимальной подач насоса.

6. Для получения кавитационной характеристики Δh_{perm}=$f(Q)$ необходимо по каждой частной кавитационной характеристике H_i=$f(\Delta h)$ определить допускаемый кавитационный запас Δh_{perm}=$A\Delta h_{\text{cr}}$, предварительно определив критический кавитационный запас Δh_{cr} по падению напора на 2% на кривой H_i=$f(\Delta h)$ и коэффициент кавитационного запаса A=$f(\Delta h_{\text{cr}})$ из табл. 7.2.

7. Результаты расчетов по п. 6 свести в табл. 7.4 и построить по данным этой таблицы кавитационную характеристику Δh_{perm}=f (Q) (см. рис. 7.2).

8. Дать заключения по лабораторной работе.

Таблица 7.3. **Измеряемые и рассчитываемые параметры для построения частных кавитационных характеристик насоса**

Начальные условия и измеряемые параметры					Рассчитываемые параметры						
P_{atm}/t, Па/°С	P_M, Па	P_V, Па	h, мм.рт.с.	n_{exp}, об/мин	Q, л/с	Q, м^3/с	υ_s, м/с	υ_p, м/с	H, м	Δh_{exp}, м	Δh, м

Таблица 7.4. **Данные для построения кавитационной характеристики насоса**

Q, л/с	Δh_{cr}, м	A	Δh_{perm}, м
Q_{min} = …	Δh_{cr1} = …	A_1 = …	Δh_{perm1} = …
Q_{nom} = …	Δh_{cr2} = …	A_2 = …	Δh_{perm2} = …
Q_{max} = …	Δh_{cr3} = …	A_3 = …	Δh_{perm3} = …

Таблица 7.5. **Диаметры всасывающего и напорного трубопроводов в лабораторной установке «Параметрические испытания насоса»**

Модель насоса	Диаметр всасывающего трубопровода d_s, м	Диаметр напорного трубопровода d_p, м
К 18/8 (1.5К 6)	0.05	0.032
К 20/20 (2К 6)	0.065	0.05
К 20/18 (2К 9)		
К 45/55 (3К 6)	0.08	
К 45/30 (3К 9)		0.065
К90/85 (4К 6)	0.1	

Основные контрольные вопросы к лабораторной работе № 7

1. Что такое кавитация, каковы ее внешние признаки?
2. Что называется кавитационным запасом Δh и как его определить при испытаниях?
3. Что называется критическим кавитационным запасом $\Delta h_{кр}$?
4. Что называется допускаемым кавитационным запасом $\Delta h_{доп}$?
5. Приведите формулу Руднева для определения критического кавитационного запаса.
6. Что такое высота всасывания и как она связана с кавитацией?
7. Что называется кавитационной характеристикой и как она изображается графически?
8. Что называется частной кавитационной характеристикой и как ее получить при испытаниях?
9. Каков порядок работы при снятии частной кавитационной характеристики?
10. Как получают кавитационную характеристику центробежного насоса?

8. Лабораторная работа №8. «Исследование характеристик центробежного вентилятора».

8.1 Описание физического процесса л/р №8.

Измерение разрежения (P_{vac}) производится по шкале микроманометра. В наклонном состоянии измерительной трубки прибора жидкость (подкрашенный спирт), расположенная внутри трубки, имеет горизонтальную свободную поверхность, следовательно, отсчет по шкале необходимо брать относительно центра свободной поверхности жидкости.

Текущий расход воздуха (м/с) в системе рассчитывается по уравнению:

$$Q_{cur} = \varphi \cdot S_S \cdot \sqrt{\frac{P_{vac} \cdot 2 \cdot g}{\rho_0}} \ , \qquad (8.1)$$

где φ – коэффициент коллектора, φ = 0,98…0,99;

S_s – площадь сечения всасывающего трубопровода, S_s=0,057 м^2;

g – ускорение свободного падения, g = 9,80665 м/с^2;

ρ_0 – плотность воздуха, ρ_0 = 1,225 кг/м^3;

P_{vac} – разрежение в коллекторе (определяется по микроманометру манометру), кгс/м^2:

$$P_{vac} = \frac{H_m \cdot \rho_{sp} \cdot k_m \cdot \Delta}{1000} \ , \qquad (8.2)$$

где H_m – показание по шкале микроманометра, мм. спиртового столба;

ρ_{sp} – плотность спирта, ρ_{sp} = 800 кг/м^3;

k_m – коэффициент микроманометра, равный синусу угла наклона измерительной трубки прибора (k_m = 0,4);

Δ – поправка на изменение микроклиматических условий в зоне измерения разрежения:

$$\Delta = \frac{760 \cdot (273 + t_k)}{293 \cdot P_{atm}}, \quad (8.3)$$

где t_k – температура воздуха в коллекторе, ^{0}C;

P_{atm} – атмосферное давление, мм. ртутного столба.

Для нормальных условий (t_k = 20 ^{0}C и P_{atm} = 760 мм.рт.ст.) Δ = 1.

Измерение статического давления во всасывающем трубопроводе производится по миллиметровой шкале дифференциального спиртового манометра, расположенного на измерительном стенде установки, относительно нулевой отметки шкалы (рис. 8.1).

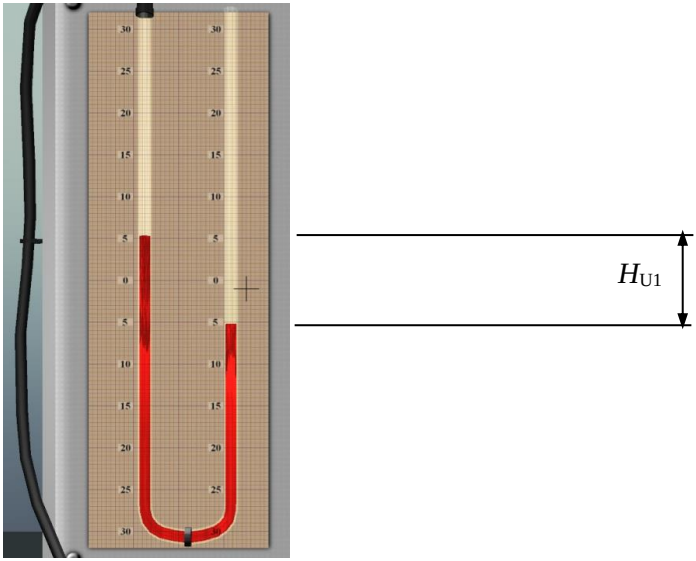


Рис. 8.1. Измерение статического давления во всасывающем трубопроводе с помощью дифференциального спиртового манометра

Статическое давление во всасывающем трубопроводе (P_{st1}, кгс/м^2) определяется по формуле:

$$P_{st1} = \frac{H_{U1} \cdot \rho_{sp} \cdot \Delta}{1000}\ , \qquad (8.4)$$

где H_{U1} – разность отметок жидкости в U-образной трубке дифференциального манометра, мм. спиртового столба.

Статическое давление на выходе из нагнетательного трубопровода установки соответствует атмосферному давлению (P_{st2}=P_{atm}).

Частота вращения вала вентилятора (об./мин) фиксируется по стрелочному тахометру, расположенному в правой верхней части измерительного стенда.

Мощность вентилятора (кВт) фиксируется по стрелочному киловаттметру, расположенному в правой части измерительного стенда. Следует обратить внимание, что шкала прибора градирована неравномерно (рис. 8.2).



Рис. 8.2. Измерение мощности вентилятора с помощью стрелочного киловаттметра

8.2 Описание лабораторной установки №8

Симуляционная модель лабораторной установки (рис. 8.3) включает электродвигатель (1), центробежный вентилятор (2), всасывающий трубопровод (3), нагнетательный трубопровод (4), узел замера статического давления во всасывающем трубопроводе (5), узел замера разрежения в коллекторе (6), задвижку (7), пульт включения электродвигателя (8), регулятор скорости вращения вентилятора (9), тахометр (10), электроизмерительные приборы (11), дифференциальный спиртовой манометр (12) и микроманометр (13).

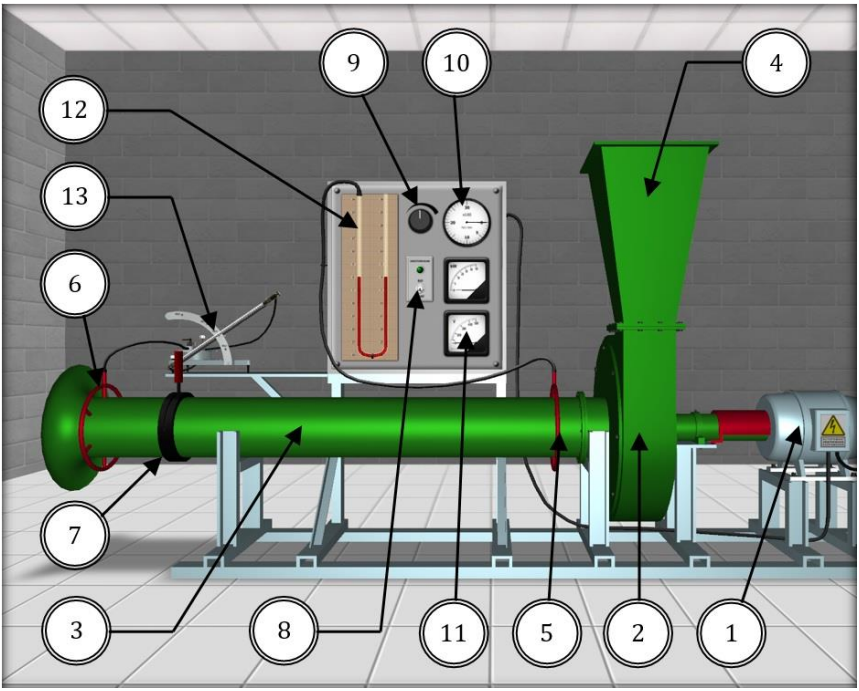


Рис. 8.3. Внешний вид симуляционной лабораторной установки

8.3 Порядок выполнения л/р №8.

Цели лабораторной работы:

Получение аэродинамических характеристик вентилятора (Q_{cur}, n, P_{fan} и η) и сравнение их с номограммой центробежного вентилятора.

Порядок действий и обработка экспериментальных данных:

1. Включить электродвигатель вентилятора, установить начальное открытие задвижки и определить текущий расход воздуха.

2. Определить разрежение в коллекторе по микроманометру.

3. Измерить статическое давление во всасывающем трубопроводе с помощью дифференциального манометра.

4. Снять показания с тахометра и киловаттметра.

5. Рассчитать скорости воздуха (м/с) во всасывающем и нагнетательном трубопроводе:

$$V_1 = \frac{Q_{cur}}{S_S} \ ; \tag{8.5}$$

$$V_2 = \frac{Q_{cur}}{S_P} \ , \tag{8.6}$$

где S_S, S_P – площади поперечных сечений всасывающего и нагнетательного трубопроводов, м^2 (в данной модели лабораторной установки S_S = 0,057 м^2, $S_{P(1)}$ = 0,057 м^2, $S_{P(2)}$ = 0,074 м^2).

6. По полученным значениям скоростей воздушного потока во всасывающем и нагнетательном трубопроводах определить динамические составляющие полного давления воздуха (кгс/м^2):

$$P_{dyn1} = \frac{\rho_0 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} \ ; \tag{8.7}$$

$$P_{dyn2} = \frac{\rho_0 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} \tag{8.8}$$

7. Определить полное давление, развиваемое вентилятором, по уравнению баланса давлений:

$$P_{\text{fan}} = P_{dyn2} - P_{dyn1} + P_{sr2} + P_{sr1} \tag{8.9}$$

8. Вычислить коэффициент полезного действия вентилятора:

$$\eta = \frac{Q_{\text{cur}} \cdot P_{\text{fan}} \cdot g}{N \cdot 1000} \ , \tag{8.10}$$

где N – мощность вентилятора, кВт (по показанию киловаттметра).

9. Результаты измеренных и рассчитанных параметров занести в табл. 8.1.

10. Полученные аэродинамические характеристики вентилятора (Q_{cur}, n, P_{fan} и η) сравнить с номограммой вентилятора (рис. 8.4).

11. Дать заключения по лабораторной работе.

Таблица 8.1. **Результаты измерений и расчетов**

№ опыта	Частота вращения вала n, об./мин	Текущий расход воздуха в систем	Разрежение в коллекторе P_{vac}, кгс/м^2	Статическое давление		Динамическое давление		Полное давление вентилятора P_{fan}	Мощность системы N, кВт	КПД вентилятора η
				всасыв. трубопр. P_{st1}, кгс/м^2	нагнет. трубопр. P_{st2}, кгс/м^2	всасыв. трубопр. P_{dyn1}, кгс/м^2	нагнет. трубопр. P_{dyn2}, кгс/м^2			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11

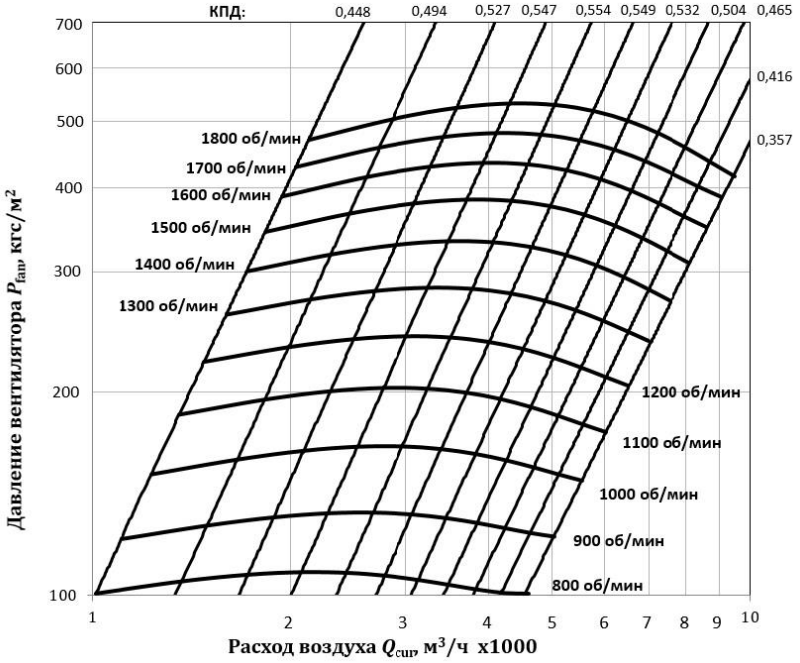


Рис. 8.4. Аэродинамическая характеристика вентилятора высокого давления в логарифмическом масштабе координатных осей

8.4 Контрольные вопросы к л/р №8.

1. Каков принцип действия центробежного вентилятора?
2. Из каких составляющих складывается полное давление вентилятора?
3. Как определяется расход воздуха в лабораторной работе?
4. От чего зависит коэффициент расхода расходомерной диафрагмы α?

Содержание

	Введение	
1.	Виртуальная лабораторная работа №5. Построение диаграммы Д. Бернулли на напорном трубопроводе переменного сечения по семи мерным сечениям трубопровода.	
2	Виртуальная лабораторная работа №6. Параметрические испытания центробежного насоса	
3.	Лабораторная работа №7. Кавитационные испытания центробежного насоса.	
4.	Лабораторная работа №8. «Исследование характеристик центробежного вентилятора».	
	Библиографический список	

Перечень задач по дисциплине «Гидромеханика»

Контролируемые компетенции:

ОПК-2. Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности;

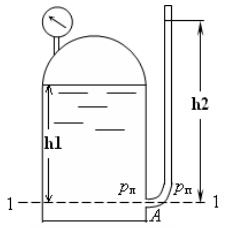
ПК-19. Способен практически применять информацию об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграммы и устройства для расчета напряжений в корпусе;

ПК-20. Способен обеспечить водонепроницаемость и предпринимать основные действия, в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии

ПК-57. Способен читать схемы трубопроводов, гидравлических и пневматических систем.

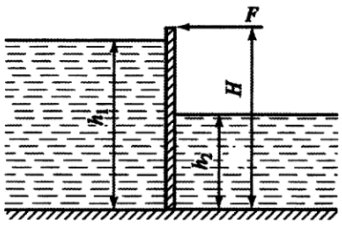
Вариант1.

1. Перечислите основные физические свойства жидкостей.
2. Дайте определение гидростатического давления.



3. Определить показания жидкостного манометра, присоединенного к резервуару с водой, на глубине *h1* = 1 м, если по показаниям пружинного манометра давление $p_м = 0{,}25 \cdot 10^5$ Па.

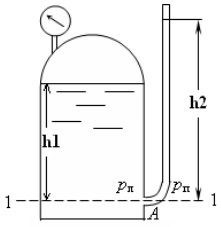
4. Тело плавает в воде, погрузившись в нее на 3/4 своего объема. Найти плотность материала тела.



5. Определить силу F, необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной b=4м и высотой H=5,5м при глубине воды слева h_1=5м, справа h_2=2м; $\rho = 1000 кг/м^3$; $g \approx 10 м/с^2$.

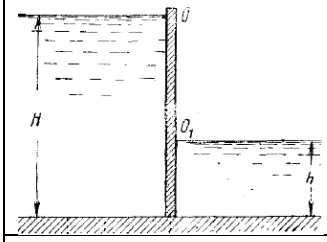
Вариант2.

1. Что подразумевается под жидкостью в механике жидкости и газа?
2. Какова размерность давления?



3. Определить показания ртутного манометра, присоединенного к резервуару с водой, если уровни воды в сосуде и в пьезометрической трубке равны соответственно *h1* = 1 м и *h2* = 1,3м

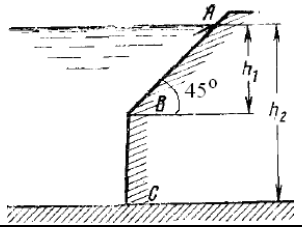
4. Бревно длиной L = 3,5 м и поперечным сечением S = 0,04 м2 плавает в воде. Какую наибольшую массу может иметь человек, чтобы бревно не утонуло, когда человек встанет на него? Плотность дерева $\rho_д$ = 500 кг/м3.



5. Построить эпюру манометрического давления на затвор ОА, найти действующую на него со стороны воды силу и точку ее приложения, если глубина воды перед затвором H=2м, за затвором h=1м, ширина затвора b=5м

Вариант 3.

1. Какая связь существует между плотностью и удельным весом жидкостей?
2. В каких единицах измеряется давление?
3. Определить полное гидростатическое и манометрическое давление на дне бака, наполненного водой. Бак сверху открыт, давление на свободной поверхности атмосферное (98,1 КПа). Глубина воды в баке 1,2 м.
4. Льдина площадью 2 $м^2$ плавает в воде. Когда на нее встал человек массой 70 кг, высота верхнего края льдины над водой уменьшилась вдвое. Какова толщина льдины? Плотность льда 0,916т/$м^3$.

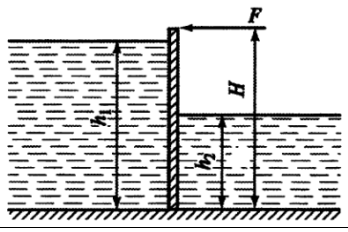


5. Построить эпюру манометрического давления на стенку АВС. Найти силу давления воды на участке ВС и точку ее приложения, если h_1=1,5м; h_2=3м; плотность воды $\rho = 1000 кг/м^3$

Вариант 4.

1. Какова размерность плотности и удельного веса?
2. Сформулируйте основную теорему гидростатики.
3. Определить полное гидростатическое давление и вакуум в точке, расположенной на глубине h=0,5м в резервуаре с нефтью ($\rho_н = 800 кг/м^3$). Давление на свободной поверхности жидкости соответствует 750 мм ртутного столба ($\rho_{рт} = 13600 кг/м^3$).

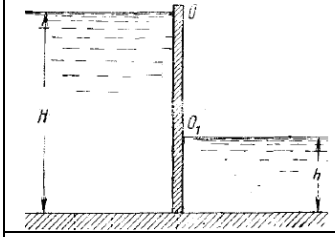
4. В жидкость плотностью ρ_1 опустили тело плотностью $\rho_2 < \rho_1$.Определить, какая часть длины тела погружается в жидкость.



5. Определить силу F, необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной b=4м и высотой H=5,5м при глубине воды слева h_1=5м, справа h_2=2м; $\rho = 1000 кг/м^3$; $g \approx 10 м/с^2$.

Вариант 5.

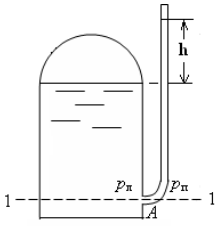
1. В каких единицах измеряется плотность и удельный вес в системе СИ?
2. Что называется поверхностью уровня (поверхностью равного давления)?
3. Определить полное гидростатическое давление на дно сосуда, наполненного водой. Сосуд сверху открыт, давление на свободной поверхности атмосферное (98100 Па). Глубина воды в сосуде h=0,6м.
4. Груз массой m_1 погружен в воду на глубину h_1. На какую глубину будет погружен в воду груз, если на него положить другой груз, после чего суммарная масса станет m_2 ?



5. Построить эпюру манометрического давления на затвор ОА, найти действующую на него со стороны воды силу и точку ее приложения, если глубина воды перед затвором H=2м, за затвором h=1м, ширина затвора b=5м.

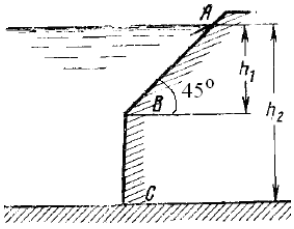
Вариант 6.

1. Что такое коэффициент объемного сжатия жидкости? Какова его размерность?
2. Что представляет собой поверхность уровня в поле сил тяготения?



3. В боковую стенку сосуда, наполненного водой, вставлена пьезометрическая трубка. Определить абсолютное давление p на свободной поверхности жидкости в сосуде, если под действием этого давления вода в трубке поднялась на высоту h=1,5м.

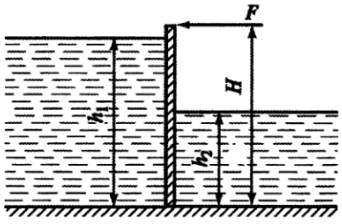
4. Прямоугольная баржа длиной *l=60м*, шириной *b=8м* и высотой *4,5м*, плавающая в воде при загрузке песком весит 1440тс (14126кН). Определить осадку баржи, а также водоизмещение при предельной осадке y_1*=3,5м*.



5. Построить эпюру манометрического давления на стенку АВС. Найти силу давления воды на участке ВС и точку ее приложения, если h_1=1,5м; h_2=3м; плотность воды $\rho = 1000 кг/м^3$

Вариант 7.

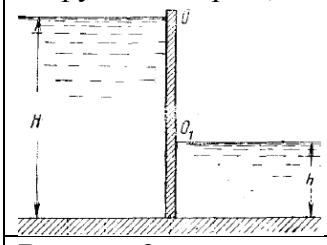
1. Какая связь коэффициента объемного сжатия с модулем объемной упругости? Какова его размерность?
2. Что называется полным (абсолютным) давлением?
3. В U–образной трубке находится ртуть. На сколько повысится уровень ртути в одном колене, если в другое налить столб воды высотой H = 136 мм?
4. Определить удельный вес бруска с размерами: *l=50см, b=20см, h=10см*, если его осадка в воде *y=8см*.



5. Определить силу F, необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной b=4м и высотой H=5,5м при глубине воды слева h_1=5м, справа h_2=2м; $\rho = 1000 кг/м^3$; $g \approx 10 м/с^2$.

Вариант 8.

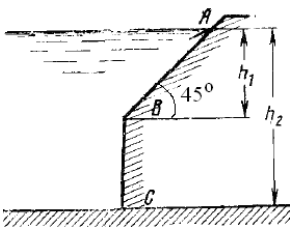
1. Что такое коэффициент температурного расширения? Какова его размерность?
2. Что называется избыточным давлением и вакуумом?
3. Три одинаковых вертикальных сосуда соединены в систему из трех сообщающихся сосудов. В систему залили ртуть. На сколько повысится уровень ртути в среднем сосуде, если в один из крайних налить слой воды высотой H1 = 102 мм, а в другой — слой воды высотой H2 = 153 мм.
4. Прямоугольная баржа размером $l \times b \times H = 60 \times 8 \times 3,5 м$ наполнена песком плотностью $\rho_п = 2000 кг/м^3$ и весом $G = 1444 \cdot 10^4$ Н. Определить осадку баржи h, а также объем песка, который необходимо отгрузить с баржи, чтобы осадка не превышала h=1,2м ($\rho_в = 1000 кг/м^3$).



5. Построить эпюру манометрического давления на затвор OA, найти действующую на него со стороны воды силу и точку ее приложения, если глубина воды перед затвором H=2м, за затвором h=1м, ширина затвора b=5м.

Вариант 9.

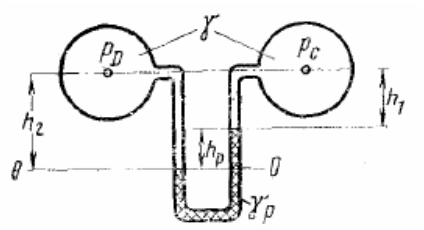
1. Какая связь коэффициента температурного расширения с плотностью жидкости?
2. Что называется пьезометрическим и гидростатическим напором?
3 В цилиндрический сосуд налили две несмешивающиеся жидкости в равных по массе количествах. Плотности жидкостей равны ρ1 = 1 г/см3 и ρ2 = 0,9 г/см3, а общая высота слоя жидкостей равна H = 40 см. Найти давление жидкостей на дно сосуда. Атмосферное давление не учитывать.
4. Тело плавает в воде, погрузившись в нее на 3/4 своего объема. Найти плотность материала тела.



5. Построить эпюру манометрического давления на стенку ABC. Найти силу давления воды на участке BC и точку ее приложения, если h_1=1,5м; h_2=3м; плотность воды $\rho = 1000 кг/м^3$

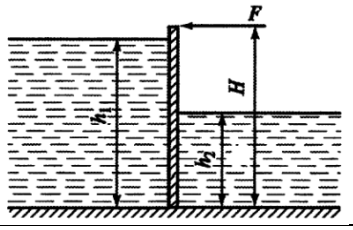
Вариант 10.

1. Что называется вязкостью жидкости?
2. Сформулируйте закон Паскаля.



3. Дифференциальный ртутный манометр присоединен к двум трубопроводам C и D с водой. Определить разность давлений в трубопроводах, если высота столба ртути h_p=*40см.*

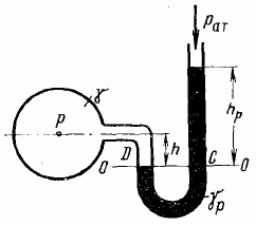
4. . Бревно длиной L = 3,5 м и поперечным сечением S = 0,04 м2 плавает в воде. Какую наибольшую массу может иметь человек, чтобы бревно не утонуло, когда человек встанет на него? Плотность дерева $\rho_д$ = 500 кг/м3.



5. Определить силу F, необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной b=4м и высотой H=5,5м при глубине воды слева h_1=5м, справа h_2=2м; $\rho = 1000$кг / м^3; $g \approx 10м/с^2$.

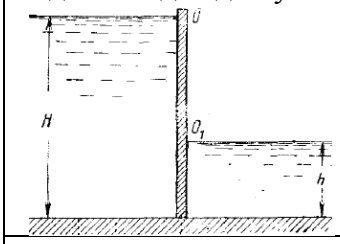
Вариант 11.

1. Что такое коэффициент динамической вязкости? Какова его размерность?
2. Какие гидравлические устройства основаны на законе Паскаля?



3. Определить полное и манометрическое давление в сосуде с водой, если высота столба ртути в трубке h_p=*30см*, а линия раздела между ртутью и водой расположена ниже оси сосуда на 10см.

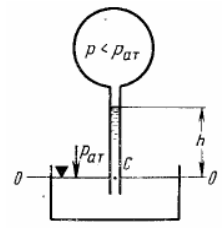
4. Льдина площадью 2 м^2 плавает в воде. Когда на нее встал человек массой 70 кг, высота верхнего края льдины над водой уменьшилась вдвое. Какова толщина льдины? Плотность льда 0,916т/м^3.



5. Построить эпюру манометрического давления на затвор OA, найти действующую на него со стороны воды силу и точку ее приложения, если глубина воды перед затвором H=2м, за затвором h=1м, ширина затвора b=5м.

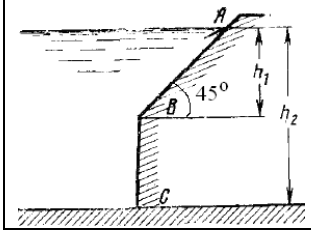
Вариант 12.

1. Какая связь существует между коэффициентами динамической и кинематической вязкости?
2. Как формулируется закон Архимеда?



3. Определить на какую высоту поднимается вода в вакуумметре, если полное гидростатическое давление в баллоне *p=0,8Па*

4. В жидкость плотностью ρ_1 опустили тело плотностью $\rho_2 < \rho_1$.Определить, какая часть длины тела погружается в жидкость.

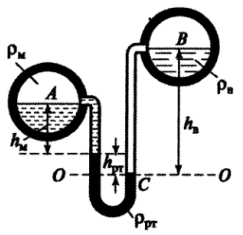


5. Построить эпюру манометрического давления на стенку ABC. Найти силу давления воды на участке BC и точку ее приложения, если h_1=1,5м; h_2=3м; плотность воды $\rho = 1000$кг / м^3

Вариант 13.

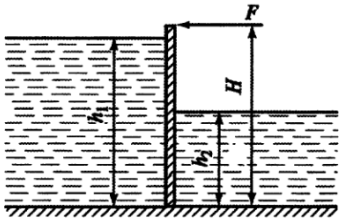
1. В каких единицах измеряется динамическая и кинематическая вязкость в системе СИ?

2. Что такое остойчивость плавающего тела?



3. Два горизонтальных цилиндрических трубопровода А и В содержат соответственно минеральное масло плотностью 900 кг/м^3 и воду плотностью 1000 кг/м^3. Высоты жидкостей, представленные на рис. имеют следующие значения: $h_м$=0,2м; $h_{рт}$=0,4м; $h_в$=0,9м. Зная, что гидростатическое давление на оси в трубопроводе А равно $0{,}6\cdot10^5$ Па, определить давление на оси трубопровода В.

4. Груз массой m_1 погружен в воду на глубину h_1. На какую глубину будет погружен в воду груз, если на него положить другой груз, после чего суммарная масса станет m_2 ?

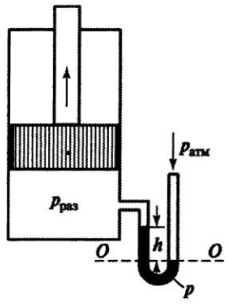


5. Определить силу F, необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной b=4м и высотой H=5,5м при глубине воды слева h_1=5м, справа h_2=2м; $\rho = 1000$кг / м^3; $g \approx 10$м/с^2.

Вариант 14.

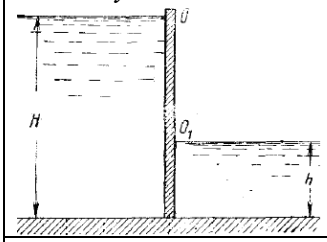
1. Какими приборами измеряется вязкость?

2. Что называется метацентром и метацентрическим радиусом?



3. К всасывающей стороне цилиндра присоединен водяной вакуумметр с показанием h=0,42м. Определить разрежение под поршнем.

4. Прямоугольная баржа длиной *l=60м*, шириной *b=8м* и высотой *4,5м*, плавающая в воде при загрузке песком весит 1440тс (14126кН). Определить осадку баржи, а также водоизмещение при предельной осадке y_1=*3,5м*.

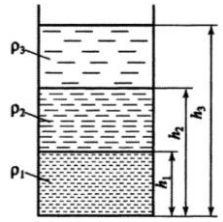


5. Построить эпюру манометрического давления на затвор ОА, найти действующую на него со стороны воды силу и точку ее приложения, если глубина воды перед затвором H=2м, за затвором h=1м, ширина затвора b=5м.

Вариант 15.

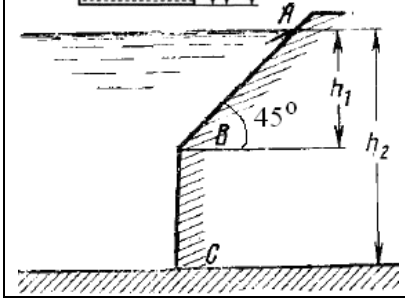
1. Перечислите основные физические свойства жидкостей.

2. Какова размерность давления?



3. Несмешивающиеся жидкости с плотностями $\rho_1 = 1000$кг / м^3, $\rho_2 = 850$кг / м^3, $\rho_3 = 760$кг / м^3 находятся в сосуде. Определить избыточное давление на основание сосуда, если h_1=1м, h_2=3м, h_3=6м.

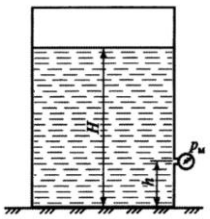
4. Определить удельный вес бруска с размерами: *l=50см, b=20см, h=10см*, если его осадка в воде *y=8см*.



5. Построить эпюру манометрического давления на стенку АВС. Найти силу давления воды на участке ВС и точку ее приложения, если h_1=1,5м; h_2=3м; плотность воды $\rho = 1000$кг / м^3

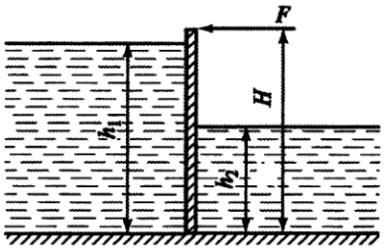
Вариант 16.

1. Какая связь существует между плотностью и удельным весом жидкостей?
2. Сформулируйте закон Паскаля.



3. Показание манометра, расположенного на расстоянии h=1м от днища резервуара $p_м$=5Н/см^2. Определить высоту сврбодной поверхности бензина Н в резервуаре, если $\rho_б = 850 кг/м^3$, $g \approx 10 м/с^2$.

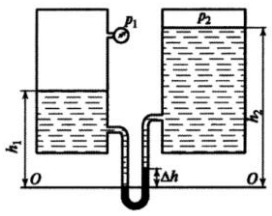
4. Прямоугольная баржа размером $l \times b \times H = 60 \times 8 \times 3{,}5 м$ наполнена песком плотностью $\rho_п = 2000 кг/м^3$ и весом $G = 1444 \cdot 10^4$ Н. Определить осадку баржи h, а также объем песка, который необходимо отгрузить с баржи, чтобы осадка не превышала h=1,2м ($\rho_в = 1000 кг/м^3$).



5. Определить силу F, необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной b=4м и высотой Н=5,5м при глубине воды слева h_1=5м, справа h_2=2м; $\rho = 1000 кг/м^3$; $g \approx 10 м/с^2$.

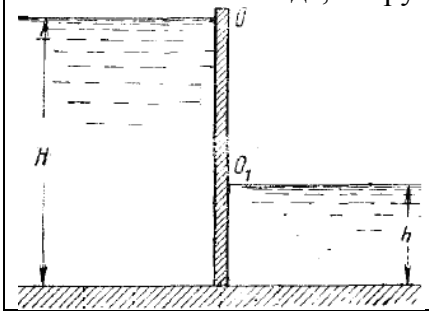
Вариант 17.

1. Что такое коэффициент объемного сжатия жидкости? Какова его размерность?
2. Как формулируется закон Архимеда?



3. Два закрытых сосуда содержат воду. Свободные поверхности расположены по отношению к плоскости сравнения О-О на высотах h_1=1м и h_2=1,8м. Показание манометра $p_1 = 1{,}2 \cdot 10^5 Н/м^2$, разница уровней ртути в дифференциальном манометре $\Delta h = 200 мм$. Определить давление на свободную поверхность второго резервуара p_2.

4. Тело плавает в воде, погрузившись в нее на 3/4 своего объема. Найти плотность материала тела.



5. Построить эпюру манометрического давления на затвор ОА, найти действующую на него со стороны воды силу и точку ее приложения, если глубина воды перед затвором Н=2м, за затвором h=1м, ширина затвора b=5м.

Перечень задач по дисциплине «Гидромеханика»

Контролируемые компетенции:

ОПК-2. Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности;

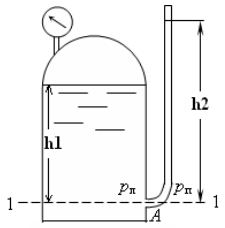
ПК-19. Способен практически применять информацию об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграммы и устройства для расчета напряжений в корпусе;

ПК-20. Способен обеспечить водонепроницаемость и предпринимать основные действия, в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии

ПК-57. Способен читать схемы трубопроводов, гидравлических и пневматических систем.

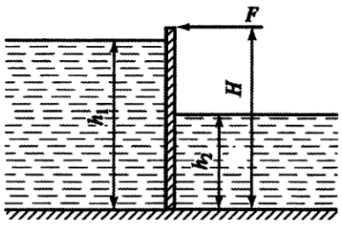
Вариант1.

1. Перечислите основные физические свойства жидкостей.
2. Дайте определение гидростатического давления.



3. Определить показания жидкостного манометра, присоединенного к резервуару с водой, на глубине *h1* = 1 м, если по показаниям пружинного манометра давление $p_м = 0{,}25 \cdot 10^5$ Па.

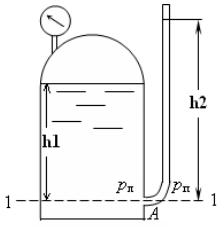
4. Тело плавает в воде, погрузившись в нее на 3/4 своего объема. Найти плотность материала тела.



5. Определить силу F, необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной b=4м и высотой H=5,5м при глубине воды слева h_1=5м, справа h_2=2м; $\rho = 1000 кг/м^3$; $g \approx 10 м/с^2$.

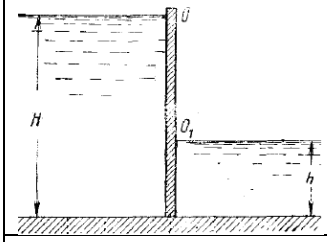
Вариант2.

1. Что подразумевается под жидкостью в механике жидкости и газа?
2. Какова размерность давления?



3. Определить показания ртутного манометра, присоединенного к резервуару с водой, если уровни воды в сосуде и в пьезометрической трубке равны соответственно *h1* = 1 м и *h2* = 1,3м

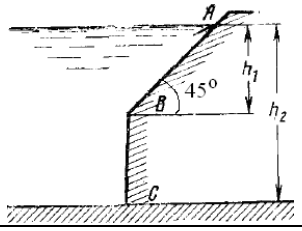
4. Бревно длиной L = 3,5 м и поперечным сечением S = 0,04 м2 плавает в воде. Какую наибольшую массу может иметь человек, чтобы бревно не утонуло, когда человек встанет на него? Плотность дерева $\rho_д$ = 500 кг/м3.



5. Построить эпюру манометрического давления на затвор ОА, найти действующую на него со стороны воды силу и точку ее приложения, если глубина воды перед затвором H=2м, за затвором h=1м, ширина затвора b=5м

Вариант 3.

1. Какая связь существует между плотностью и удельным весом жидкостей?
2. В каких единицах измеряется давление?
3. Определить полное гидростатическое и манометрическое давление на дне бака, наполненного водой. Бак сверху открыт, давление на свободной поверхности атмосферное (98,1 КПа). Глубина воды в баке 1,2 м.
4. Льдина площадью 2 $м^2$ плавает в воде. Когда на нее встал человек массой 70 кг, высота верхнего края льдины над водой уменьшилась вдвое. Какова толщина льдины? Плотность льда 0,916т/$м^3$.

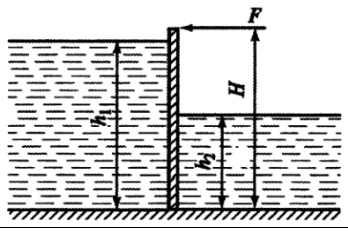


5. Построить эпюру манометрического давления на стенку АВС. Найти силу давления воды на участке ВС и точку ее приложения, если h_1=1,5м; h_2=3м; плотность воды $\rho = 1000 кг/м^3$

Вариант 4.

1. Какова размерность плотности и удельного веса?
2. Сформулируйте основную теорему гидростатики.
3. Определить полное гидростатическое давление и вакуум в точке, расположенной на глубине h=0,5м в резервуаре с нефтью ($\rho_н = 800 кг/м^3$). Давление на свободной поверхности жидкости соответствует 750 мм ртутного столба ($\rho_{рт} = 13600 кг/м^3$).

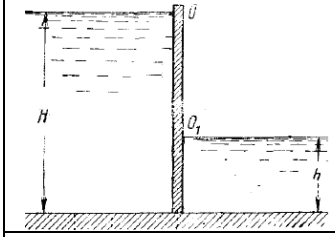
4. В жидкость плотностью ρ_1 опустили тело плотностью $\rho_2 < \rho_1$.Определить, какая часть длины тела погружается в жидкость.



5. Определить силу F, необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной b=4м и высотой H=5,5м при глубине воды слева h_1=5м, справа h_2=2м; $\rho = 1000 кг/м^3$; $g \approx 10 м/с^2$.

Вариант 5.

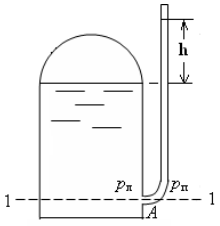
1. В каких единицах измеряется плотность и удельный вес в системе СИ?
2. Что называется поверхностью уровня (поверхностью равного давления)?
3. Определить полное гидростатическое давление на дно сосуда, наполненного водой. Сосуд сверху открыт, давление на свободной поверхности атмосферное (98100 Па). Глубина воды в сосуде h=0,6м.
4. Груз массой m_1 погружен в воду на глубину h_1. На какую глубину будет погружен в воду груз, если на него положить другой груз, после чего суммарная масса станет m_2 ?



5. Построить эпюру манометрического давления на затвор ОА, найти действующую на него со стороны воды силу и точку ее приложения, если глубина воды перед затвором H=2м, за затвором h=1м, ширина затвора b=5м.

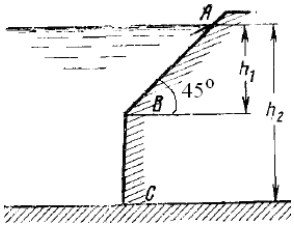
Вариант 6.

1. Что такое коэффициент объемного сжатия жидкости? Какова его размерность?
2. Что представляет собой поверхность уровня в поле сил тяготения?



3. В боковую стенку сосуда, наполненного водой, вставлена пьезометрическая трубка. Определить абсолютное давление p на свободной поверхности жидкости в сосуде, если под действием этого давления вода в трубке поднялась на высоту h=1,5м.

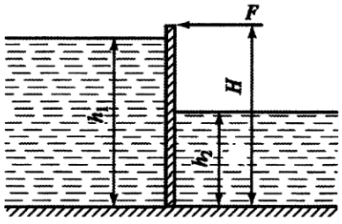
4. Прямоугольная баржа длиной *l=60м*, шириной *b=8м* и высотой *4,5м*, плавающая в воде при загрузке песком весит 1440тс (14126кН). Определить осадку баржи, а также водоизмещение при предельной осадке y_1*=3,5м*.



5. Построить эпюру манометрического давления на стенку АВС. Найти силу давления воды на участке ВС и точку ее приложения, если h_1=1,5м; h_2=3м; плотность воды $\rho = 1000 кг/м^3$

Вариант 7.

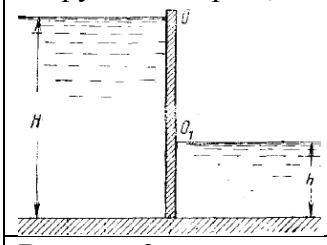
1. Какая связь коэффициента объемного сжатия с модулем объемной упругости? Какова его размерность?
2. Что называется полным (абсолютным) давлением?
3. В U–образной трубке находится ртуть. На сколько повысится уровень ртути в одном колене, если в другое налить столб воды высотой H = 136 мм?
4. Определить удельный вес бруска с размерами: *l=50см, b=20см, h=10см*, если его осадка в воде *y=8см*.



5. Определить силу F, необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной b=4м и высотой H=5,5м при глубине воды слева h_1=5м, справа h_2=2м; $\rho = 1000 кг/м^3$; $g \approx 10 м/с^2$.

Вариант 8.

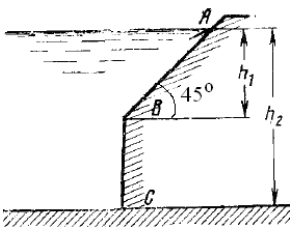
1. Что такое коэффициент температурного расширения? Какова его размерность?
2. Что называется избыточным давлением и вакуумом?
3. Три одинаковых вертикальных сосуда соединены в систему из трех сообщающихся сосудов. В систему залили ртуть. На сколько повысится уровень ртути в среднем сосуде, если в один из крайних налить слой воды высотой H1 = 102 мм, а в другой — слой воды высотой H2 = 153 мм.
4. Прямоугольная баржа размером $l \times b \times H = 60 \times 8 \times 3,5 м$ наполнена песком плотностью $\rho_п = 2000 кг/м^3$ и весом $G = 1444 \cdot 10^4$ Н. Определить осадку баржи h, а также объем песка, который необходимо отгрузить с баржи, чтобы осадка не превышала h=1,2м ($\rho_в = 1000 кг/м^3$).



5. Построить эпюру манометрического давления на затвор OA, найти действующую на него со стороны воды силу и точку ее приложения, если глубина воды перед затвором H=2м, за затвором h=1м, ширина затвора b=5м.

Вариант 9.

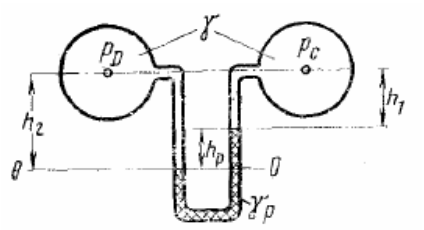
1. Какая связь коэффициента температурного расширения с плотностью жидкости?
2. Что называется пьезометрическим и гидростатическим напором?
3 В цилиндрический сосуд налили две несмешивающиеся жидкости в равных по массе количествах. Плотности жидкостей равны ρ1 = 1 г/см3 и ρ2 = 0,9 г/см3, а общая высота слоя жидкостей равна H = 40 см. Найти давление жидкостей на дно сосуда. Атмосферное давление не учитывать.
4. Тело плавает в воде, погрузившись в нее на 3/4 своего объема. Найти плотность материала тела.



5. Построить эпюру манометрического давления на стенку ABC. Найти силу давления воды на участке BC и точку ее приложения, если h_1=1,5м; h_2=3м; плотность воды $\rho = 1000 кг/м^3$

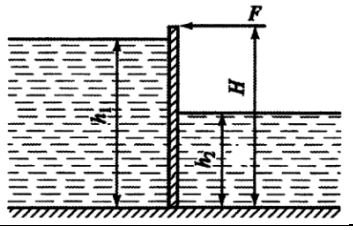
Вариант 10.

1. Что называется вязкостью жидкости?
2. Сформулируйте закон Паскаля.



3. Дифференциальный ртутный манометр присоединен к двум трубопроводам C и D с водой. Определить разность давлений в трубопроводах, если высота столба ртути h_p=*40см.*

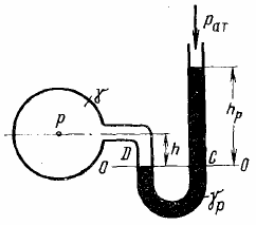
4. . Бревно длиной L = 3,5 м и поперечным сечением S = 0,04 м2 плавает в воде. Какую наибольшую массу может иметь человек, чтобы бревно не утонуло, когда человек встанет на него? Плотность дерева $\rho_д$ = 500 кг/м3.



5. Определить силу F, необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной b=4м и высотой H=5,5м при глубине воды слева h_1=5м, справа h_2=2м; $\rho = 1000$кг / м^3; $g \approx 10м/с^2$.

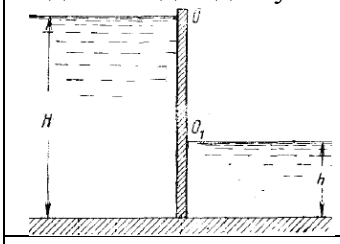
Вариант 11.

1. Что такое коэффициент динамической вязкости? Какова его размерность?
2. Какие гидравлические устройства основаны на законе Паскаля?



3. Определить полное и манометрическое давление в сосуде с водой, если высота столба ртути в трубке h_p=*30см*, а линия раздела между ртутью и водой расположена ниже оси сосуда на 10см.

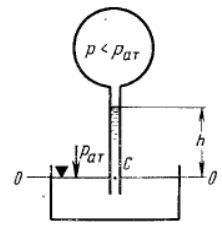
4. Льдина площадью 2 м^2 плавает в воде. Когда на нее встал человек массой 70 кг, высота верхнего края льдины над водой уменьшилась вдвое. Какова толщина льдины? Плотность льда 0,916т/м^3.



5. Построить эпюру манометрического давления на затвор OA, найти действующую на него со стороны воды силу и точку ее приложения, если глубина воды перед затвором H=2м, за затвором h=1м, ширина затвора b=5м.

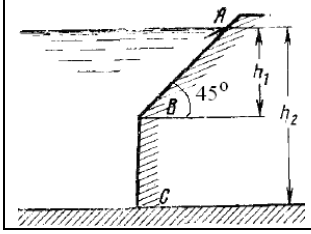
Вариант 12.

1. Какая связь существует между коэффициентами динамической и кинематической вязкости?
2. Как формулируется закон Архимеда?



3. Определить на какую высоту поднимается вода в вакуумметре, если полное гидростатическое давление в баллоне *p=0,8Па*

4. В жидкость плотностью ρ_1 опустили тело плотностью $\rho_2 < \rho_1$.Определить, какая часть длины тела погружается в жидкость.

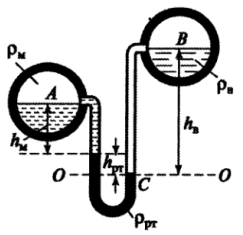


5. Построить эпюру манометрического давления на стенку ABC. Найти силу давления воды на участке BC и точку ее приложения, если h_1=1,5м; h_2=3м; плотность воды $\rho = 1000$кг / м^3

Вариант 13.

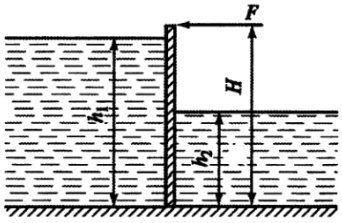
1. В каких единицах измеряется динамическая и кинематическая вязкость в системе СИ?

2. Что такое остойчивость плавающего тела?



3. Два горизонтальных цилиндрических трубопровода А и В содержат соответственно минеральное масло плотностью 900 кг/м^3 и воду плотностью 1000 кг/м^3. Высоты жидкостей, представленные на рис. имеют следующие значения: $h_м$=0,2м; $h_{рт}$=0,4м; $h_в$=0,9м. Зная, что гидростатическое давление на оси в трубопроводе А равно $0{,}6\cdot10^5$ Па, определить давление на оси трубопровода В.

4. Груз массой m_1 погружен в воду на глубину h_1. На какую глубину будет погружен в воду груз, если на него положить другой груз, после чего суммарная масса станет m_2 ?

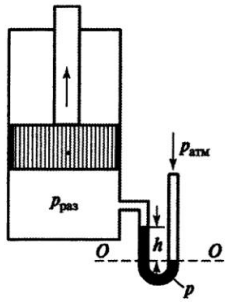


5. Определить силу F, необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной b=4м и высотой H=5,5м при глубине воды слева h_1=5м, справа h_2=2м; $\rho = 1000$кг / м^3; $g \approx 10$м/с^2.

Вариант 14.

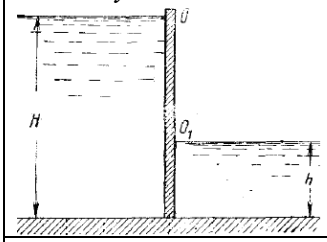
1. Какими приборами измеряется вязкость?

2. Что называется метацентром и метацентрическим радиусом?



3. К всасывающей стороне цилиндра присоединен водяной вакуумметр с показанием h=0,42м. Определить разрежение под поршнем.

4. Прямоугольная баржа длиной *l=60м*, шириной *b=8м* и высотой *4,5м*, плавающая в воде при загрузке песком весит 1440тс (14126кН). Определить осадку баржи, а также водоизмещение при предельной осадке y_1=*3,5м*.

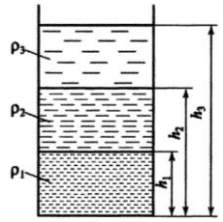


5. Построить эпюру манометрического давления на затвор ОА, найти действующую на него со стороны воды силу и точку ее приложения, если глубина воды перед затвором H=2м, за затвором h=1м, ширина затвора b=5м.

Вариант 15.

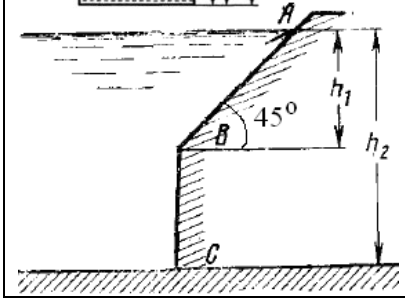
1. Перечислите основные физические свойства жидкостей.

2. Какова размерность давления?



3. Несмешивающиеся жидкости с плотностями $\rho_1 = 1000$кг / м^3, $\rho_2 = 850$кг / м^3, $\rho_3 = 760$кг / м^3 находятся в сосуде. Определить избыточное давление на основание сосуда, если h_1=1м, h_2=3м, h_3=6м.

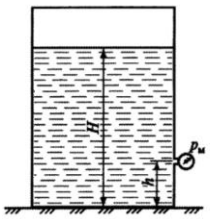
4. Определить удельный вес бруска с размерами: *l=50см, b=20см, h=10см*, если его осадка в воде *y=8см*.



5. Построить эпюру манометрического давления на стенку АВС. Найти силу давления воды на участке ВС и точку ее приложения, если h_1=1,5м; h_2=3м; плотность воды $\rho = 1000$кг / м^3

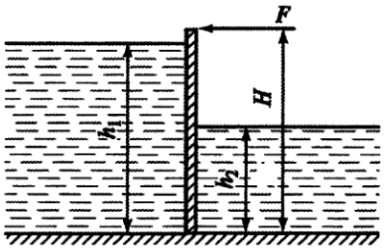
Вариант 16.

1. Какая связь существует между плотностью и удельным весом жидкостей?
2. Сформулируйте закон Паскаля.



3. Показание манометра, расположенного на расстоянии h=1м от днища резервуара $p_м$=5Н/см^2. Определить высоту сврбодной поверхности бензина Н в резервуаре, если $\rho_б = 850 кг/м^3$, $g \approx 10 м/с^2$.

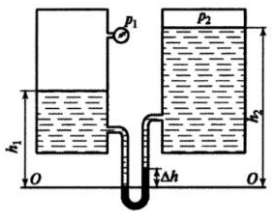
4. Прямоугольная баржа размером $l \times b \times H = 60 \times 8 \times 3{,}5 м$ наполнена песком плотностью $\rho_п = 2000 кг/м^3$ и весом $G = 1444 \cdot 10^4$ Н. Определить осадку баржи h, а также объем песка, который необходимо отгрузить с баржи, чтобы осадка не превышала h=1,2м ($\rho_в = 1000 кг/м^3$).



5. Определить силу F, необходимую для удержания вертикального панно (стенки) шириной b=4м и высотой Н=5,5м при глубине воды слева h_1=5м, справа h_2=2м; $\rho = 1000 кг/м^3$; $g \approx 10 м/с^2$.

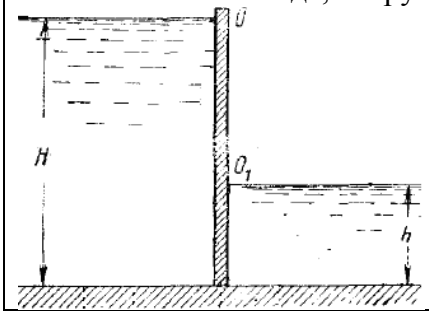
Вариант 17.

1. Что такое коэффициент объемного сжатия жидкости? Какова его размерность?
2. Как формулируется закон Архимеда?



3. Два закрытых сосуда содержат воду. Свободные поверхности расположены по отношению к плоскости сравнения О-О на высотах h_1=1м и h_2=1,8м. Показание манометра $p_1 = 1{,}2 \cdot 10^5 Н/м^2$, разница уровней ртути в дифференциальном манометре $\Delta h = 200 мм$. Определить давление на свободную поверхность второго резервуара p_2.

4. Тело плавает в воде, погрузившись в нее на 3/4 своего объема. Найти плотность материала тела.



5. Построить эпюру манометрического давления на затвор ОА, найти действующую на него со стороны воды силу и точку ее приложения, если глубина воды перед затвором Н=2м, за затвором h=1м, ширина затвора b=5м.

Перечень вопросов для подготовке к опросу по дисциплине «Гидромеханика»

Контролируемые компетенции:

ОПК-2. Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности;

ПК-19. Способен практически применять информацию об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграммы и устройства для расчета напряжений в корпусе;

ПК-20. Способен обеспечить водонепроницаемость и предпринимать основные действия, в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии

ПК-57. Способен читать схемы трубопроводов, гидравлических и пневматических систем.

1. Основные понятия и определения жидкости и газа, как сплошной среды. Физические свойства жидкости. Аномалии воды.

- **Вопрос на знание основ:** Дайте определение сплошной среды. Чем принципиально отличаются жидкости и газы с точки зрения молекулярного строения и способности сопротивляться деформациям?
- **Вопрос на понимание и применение:** Какие аномальные свойства воды наиболее существенно влияют на природные явления и работу гидротехнических сооружений? Объясните, например, последствия аномалии плотности.

2. Силы, действующие в жидкости.

- **Вопрос на знание основ:** На какие две основные категории делятся силы, действующие в жидкости? Приведите по два примера для каждой категории и объясните их природу.
- **Вопрос на понимание и применение:** Как разделение сил на массовые и поверхностные используется при выводе дифференциальных уравнений равновесия и движения жидкости?

3. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости. Основное уравнение гидростатики и уравнение поверхности равного уровня.

- **Вопрос на знание основ:** Запишите дифференциальные уравнения равновесия жидкости (уравнения Эйлера) и выведите из них основное уравнение гидростатики.

- **Вопрос на понимание и применение:** Что представляет собой поверхность уровня в поле массовых сил и как ее вид связан с характером действующих сил? Приведите пример для поля силы тяжести и поля центробежных сил.

4. Применение методов для определению остойчивости, посадке и напряжений, построение диаграмм расчета напряжений в корпусе.

- **Вопрос на знание основ:** Что понимается под остойчивостью судна и каковы основные факторы, на которые она влияет?
- **Вопрос на понимание и применение:** Опишите логику построения диаграммы статической остойчивости. Как по ее виду можно сделать вывод о запасе остойчивости судна при различных углах крена?

5. Основные понятия динамики жидкости. Установившееся и неустановившееся, равномерное и неравномерное, напорное и безнапорное течения. Линии тока, элементарная струйка, трубка тока, гидравлический радиус. Живое сечение потока.

- **Вопрос на знание основ:** Дайте определения установившемуся и неустановившемуся, напорному и безнапорному течениям. Что характеризует гидравлический радиус живого сечения потока?
- **Вопрос на понимание и применение:** В чем заключается принципиальная важность концепции трубки тока и элементарной струйки для вывода фундаментальных уравнений гидродинамики, таких как уравнение неразрывности и Бернулли?

6. Уравнение постоянства расхода для установившегося движения жидкости (уравнение неразрывности). Методы математического анализа и экспериментального исследования движения жидкости.

- **Вопрос на знание основ:** Сформулируйте уравнение неразрывности для установившегося потока несжимаемой жидкости и поясните физический смысл каждого члена в этом уравнении.
- **Вопрос на понимание и применение:** Сравните математические и экспериментальные методы исследования течений жидкости. В каких практических ситуациях предпочтительнее использовать каждый из этих подходов?

7. Уравнения движения идеальной жидкости в форме Эйлера.

- **Вопрос на знание основ:** Запишите уравнения Эйлера для движения идеальной жидкости. Объясните физический смысл каждого слагаемого в этих уравнениях.
- **Вопрос на понимание и применение:** Какие фундаментальные законы механики (например, сохранения) положены в основу вывода уравнений Эйлера, и какие ключевые допущения (идеализации) при этом используются?

Заведующий кафедрой ПТМ и МР Никитаев И.В.

Перечень вопросов для подготовке к зачету по дисциплине «Гидромеханика»

Контролируемые компетенции:

ОПК-2. Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности;

ПК-19. Способен практически применять информацию об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграммы и устройства для расчета напряжений в корпусе;

ПК-20. Способен обеспечить водонепроницаемость и предпринимать основные действия, в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии

ПК-57. Способен читать схемы трубопроводов, гидравлических и пневматических систем.

Вопросы к зачету по Гидромеханике

1.Основные физические свойства жидкостей.
2. Понятие о вязкой и невязкой жидкостях. Внутреннее трение в жидкости. Единицы измерения вязкости жидкости.
3.Гидростатическое давление и его свойства.
4. Дифференциальные уравнения равновесия жидкости (Эйлера).
5. Основное уравнение гидростатики и его геометрический и энергетический смысл.
6. Закон Паскаля.
7. Абсолютное, избыточное, вакуумметрическое давления, пьезометрическая высота.
8. Сила давления жидкости на плоскую поверхность. Центр давления.
9. Эпюры давления и их применение для определения силы и центра давления на плоскую прямоугольную поверхность.
10. Закон Архимеда. Плавание тел.
11. Основы статической остойчивости плавающего тела.
12. Основные понятия гидродинамики: поток, расход, живое сечение, местная и средняя скорости, смоченный периметр, гидравлический радиус.
13. Виды движения жидкости, установившееся и неустановившееся, равномерное и неравномерное, напорное и безнапорное.
14. Уравнение неразрывности потока жидкости в гидравлической форме, (уравнение постоянства расхода).
15. Полный гидродинамический напор. Геометрический и физический смысл всех его составляющих.
16. Уравнение Бернулли для потока жидкости.
17. Графическое представление уравнения Бернулли. Пьезометрическая и напорная линии.
18. Режимы движения жидкостей: ламинарный и турбулентный.
19. Виды гидравлических сопротивлений: местные и по длине.
20. Зависимость потери напора от режима движения жидкости. Формула Дарси.

21. Определение потерь напора в местных сопротивлениях.
22. Истечение жидкостей из отверстий и насадок при постоянном напоре. Коэффициенты расхода, скорости и сжатия при истечении из отверстий и насадок.
23. Истечение жидкости при переменном напоре. Расчет времени наполнения и опорожнения резервуаров.
24. Понятие о коротких и длинных, простых и сложных трубопроводах.
25. Расчет сложных трубопроводов при последовательном и параллельном соединении труб.
26. Расчет трубопроводов при непрерывных и транзитных расходах жидкости.
27. Теория Н.Е. Жуковского о гидравлическом ударе в трубах и меры борьбы с ним.

Заведующий кафедрой ПТМ и МР Никитаев И.В.

ИТОГОВОЕ ТЕСТОВОЕ ЗАДАНИЕ по дисциплине «Гидромеханика»

Контролируемые компетенции: Перечень планируемых результатов:

* ОПК-2. Способен применять естественнонаучные и общеинженерные знания, аналитические методы в профессиональной деятельности

* ПК-20. Способен обеспечить водонепроницаемость и предпринимать основные действия, в случае частичной потери плавучести в неповрежденном состоянии

* ПК-19. Способен практически применять информацию об остойчивости, посадке и напряжениях, диаграммы и устройства для расчета напряжений в корпусе

* ПК-57. Способен читать схемы трубопроводов, гидравлических и пневматических сист
Общее время выполнения: 120 минут
Общее количество заданий: 40

ЧАСТЬ 1. БАЗОВЫЙ УРОВЕНЬ (20 заданий)

Инструкция: Прочитайте вопрос и выберите один правильный ответ, если не указано иное.

1. Что характеризует коэффициент динамической вязкости жидкости?
а) Способность жидкости сжиматься;
б) Сопротивление жидкости сдвигу;
в) Поверхностное натяжение;
г) Испаряемость.

2. Гидростатическое давление...
а) действует только вниз;
б) зависит от формы сосуда;
в) всегда направлено по нормали к площадке;
г) увеличивается с высотой.

3. Основное уравнение гидростатики имеет вид...
а) $p = p_0 + \rho gh$;
б) $Q = v * S$;
в) $z + p/\rho g = const$;
г) $F = \rho gV$.

4. Закон Паскаля гласит, что давление...
а) в жидкости передается только вниз;
б) в покоящейся жидкости передается во все стороны одинаково;
в) зависит от температуры;
г) равно весу столба жидкости.

5. Абсолютное давление – это...
а) разность между атмосферным и вакуумметрическим давлением;
б) сумма атмосферного и избыточного давлений;
в) давление, измеряемое пьезометром;
г) давление, равное весу жидкости.

6. Сила давления жидкости на плоскую стенку определяется по формуле...
а) $F = \rho g h_c * S$;
б) $F = \rho g V$;
в) $F = p/S$;
г) $F = mv$.

7. Центр давления – это точка приложения...
а) центра тяжести тела;
б) равнодействующей силы гидростатического давления;
в) силы Архимеда;
г) веса жидкости.

8. Согласно закону Архимеда, выталкивающая сила равна...
а) весу вытесненной жидкости;
б) весу погруженного тела;
в) плотности тела;
г) объему тела.

9. Условие плавания тела: если сила тяжести...
а) больше силы Архимеда, тело тонет;
б) меньше силы Архимеда, тело всплывает;
в) равна силе Архимеда, тело плавает;
г) все ответы верны.

10. Расход жидкости – это...
а) объем жидкости, протекающий через сечение в единицу времени;
б) скорость движения жидкости;
в) давление в потоке;
г) вязкость жидкости.

11. Уравнение неразрывности для несжимаемой жидкости имеет вид...
а) $Q = v_1 S_1 = v_2 S_2 = const$;
б) $z_1 + p_1/\rho g + \alpha v_1^2/2g = z_2 + p_2/\rho g + \alpha v_2^2/2g + h_w$;
в) $p_1 - p_2 = \lambda (L/d) (\rho v^2/2)$;
г) $F = \rho g V$.

12. Уравнение Бернулли выражает закон сохранения…
а) массы;
б) энергии;
в) импульса;
г) момента импульса.

13. Ламинарный режим движения характеризуется…
а) упорядоченным движением слоев;
б) хаотичным движением частиц;
в) большими потерями напора;
г) пульсациями давления.

14. Турбулентный режим возникает при…
а) малых числах Рейнольдса;
б) больших числах Рейнольдса;
в) малых скоростях;
г) больших вязкостях.

15. Местные гидравлические сопротивления вызываются…
а) трением по длине трубы;
б) изменением сечения или направления потока;
в) изменением температуры;
г) изменением плотности.

16. Потеря напора по длине определяется по формуле…
а) Дарси-Вейсбаха;
б) Бернулли;
в) Паскаля;
г) Архимеда.

17. Коэффициент расхода для отверстия в тонкой стенке учитывает…
а) только сжатие струи;
б) только скорость истечения;
в) сжатие струи и сопротивление;
г) только вязкость.

18. При истечении жидкости через насадок…
а) расход увеличивается по сравнению с отверстием;
б) расход уменьшается;
в) скорость уменьшается;
г) давление увеличивается.

19. Короткий трубопровод – это трубопровод, в котором…
а) учитываются только потери по длине;
б) учитываются только местные потери;
в) местными потерями можно пренебречь;
г) потери по длине и местные соизмеримы.

20. При параллельном соединении трубопроводов...
а) расходы складываются, потери напора одинаковы;
б) расход одинаков, потери напора складываются;
в) расход и потери напора складываются;
г) расход и потери напора одинаковы.

ЧАСТЬ 2. ПОВЫШЕННЫЙ УРОВЕНЬ (12 заданий)

Инструкция: Прочитайте вопрос и выполните требуемое действие: установите последовательность, соответствие, выберите один или несколько ответов с обоснованием или дайте развернутый ответ.

21. Установите последовательность расчета силы давления на плоскую наклонную стенку:

1. Определение глубины погружения центра тяжести.
2. Определение площади стенки.
3. Расчет силы давления.
4. Определение положения центра давления.
5. Построение эпюры давления.

22. Установите соответствие между видом давления и его определением:

1. Абсолютное | А. $p_{абс} = p_{атм} + p_{изб}$
2. Избыточное | Б. $p_{изб} = \rho g h$
3. Вакуумметрическое | В. $p_{вак} = p_{атм} - p_{абс}$

23. Комбинированное задание: Выберите ВСЕ верные утверждения, характеризующие ламинарный режим течения, и обоснуйте свой выбор.
а) Режим наблюдается при малых числах Рейнольдса (Re < 2300).
б) Характеризуется упорядоченным движением слоев жидкости.
в) Линии тока хаотичны и перемешаны.
г) Потери напора пропорциональны скорости в первой степени.

Обоснование:

24. Комбинированное задание: Какие из перечисленных факторов влияют на потерю напора по длине в круглой трубе? Выберите один или несколько ответов и обоснуйте.
а) Длина трубопровода.
б) Диаметр трубопровода.
в) Скорость течения жидкости.
г) Шероховатость стенок трубы.

Обоснование:

25. Открытое задание: Запишите уравнение Бернулли для двух сечений потока реальной жидкости и поясните физический смысл каждого члена уравнения.

26. Установите последовательность действий при расчете времени опорожнения цилиндрического резервуара через отверстие в дне:

1. Запись дифференциального уравнения расхода.
2. Разделение переменных.
3. Интегрирование уравнения в пределах от начального до конечного уровня.
4. Вывод формулы для времени опорожнения.

27. Установите соответствие между типом соединения трубопроводов и его характеристикой:

1. Последовательное | А. Суммарный расход равен сумме расходов в ветвях
2. Параллельное | Б. Суммарная потеря напора равна сумме потерь на участках
3. Разветвленное | В. Сумма расходов в узле равна нулю

28. Комбинированное задание: Выберите ВСЕ верные утверждения о гидравлическом ударе и обоснуйте свой выбор.
а) Гидравлический удар – это резкое повышение давления при быстром закрытии задвижки.
б) Скорость распространения ударной волны зависит от сжимаемости жидкости и упругости стенок трубы.
в) Для борьбы с гидравлическим ударом увеличивают время закрытия задвижки.
г) Давление при гидравлическом ударе не зависит от длины трубопровода.

Обоснование:

29. Открытое задание: Объясните, как и почему изменяется положение метацентра при наклоне плавающего тела, и как это связано с остойчивостью.

30. Комбинированное задание: Какие из перечисленных величин являются безразмерными? Выберите один или несколько ответов и обоснуйте.
а) Число Рейнольдса.
б) Коэффициент гидравлического трения.
в) Скорость истечения.
г) Пьезометрическая высота.

Обоснование:

31. Установите соответствие между понятием и его определением в гидромеханике:

1. Напорная линия | А. Геометрическое место точек, высота которых равна пьезометрической высоте
2. Пьезометрическая линия | Б. Геометрическое место точек, высота которых равна полному напору
3. Гидравлический уклон | В. Падение напора на единице длины трубопровода

32. Открытое задание: Опишите методику расчета сложного трубопровода (например, с непрерывной раздачей расхода по пути).

ЧАСТЬ 3. ВЫСОКИЙ УРОВЕНЬ (8 заданий)

Инструкция: Решите предложенную задачу. Приведите подробное, обоснованное решение.

33. Задача: Цилиндрический резервуар диаметром D = 4 м заполнен водой до высоты H = 6 м. В дне резервуара имеется отверстие диаметром d = 0.1 м с коэффициентом расхода μ = 0.62. Рассчитайте время полного опорожнения резервуара.

34. Задача: Определите силу давления и положение центра давления на вертикальную прямоугольную стенку шириной b = 2 м и высотой h = 3 м, если уровень воды находится на верхней кромке стенки.

35. Задача: По горизонтальному трубопроводу длиной L = 100 м и диаметром d = 0.2 м протекает вода со скоростью v = 2 м/с. Определите потерю напора по длине, если коэффициент гидравлического трения λ = 0.025. Каким будет режим течения? ($\nu = 1*10^{-6}$ м^2/с)

36. Задача: Прямоугольный понтон длиной L = 10 м, шириной B = 4 м и высотой H = 2 м плавает в воде. Вес понтона с грузом P = 400 кН. Определите высоту надводного борта и метацентрическую высоту, если центр тяжести понтона с грузом расположен на высоте z_g = 1.2 м от его основания.

37. Задача: Для подачи воды из резервуара А в резервуар Б используется система из двух параллельных труб длиной L_1 = 100 м, L_2 = 150 м и диаметрами d_1 = 0.1 м, d_2 = 0.15 м соответственно. Разность уровней в резервуарах H = 10 м. Коэффициенты трения λ_1 = 0.02, λ_2 = 0.018. Пренебрегая местными потерями, определите расходы в каждой трубе.

38. Задача: Вода вытекает из бака в атмосферу через конический сходящийся насадок. Диаметр выходного сечения насадка d_2 = 50 мм, диаметр входного сечения d_1 = 100 мм. Напор над центром входного сечения H = 3 м. Коэффициент расхода насадка μ = 0.95. Определите расход и скорость истечения на выходе из насадка.

39. Задача: При внезапном закрытии задвижки в стальном водопроводе ($E = 2*10^{11}$ Па) диаметром $d = 0.3$ м и толщиной стенки $\delta = 0.01$ м, по которому текла вода ($\rho = 1000$ кг/м³, $K = 2*10^9$ Па) со скоростью $v_0 = 1.5$ м/с, возник гидравлический удар. Определите скорость распространения ударной волны и величину повышения давления.

40. Задача: Постройте пьезометрическую и напорную линии для трубопровода переменного диаметра с местными сопротивлениями (вентиль, внезапное расширение), соединяющего два резервуара с разными уровнями. Укажите на схеме участки с наибольшим и наименьшим давлениями.

Этот тест соответствует требованиям к структуре, типам заданий, времени выполнения и охватывает все ключевые темы дисциплины «Гидромеханика».